

# EL URANIO: UN RECURSO CON FUTURO

En este trabajo, **Juan E. Iranzo**, realiza un análisis de las reservas y recursos mundiales de uranio, así como una estimación de la relación existente entre la oferta y la demanda en el mundo occidental. El autor se centra fundamentalmente en la realidad española: evalúa los trabajos del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio, sus resultados y costes; el nivel actual y futuro de la producción de uranio en España; calcula los costes de obtención de concentrados de uranio en España a partir de los diferentes métodos susceptibles de empleo, y estima el grado de autoabastecimiento de la demanda nacional de esta importante materia prima energética.

## 1. INTRODUCCION

**E**l proceso de industrialización que se produjo en España durante la década de los años sesenta se basó tanto en sectores altamente consumidores de energía como en tecnología intensiva en el factor energético, por el bajo coste de éste durante el período 1960-1974. Es por ello por lo que la elasticidad renta de la demanda de energía primaria en nuestro país, durante este período, fue muy superior a la media de los países de la OCDE. El consumo de energía primaria aumentó, durante el período de expansión (1961-74), un 170 por 100. Asimismo, se produjo la sustitución del carbón nacional por petróleo importado como principal materia prima de nuestro balance energético, debido al mayor poder energético de este último, a la aparición de consumos específicos (1) y a la crisis del sector carbonero español, a causa de su excesiva atomización. Todo ello provocó un fuerte aumento de la vulnerabilidad de un sector de tanta importancia estratégica como es el energético.

Para poder garantizar el abastecimiento a los rápidos incrementos en la demanda energética, se decidió emplear la energía nuclear de fisión, dada la escasez de otros recursos energéticos tradicionales en nuestro suelo y las buenas expectativas que presentaba.

En 1963 se promulga la ley sobre energía nuclear, que abre sus puertas al futuro programa nuclear español. El 27 de marzo de ese mismo año se concede la autorización previa a lo que sería la primera central nuclear española: José Cabrera Zorita (2), que entra en operación en agosto de 1969. Posteriormente, en 1971, lo hizo Santa María de Garoña, y al año siguiente Vandellós I. Estas tres centrales constituyen la denominada primera generación de reactores nucleares españoles, representando una potencia conjunta de 1.120 Mwe.

A raíz de la puesta en servicio de estos primeros grupos, y ante la necesidad creciente de energía, se decide la construcción de siete nuevos grupos de gran potencia, que significarán una poten-

cia nuclear adicional de 6.500 Mwe. Son las denominadas centrales españolas de la segunda generación, que actualmente se encuentran en operación, con las excepciones de Lemoniz I y II.

En julio de 1972 se aprobó el Plan Eléctrico Nacional (3), que ordenaba globalmente el crecimiento del sector eléctrico, y en el que se establecía la puesta en operación entre 1980 y 1983 de siete nuevos reactores nucleares, lo que debía representar una potencia conjunta instalada, a finales de 1983, de 15 Gwe (ver cuadro n.º 1).

La crisis energética, con su fuerte impacto sobre la economía española, aceleró la elaboración del primer plan integrado de todo el sector energético. El Plan Energético Nacional de 1975 (PEN 75) (4) tenía como objetivo fundamental una drástica reducción de la dependencia del petróleo, dejando ésta en un 43,7 por 100 del total de la demanda de energía primaria de 1985; a costa, principalmente, de un ambicioso desarrollo de la energía nuclear, que debería satisfacer el 22,8 por 100 del total de la energía primaria de ese año y el 56 por 100 de la producción de energía eléctrica. El PEN 75-85 trataba de dar un fuerte impulso a todas las fases del ciclo del combustible nuclear, encomendando su realización a la Empresa Nacional del Uranio (ENUSA) y a la Junta de Energía Nuclear (JEN).

En 1977 se redactó el nuevo PEN, que no llegó a aprobarse, pero cuya revisión sirvió de base al PEN 78 (5). El PEN 78-87 supuso una muy importante reducción del programa nuclear, pasando en el balance energético previsto para el año 1987 a representar el 14,8 por 100 de la pro-

ducción total de energía primaria y el 37,2 de la producción eléctrica, lo que lo hacía mucho más realista, y menos ambicioso, que el PEN 75.

A pesar de esta reducción, el PEN 78 significó un intento de relanzamiento del programa nuclear español, que estaba detenido desde 1976, y especialmente de los reactores de la denominada tercera generación (6).

Con la llegada al gobierno del Partido Socialista Obrero Español, noviembre de 1982, se suspende el PEN 78, que es sustituido, en marzo de 1984, por el Plan Energético Nacional 1983-1992 (PEN 83). Este plan contem-

pla únicamente la puesta en marcha de cuatro centrales adicionales (7) sobre las que estaban en operación en 1984, con una potencia adicional de únicamente 3.887 Mwe; lo que representaba desestimar a otras ocho centrales en construcción recogidas en el PEN 78 (8). Este plan está actualmente en vigor, aunque es posible que se revise a lo largo de esta legislatura, puesto que la demanda de energía eléctrica está aumentando a ritmos superiores a los previstos inicialmente por el mismo.

Aunque la exploración y producción de uranio natural únicamente representa el 19 por 100 del coste del ciclo del combustible

nuclear (ver gráfico 1), para reactores de agua ligera representa la fase inicial e imprescindible para la dotación del combustible nuclear. Dada la naturaleza de este número monográfico de PAPELES DE ECONOMÍA ESPAÑOLA, el trabajo se limitará a estas dos etapas del ciclo del combustible nuclear.

## 2. LOS RECURSOS MUNDIALES DE URANIO

El incremento de los precios de las materias primas energéticas entre los años 1974 y 1976 (9) produjo un fuerte desarrollo de las actividades de exploración y búsqueda de nuevos recursos de uranio. Esta actividad es realizada normalmente por los siguientes grupos: los fabricantes de concentrados de uranio, que tratan de aumentar sus reservas y prolongar sus actividades; los equipos de exploración constituidos por compañías mineras, instituciones financieras e inversiones privadas, y usuarios de los concentrados de uranio, con el fin de garantizar el abastecimiento.

Según los estudios realizados por la OCDE, los gastos mundiales en exploración de uranio alcanzaron su máximo en 1979, con una inversión de casi 710 millones de \$ USA en términos corrientes, reduciéndose desde entonces continuamente hasta situarse en 1983 (10) en únicamente 190 millones de \$ USA, lo que representa una disminución en términos reales del 73 por 100. Esta caída de la actividad es consecuencia directa de la baja del precio del concentrado de uranio, ocasionada por la disminución de la demanda esperada por el retraso y disminución de los programas nucleares. Estados Unidos represen-

CUADRO N.º 1

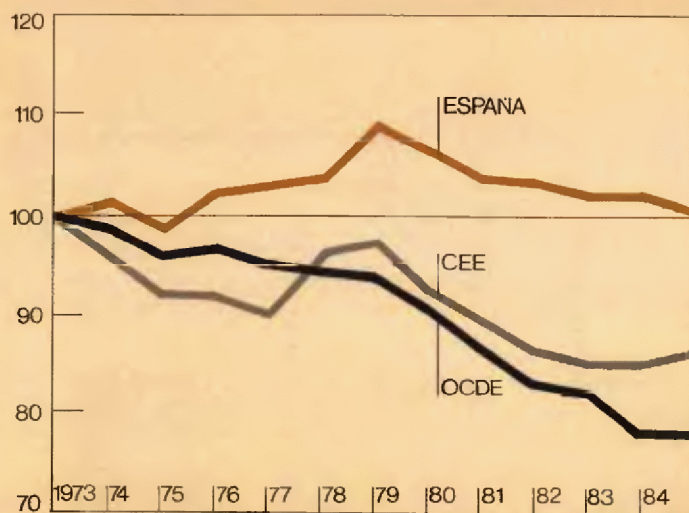
### EVOLUCION DE LAS PREVISIONES SOBRE POTENCIA NUCLEAR A INSTALAR (En Gwe)

<i>Plan Eléctrico Nacional 1972</i>	
1973 .....	1,0
1977 .....	2,8
1980 .....	8,0
1983 .....	15,0
<i>Plan Energético Nacional 1975</i>	
1979 .....	7,7
1982 .....	14,8
1985 .....	23,8
<i>Plan Energético Nacional 1978</i>	
1977 .....	1,2
1982 .....	6,5
1987 .....	11,5
<i>Plan Energético Nacional 1983</i>	
1982 .....	2,1
1983 .....	3,9
1985 .....	6,7
1988 .....	7,9
1990 .....	8,6
1992 .....	8,6

Nota. — Cifras acumuladas al final del año citado.

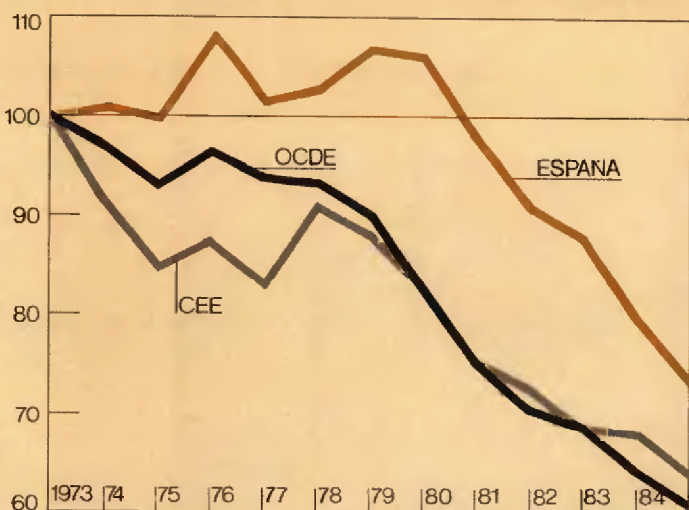
Fuente: Elaboración propia, con datos de los diferentes planes energéticos.

## ELASTICIDAD RENTA DE LAS DEMANDAS DE ENERGIA



### ENERGIA PRIMARIA

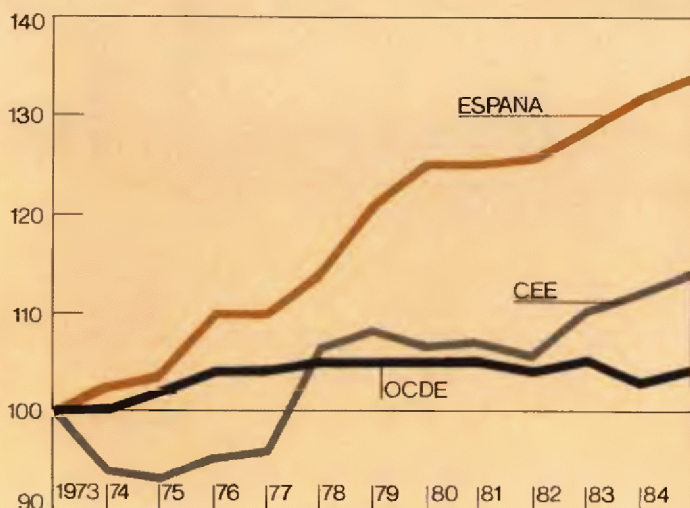
La falta de una política de precios reales de la energía en España hasta la entrada en vigor del Plan Energético Nacional 1978/87 provocó que la elasticidad renta de la demanda de energía siguiera una trayectoria radicalmente opuesta a la de la mayoría de los países desarrollados. Mientras que en nuestro país los requerimientos de energía primaria aumentaban 9 puntos en el período 1973-79, en la media de los países de la OCDE se reducían en 6 puntos, y en 3 en la CEE. Al dejarse de subvencionar los precios energéticos en 1979, la elasticidad renta de la demanda de energía primaria en España quiebra su tendencia hasta situarse, en 1985, en los mismos niveles en los que se encontraba al comienzo de la crisis energética. Nuestra demanda de energía primaria no se ha adaptado a la crisis, lo que contrasta con los resultados obtenidos en los países comunitarios, y muy especialmente con los logrados por la OCDE.



### PETROLEO

Los países de la CEE respondieron inmediatamente ante el primer impacto del alza de los precios del petróleo: en un año su elasticidad renta de la demanda de petróleo se redujo en 9 puntos, mientras que la mayoría de los países de la OCDE, y especialmente España, mostraron una tremenda rigidez. Los países comunitarios aplicaron no sólo una política de ahorro energético, que provocó la reducción de la elasticidad renta de la demanda de energía primaria, sino también una eficaz política de sustitución energética, impulsando el consumo de gas natural, carbón y energía nuclear.

Ante la segunda crisis del petróleo la reacción fue unánime, iniciándose una tendencia similar entre la OCDE, CEE y España, aunque los ritmos de sustitución han sido mucho más rápidos en las dos primeras zonas económicas.

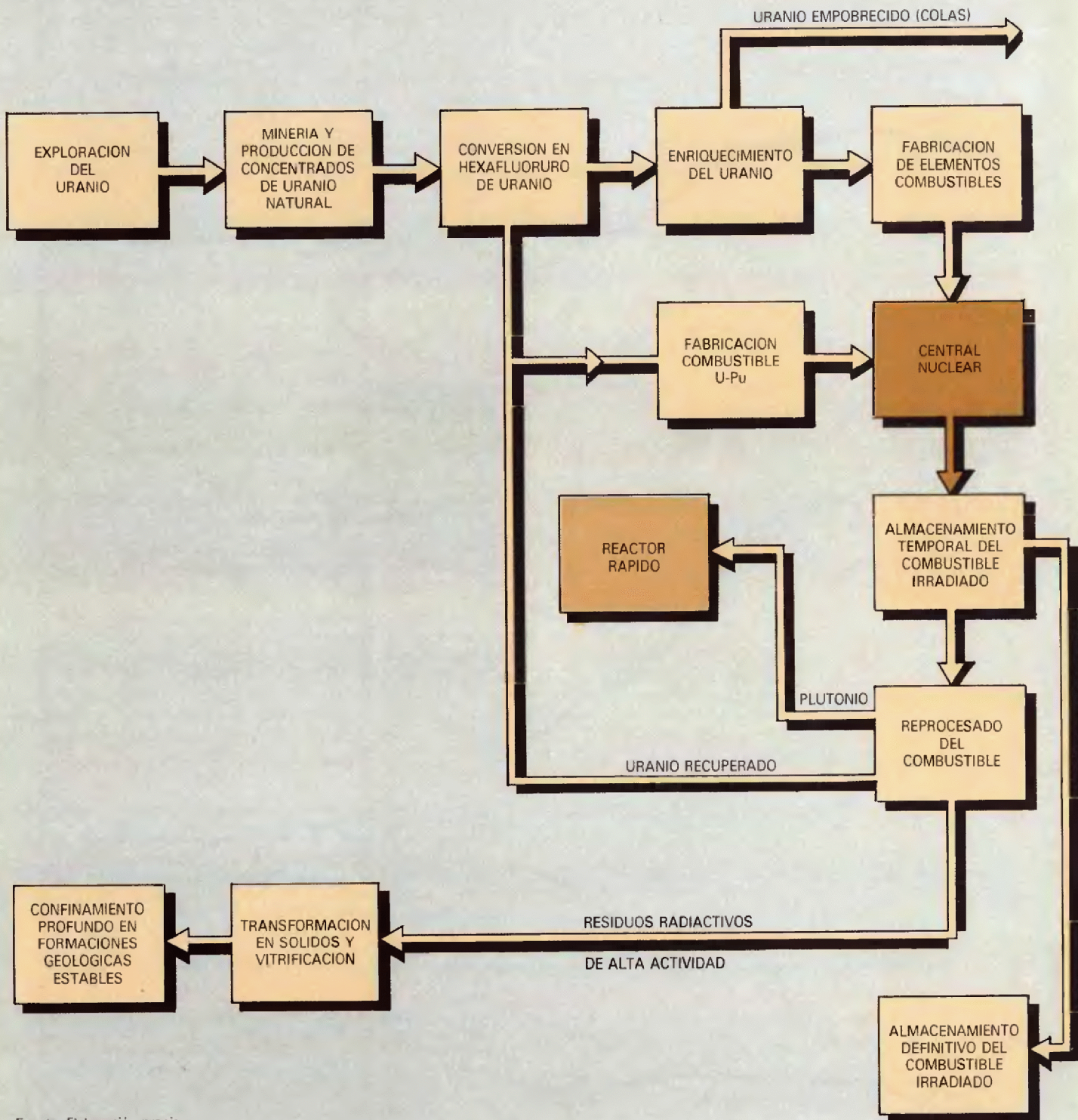


### ENERGIA ELECTRICA

El desarrollo económico de la mayoría de los países suele provocar un fuerte impulso en la demanda de energía eléctrica, puesto que, por su mayor limpieza y facilidad de empleo, sustituye a otras energías; asimismo, se suele producir la aparición de consumos específicos.

Esta realidad se pone de manifiesto en la tendencia seguida por las elasticidades renta de la demanda de energía eléctrica, que en todos los casos ha sido creciente, aunque de una forma moderada en la OCDE y espectacular en España. Si se compara con la elasticidad renta de la demanda de energía primaria, se pueden apreciar grados diferentes en cuanto a la tendencia, dato que deberían tener en cuenta los responsables de la planificación energética.

**GRAFICO 1**  
**CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR**



Fuente: Elaboración propia.

**CUADRO N.º 2**  
**RECURSOS MUNDIALES DE URANIO**  
**(Excluidos países socialistas) Enero de 1983**  
**(En miles de toneladas de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)**

	Recursos razonablemente seguros			Recursos estimados adicionales			Total de recursos de uranio
	68 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub> Reservas	68-110 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Total a 110 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	68 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	68-110 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Total a 110 \$/KgU <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	
Alemania Federal ... ..	1	5	6	2	8	10	16
Argelia ... ..	31	0	31	0	0	0	31
Argentina ... ..	22	5	27	8	0	8	35
Australia ... ..	370	26	396	435	29	464	860
Austria ... ..	0	0,5	0,5	0,8	1,2	2	2,5
Brasil ... ..	193	0	193	109	0	109	302
Canadá ... ..	208	11	219	213	57	270	489
Chile ... ..	0	3	3	0	3	3	6
Dinamarca ... ..	0	32	32	0	19	19	51
Egipto ... ..	0	0	0	0	6	6	6
España ... ..	19	5	24	6	0	6	30
Estados Unidos ... ..	155	325	480	36	62	98	578
Finlandia ... ..	0	4	4	0	0	0	4
Francia ... ..	66	13	79	31	7	38	117
Gabon ... ..	22	6	28	2	10	12	40
Gran Bretaña ... ..	0	0	0	0	8	8	8
Grecia ... ..	0,5	0	0,5	7	0	7	7,5
India ... ..	37	13	50	6	17	23	73
Japón ... ..	9	0	9	0	0	0	9
México ... ..	3	0	3	4	3	7	10
Namibia ... ..	140	19	159	35	27	62	221
Niger ... ..	189	0	189	62	0	62	251
Portugal ... ..	8	2	10	1	0	1	11
Rep. C. Africana ... ..	21	0	21	0	0	0	21
República de Corea ... ..	0	12	12	0	0	0	12
Somalia ... ..	0	8	8	0	4	4	12
Sudafrica ... ..	225	144	369	117	57	174	543
Suecia ... ..	2	44	46	0,5	51	51,5	97,5
Turquía ... ..	3	3	6	0	0	0	6
Zaire ... ..	2	0	2	2	0	2	4
<b>TOTAL ... ..</b>	<b>1.726,5</b>	<b>680,5</b>	<b>2.407</b>	<b>1.077,3</b>	<b>369,2</b>	<b>1.446,5</b>	<b>3.853,5</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de OCDE-AIEA. *Uranium, resources, production et demand*. París, diciembre, 1983.

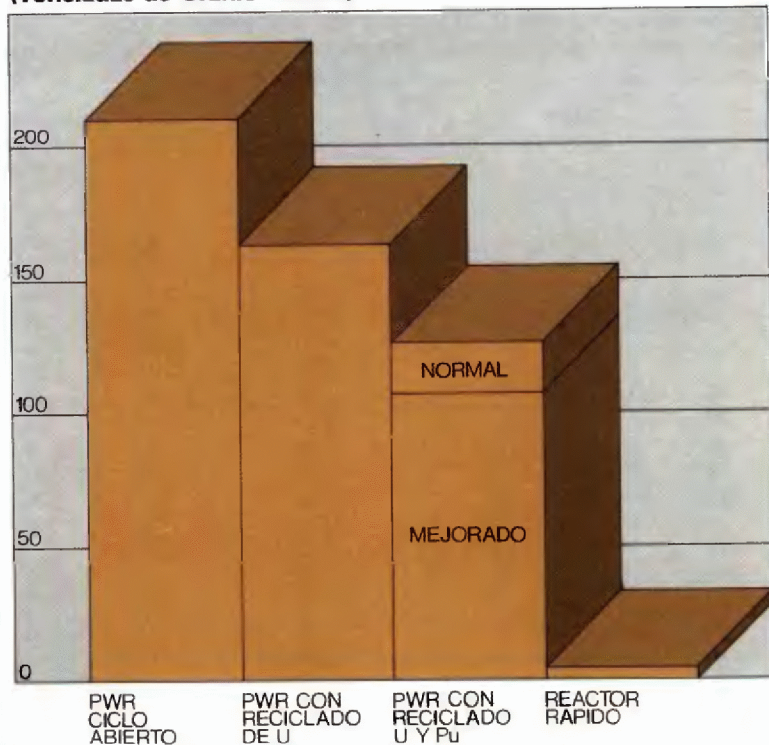
ta el 30 por 100 de la inversión total de 1983, lo que le sitúa en primer lugar, seguido de Francia con un 26,7 por 100; España, con un 8,4 por 100 del total mundial, se situó en cuarto lugar. Francia es actualmente el país occidental con el programa nuclear más ambicioso, lo que explica sus fuertes inversiones en exploraciones de uranio, tanto en su propio territorio (en 1983, 56,7 millones de

§) como fuera de sus fronteras. Con 26,5 millones de \$ es el país con una mayor inversión en el exterior, si bien ésta también se está reduciendo, puesto que en 1980 alcanzó los 68 millones de \$.

El total de reservas (11) mundiales de uranio, a principios de 1983, exceptuando los países socialistas, es de 1,73 millones de tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> (ver cuadro n.º 2), lo

que representa una reducción de 334.000 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> respecto a las estimaciones de finales del año 1980 (12), debido fundamentalmente a la producción de uranio, que durante este período fue de unas 100.000 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, y al incremento de los costes reales de producción. Por el contrario, los recursos razonablemente seguros a precios de obtención entre 68 y 110 \$/kg de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> han aumen-

**GRAFICO 2**  
**URANIO NECESARIO POR AÑO**  
**(Toneladas de Uranio natural)**



Potencia eléctrica: 1.000 MWe — Factor de utilización: 100 por 100 —  
 Coeficiente de enriquecimiento: 0,2 por 100  $U^{235}$ .  
 Fuente: Uriarte Hueda, A. «Reelaboración, manipulación y reciclado del plutonio».  
 Revista Energía Nuclear n.º 127, Septiembre-Octubre-1980, página 428.

mismos. Como se puede ver en el gráfico 2, una central nuclear PWR de 1.000 Mwe de potencia, necesita, si no reprocesa el combustible irradiado, unas 210 tm de uranio natural al año. Esta cifra se reduce en un 23 por 100 si se reprocesa y se recicla el uranio no quemado, en un 38 por 100 si se recicla el uranio y se emplea el plutonio obtenido en el reprocesado para la fabricación de óxidos mixtos. Como se aprecia en el gráfico citado, los recursos de uranio se optimizan si se emplean en reactores rápidos reproductores.

### 3. CARACTERÍSTICAS DE LA MINERÍA DEL URANIO

Un yacimiento de uranio es una concentración de sus minerales que permite una explotación económica. Los factores determinantes de la viabilidad económica de un yacimiento son los siguientes: nivel de reservas, contenido de uranio en los minerales, técnicas utilizadas en el tratamiento de los minerales, condiciones generales de explotabilidad y previsión de la evolución de precios de los concentrados de uranio.

Las reservas de uranio de un yacimiento condicionan el volumen anual de arranque y el tamaño de la planta de tratamiento, con la consiguiente repercusión del factor escala. Pequeñas reservas, aun con altas concentraciones, no permiten una extracción industrial. Por el contrario, importantes reservas, aunque la ley del mineral sea baja, justifican la adquisición de equipos mineros y mineralúrgicos que dan lugar a costes específicos de operación bajos, como es el caso de Mina Rossing (Namibia), que cuenta con 350 millones de toneladas de mineral de baja ley. La ley de los

tado un 10 por 100 por la adición de las reservas que han dejado de serlo. Esta circunstancia es especialmente significativa en el caso de los Estados Unidos. Los recursos totales de uranio en el mundo, que actualmente están estimados en 3,85 millones de tm de  $U_3O_8$ , se han visto reducidos en un 35 por 100 sobre los de 1980 por el enorme encarecimiento de los procesos de obtención de concentrado de uranio y por la notable disminución de los trabajos de exploración e investigación, lo que no ha permitido aportar recursos nuevos que suplieran a los desestimados por el aumento de los costes de producción (13).

Como se muestra en el cuadro número 2, las reservas de uranio están desigualmente repartidas, representando el continente africano más del 35 por 100 del total. Australia es el primer país, con unas reservas de 370.000 tm de  $U_3O_8$ , es decir, el 21,2 por 100 del total mundial. Sin embargo, Europa únicamente posee el 5,8 por 100 de las reservas mundiales de uranio, siendo Francia el primer país de nuestro continente, seguido de España.

El potencial energético de estos recursos de uranio puede multiplicarse por el factor 60-100, si se emplean reactores rápidos reproductores que optimicen los

minerales de uranio suele ser el condicionante más importante para la explotación económica de un cuerpo mineralizado. El yacimiento de Akouta (Niger) se explota en una región desértica, carente de materias primas en sus proximidades y, por supuesto, de infraestructura industrial y recursos humanos, pero la ley del mineral es del orden de 4.000 ppm y las reservas totales son del orden de 47.000 tm de  $U_3O_8$ .

Existen minerales de uranio refractarios al tratamiento por la dificultad de solubilidad con reactivos convencionales, y que exigen costes mineralúrgicos tan elevados que no permiten una producción económica de concentrados de uranio. Hace muchos años que se conoce el yacimiento de Bakouma, en la República Centroafricana, que no se ha puesto en explotación, entre otras causas, por la dificultad del tratamiento de sus minerales. Entre las condiciones de explotabilidad de un yacimiento, la circunstancia que más influye, en un yacimiento explotable a cielo abierto, es la relación estéril/mineral; las necesidades de desagüe y ventilación en las explotaciones subterráneas. Mayor importancia

puede tener la situación geográfica y topográfica del yacimiento, por la falta de infraestructura y las necesidades de aprovisionamiento de materias primas. Por último, la perspectiva de evolución del mercado de concentrados de uranio condiciona de forma muy importante la explotabilidad de los yacimientos.

#### 4. SITUACION MUNDIAL: PRODUCCION Y DEMANDA

La existencia, en los primeros años de la década de los sesenta, de un ambicioso programa nuclear a nivel mundial ocasionó un importante desarrollo de la minería del uranio en todo el mundo. Desde 1958 a 1975 la producción de concentrados de uranio se mantuvo por debajo de las 20.000 tm de  $U_3O_8$  anuales, registrándose una subida en la producción a partir de 1976, hasta el año 1981, en que se alcanza una producción de casi 52.000 tm de  $U_3O_8$ , para volver a caer hasta unas 43.000 tm de  $U_3O_8$  en 1985 (14). A pesar de haberse cerrado en los Estados Unidos una gran cantidad de minas de uranio, este país si-

gue siendo el primer productor, con un 21 por 100 del total de la producción mundial, seguido muy de cerca por Canadá, con un 19,7 por 100 (15).

Aunque la demanda de uranio se establece en función de los programas nucleares previstos, también depende de otros factores, como son: las colas utilizadas en los procesos de enriquecimiento (16), horas de utilización de las centrales y composición del parque de reactores, es decir, tipos de reactores elegidos.

La demanda mundial de uranio para los próximos ocho o diez años depende fundamentalmente de la potencia nucleo-eléctrica instalada y en construcción (17), ya que, dados los plazos necesarios para construir una central nuclear, las necesidades de uranio para las centrales aún en proyecto apenas cuentan en dicho período. En el cuadro n.º 3 se realiza una estimación de la demanda prevista de concentrados de uranio en el mundo occidental hasta el año 1991. Entre 1985 y 1991 se estima que la demanda crezca un 21 por 100.

Para poder realizar previsiones

CUADRO N.º 3  
BALANCE OFERTA - DEMANDA DE URANIO (Mundo Occidental)  
(Miles de toneladas  $U_3O_8$ )

	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Consumo ... ..	31,0	28,8	33,6	37,6	41,2	42,9	45,7	48,5	47,7	48,3	49,9
Producción ... ..	51,9	46,9	41,0	42,7	43,3	45,6	45,3	45,3	45,2	45,5	48,0
Diferencia ... ..	20,9	18,1	7,4	5,1	2,1	2,7	-0,3	-3,2	-2,5	-2,8	-1,9
Stock inicial ... ..	254,1	275,0	293,1	300,5	305,6	307,7	310,4	310,1	306,9	304,4	301,6
Stock final ... ..	275,0	293,1	300,5	305,6	307,7	310,4	310,1	306,9	304,4	301,6	299,7
Stock relativo (años) (1)...	8,2	9,5	8,7	8,0	7,4	7,2	6,8	6,4	6,4	6,3	6,0

(1) Es el cociente entre el stock inicial de cada año y el consumo en el mismo periodo.

Fuente: Elaboración propia con datos de: NUEXCO: *Monthly Report on the Nuclear Fuel Market*; OCDE: *Uranium, ressources, production et demande*, París, diciembre 1983; y del Uranium Institute.

sobre la oferta de concentrados de uranio en el mundo, hay que tener presente la capacidad de producción alcanzable en función del potencial de la industria productora de los mismos, la producción real y el volumen de suministros contratados a medio y largo plazo. La diferencia entre la capacidad de producción y la producción real nos indica el grado de infrautilización de la industria, magnitud que ha aumentado significativamente entre 1981 y 1985 y que, previsiblemente, en los próximos años se verá reducida. La comparación entre la producción real y los contratos de suministro indica el grado de adaptación de la producción a la demanda y la generación positiva o negativa de *stocks* durante el período analizado.

A lo largo de los últimos 35 años se han producido en el mundo occidental unas 826.000 tm de  $U_3O_8$ , de las que una tercera parte se ha destinado a fines militares, otra tercera parte ha servido para alimentar las centrales de potencia y el resto ha ido a parar a los *stocks*. Para poder tener una idea de la situación real del mercado de uranio es necesario, antes de efectuar la comparación entre la oferta y la demanda, tomar como punto de partida la situación inicial de los *stocks*, para lo cual se han tomado las estimaciones realizadas por el Uranium Institute.

Como se puede apreciar en el cuadro n.º 3, la producción mundial de concentrados de uranio es superior al consumo hasta 1986, por lo que hasta ese año los *stocks* han aumentado de una forma importante. En 1987 se espera que se quiebre la tendencia y la producción se adapte a la demanda, llegando incluso a ser inferior a ésta, con lo que, aunque

los *stocks* en términos absolutos apenas disminuirán, sí se reducirá sensiblemente la relación entre *stock* inicial y consumo, pasando ésta de 9,5 años en 1982 a 6 en 1991.

La estructura del mercado del uranio es enormemente compleja y, como se ha visto, fuertemente afectada por la existencia de *stocks* que sobrepasan el concepto de seguridad, lo que le ha dado una gran inestabilidad.

Al igual que ocurre en otros mercados de materias primas, en el del uranio no hay un único precio, ya que existen los siguientes: precio medio en el mundo libre, precios medios de los países exportadores, precios medios de los países importadores, precio medio de una determinada compañía productora de concentrado o de un cierto usuario, precios de un contrato específico a largo plazo y precio *spot*.

De todos ellos, el más importante o significativo es el precio medio en el mundo libre, seguido de los precios medios de los países exportadores e importadores y del precio *spot*. Este último es el más conocido, ya que es publicado mensualmente (índices Nuexco y Nukem), si bien representa sólo un 10 por 100 de las transacciones totales. Es mucho más interesante y representativo el precio medio de los países importadores, o mercado de contratos. Es menos conocido, ya que las respectivas cláusulas contractuales son mantenidas reservadas por el vendedor y el comprador.

La evolución de estos precios ha seguido tendencias muy diferentes. El precio *spot* durante los años 1968-1973 se mantuvo estable en el orden de 6-7 \$/lb  $U_3O_8$ ; a partir de 1974, debido a la cri-

sis del petróleo y, por consiguiente, a la puesta en marcha de ambiciosos programas nucleares en la mayoría de los países, el precio del uranio se disparó alcanzando el orden de 15 \$/lb  $U_3O_8$  a finales de 1974, 35 \$/lb  $U_3O_8$  en 1975, 41 \$/lb  $U_3O_8$  en 1976 y 43 \$/lb  $U_3O_8$  al final de 1977. A partir de este momento, debido a las campañas antinucleares, a la política norteamericana y, por consiguiente, al retraso sufrido por los programas nucleares en la mayoría de los países, el precio del uranio en el mercado *spot* volvió a caer hasta llegar, en noviembre de 1982, a ser de sólo 17 \$/lb, cifra que se mantiene en la actualidad, aunque en estos cuatro años se han producido continuos dientes de sierra. Asimismo los precios medios contratados registran una evolución decreciente, aunque mucho más moderada que la del mercado *spot*.

Respecto a la tendencia en el futuro, es muy difícil aventurar una predicción segura, si bien cabe pensar que los precios *spot* se estabilizarán en los niveles actuales.

## 5. LA EXPLORACION DEL URANIO EN ESPAÑA

Los primeros trabajos de exploración de uranio en España se iniciaron en el año 1949, comenzando por investigarse los minerales radiactivos donde ya se conocía la existencia de uranio, gracias a los trabajos que se habían realizado anteriormente con la finalidad de localizar radio: pegmatitas de Sierra Albarrana (Córdoba) y Monasterio (Badajoz). En este último lugar una compañía francesa había extraído algunas toneladas de pezblenda con destino a la obtención de radio para los esposos Curie. A pesar de en-



contrarse bolsas con leyes altas, el rendimiento general era bajo, y pronto se abandonó su tratamiento, buscando en yacimientos cercanos de granitos de las provincias de Cáceres, Córdoba, Jaén y Salamanca. En 1957 se localizaron mineralizaciones ubicadas en las pizarras de la zona de Ciudad Rodrigo (Salamanca), así como en la provincia de Badajoz.

La Junta de Energía Nuclear fue, hasta 1974, el único organismo encargado de la exploración nacional de uranio. A pesar del esfuerzo realizado, la limitación de los presupuestos asignados a este fin no permitió que la exploración llevada a cabo cubriera la totalidad del territorio nacional.

Aunque las reservas encontradas eran reducidas, es de resaltar, sin embargo, que el coste de su descubrimiento era del orden del admitido internacionalmente con criterios estadísticos. Por otra parte, quedaba todavía prácticamente por investigar una superficie de 110.000 km<sup>2</sup> con importantes formaciones de sedimentario continental. Parecía, por tanto, justificado continuar y activar la prospección de minerales de uranio en territorio nacional, más aún teniendo en cuenta el hecho de que los yacimientos que se pudieran descubrir constituirían, como se ha indicado, las fuentes más seguras para el aprovisionamiento nacional de concentrados de uranio.

Se preparó un plan para la exploración de dichos 110.000 km<sup>2</sup> durante diez años que, desde el planteamiento financiero, estuvo constituido por tres fases sucesivas, de uno, cuatro y cinco años de duración respectivamente. La duración y la envergadura de este plan facilitarían que las empresas de servicios en el campo de la exploración pudieran dotarse

adecuadamente del personal especializado y de los equipos apropiados para la realización eficaz de los trabajos.

El plazo estimado entre el comienzo de un programa de exploración y la producción de concentrados resultante de los descubrimientos de mineral es de, por lo menos, ocho años.

El Consejo de Ministros celebrado el día 2 de noviembre de 1973 aprobó, entre otras medidas y directrices para asegurar el aprovisionamiento de los concentrados de uranio necesarios para el programa nuclear español, activar la exploración e investigación en territorio nacional y acometer y extender en lo posible la exploración y la participación en exploraciones de yacimientos en el exterior, todo debidamente planificado y coordinado bajo la supervisión de la Dirección General de la Energía.

En cumplimiento de este acuerdo, se constituyó, bajo la presidencia del Director General de la Energía, un grupo de trabajo con representantes de la Dirección General de la Energía, Instituto Geológico y Minero, Instituto Nacional de Industria, Junta de Energía Nuclear, Empresa Nacional del Uranio y Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras. Este grupo analizó la situación mundial de reservas, producción y demanda de concentrados de uranio; estudió los trabajos de prospección realizados en territorio nacional hasta la fecha y las previsiones de la Junta de Energía Nuclear; analizó las causas que motivaron al sector privado para mantenerse prácticamente al margen de la actividad exploratoria y las medidas recomendables para su estímulo, y estudió una extensa información

sobre las posibilidades geológicas de otros países.

Resultado de estos trabajos fue la aprobación del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio (PNEIU), que tenía como finalidad la evaluación del potencial de nuestros recursos de uranio. Asimismo, establecía la posibilidad de realizar exploraciones en el exterior. Con este propósito se definieron los siguientes objetivos:

1) Acometer con carácter urgente y desarrollar sistemáticamente, en un plazo de diez años, el plan de exploración de uranio de los 110.000 km<sup>2</sup> de territorio nacional correspondientes al sedimento continental no explorado. La primera fase de este plan debería quedar completada en 1975, año para el que se preveía una inversión de 420 millones de pesetas. La segunda fase del plan, en la que la inversión prevista era de 5.500 millones de pesetas, se desarrollaría durante el cuatrienio 1976-1979. Se preveía que en la tercera fase, de cinco años de duración a partir de 1980, se invirtieran 6.500 millones de pesetas, por lo que la inversión total prevista en este plan de exploración en territorio nacional, en condiciones económicas de 1974, ascendía a 12.420 millones de pesetas.

2) Se encomendó a la Junta de Energía Nuclear (JEN) la dirección del indicado plan de exploración de uranio en territorio nacional y la ejecución de una parte del mismo, contando para su desarrollo con la colaboración técnica de otras entidades con capacidad para estos trabajos, particularmente el Instituto Geológico y Minero y la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras. Además de estas colaboraciones de carácter permanente, la JEN po-

día subcontratar trabajos específicos a empresas especializadas en actividades de prospección e investigación de minerales. Se esperaba asimismo la participación del sector privado en la realización y financiación de actividades de exploración comprendidas en el plan.

3) Según establecía el decreto 3.322/1971, de 23 de diciembre, sobre fines de la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), la explotación de los yacimientos de minerales radiactivos reservados por el Estado, y cuya investigación diera un resultado que permitiera prever una explotación económica, serían transferidos a ENUSA. Para que esta transferencia pudiera desarrollarse con la máxima eficacia y en las fases de trabajo y tiempo más adecuadas, se mantendría una colaboración permanente entre la JEN y ENUSA durante el desarrollo del plan de exploración de uranio en territorio nacional.

4) Dada la insuficiencia de reservas y producción de concentrados de uranio en territorio nacional para poder cubrir las necesidades del programa nuclear español, se preveía que toda la producción nacional debería ser utilizada en el país. Las producciones de minerales o de concentrados de uranio procedentes de yacimientos de propiedad privada serían adquiridas por ENUSA a los precios que se establecieran oportunamente, en función de los costes de producción de los diversos yacimientos y teniendo en cuenta el nivel de precios internacionales. De esta forma, y dada la importante elevación habida en los precios internacionales de los concentrados de uranio, se esperaba fomentar el desarrollo de actividades privadas de exploración de uranio, participando el sector

privado en la realización y financiación de actividades comprendidas en el plan de exploración de uranio en territorio nacional. Para facilitar e impulsar las actividades privadas en este campo, la JEN proporcionaría asesoramiento técnico básico sobre características geológicas del territorio nacional, preparación del personal, métodos para realizar la exploración, etcétera.

5) Para asegurar la necesaria coordinación administrativa, económica y técnica en el desarrollo del plan de exploración de uranio en territorio nacional, así como para incorporar o decidir oportunamente las medidas y directrices adicionales durante dicho desarrollo, se creaba un Comité de Supervisión del Plan, presidido por el Director General de la Energía, y del que formaban parte el Director General de Minas, el Director General de la JEN, el Director del Instituto Geológico y Minero, el Director del Sector de Minería del INI y el Director General de ENUSA. Las misiones principales del Comité de Supervisión serían normalmente: la aprobación de los proyectos y presupuestos correspondientes a los trabajos a realizar cada año, el seguimiento de la marcha de estos trabajos y la determinación de la fase en que los yacimientos descubiertos deberían ser transferidos a ENUSA para su explotación. Sería también función de Comité de Supervisión estudiar o aprobar oportunamente las medidas o directrices adecuadas para la ordenación y estímulo de la actividad privada en la explotación de uranio.

6) Se encomendó a ENUSA el desarrollo de las actividades de exploración y explotación de yacimientos de uranio en el exterior, que trataría de acometer y extender en lo posible, con el objetivo

esencial de disponer de fuentes para el abastecimiento nacional, de forma que sus participaciones en dichas actividades en el exterior deberían ir ligadas a los consiguientes derechos a tomar y exportar a España alguna parte de la producción de los yacimientos encontrados o explotados. Para planificar y realizar los trabajos relacionados con estas participaciones en el exterior, ENUSA podría contar con el asesoramiento técnico de la JEN, y utilizar normalmente la colaboración de entidades especializadas en este campo, particularmente la Empresa Nacional Adaro. Se consideraría que estas inversiones formaban parte del coste de aprovisionamiento nacional de uranio y, por tanto, del coste de la producción eléctrica de origen nuclear, por lo que deberían ser computadas dentro de la facturación de ENUSA a las Empresas Eléctricas (18).

Para planificar las actividades de exploración de uranio en el exterior y prever la naturaleza y el orden de magnitud de los medios necesarios para llevarlas a cabo, ENUSA, utilizando la colaboración de la Empresa Nacional Adaro y con el asesoramiento de la JEN, realizaría un estudio básico en el que, partiendo de la información geológica y mineralógica de las diversas zonas mundiales, y teniendo en cuenta las situaciones y perspectivas económicas, legales y políticas de los diversos países, particularmente respecto a la explotación y utilización de sus recursos energéticos como el uranio, se llegara a deducir criterios selectivos sobre las zonas, países o regiones más interesantes, y directrices o estrategias para poder acometer estas actividades, tratando, en la medida en que se pudiera, de identificar posibles proyectos de desarrollo preferente.

En 1975 la Junta de Energía

Nuclear inició el desarrollo del plan en una superficie, en su mayor parte reservada a favor del Estado, que afectaba a unos 110.000 km<sup>2</sup>, en los que se situaban la mayor parte de los sedimentarios continentales de la península. En las áreas externas de las reservas, la exploración del uranio permanecía abierta a las entidades que desearan acometer esas actividades por su cuenta y riesgo.

En 1975 se iniciaron las actividades de exploración en territorio nacional, tanto en áreas externas a las reservas transferidas como en las propias reservas. Con anterioridad, y en aplicación del decreto de constitución de ENUSA, le fueron transferidas las reservas definitivas en las que se localizaban los yacimientos descubiertos por la JEN en la provincia de Salamanca (19).

Los trabajos concretos que realizó la Junta de Energía Nuclear en los primeros años de vigencia del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio fueron: la investigación de las áreas prospectadas anteriormente en las provincias de Soria y Guadalajara, que presentan perspectivas favorables; continuación de los trabajos de exploración sobre el potencial uranífero de los yacimientos de lignitos del Valle del Ebro e investigación y evaluación económica de los métodos posibles de recuperación de uranio de dichos lignitos; instalación de planta piloto para la recuperación de uranio de las fosforitas, en conjunción con el proceso industrial de producción de ácido fosfórico. Hasta 1981 los trabajos fueron realizados por la Junta de Energía Nuclear siguiendo un plan de financiación previsto en el PNEIU y con cargo a los Presupuestos Generales del Estado.

A partir del 1.º de julio de 1981, en cumplimiento de la Orden Ministerial de 30 de junio de 1981, que desarrolla el Real decreto 2.967/79, de 7 de diciembre, sobre Ordenación de Actividades en el Ciclo de Combustible Nuclear, quedaron transferidas a la Empresa Nacional del Uranio, S. A. todas las actividades que la Junta de Energía Nuclear tenía encomendadas en relación con la ejecución del PNEIU. A partir de este momento sería ENUSA la única empresa encargada de finalizar la tercera y última etapa del mismo. En aplicación de la citada orden ministerial, se incorporaron a la plantilla de ENUSA cerca de 300 personas procedentes de la JEN, asimismo se transfirieron los fondos presupuestados para 1981 y no dispuestos.

Desde ese momento hasta la finalización del plan, en 1984, las actividades se centraron en las siguientes zonas del territorio nacional:

- Soria
- Molina de Aragón (Guadalajara)
- Zona Centro (Cuenca del Tajo)
- La Espigadera-Viesgo (Cáceres)
- Don Benito (Badajoz)
- Calaf (Barcelona)

El desarrollo de los trabajos, así como su resultado, es muy desigual de unas zonas a otras. En Soria, Molina de Aragón y Cuenca del Tajo se realizaron labores de exploración en terrenos sedimentarios, habiéndose obtenido resultados positivos únicamente en Molina de Aragón, donde se han localizado unas reservas de utilidad dudosa (20) evaluadas en 5.500 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. (Ver mapa número 1). En la zona de La Espigadera-Viesgo (Cáceres) se

han localizado unas reservas viables, estimadas en 1.000 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

Los lignitos del terciario del Valle del Ebro, especialmente los de Calaf, han sido estudiados tanto respecto a su extensión sobre el terreno como a su posible explotación y tratamiento del mineral para la recuperación de su uranio. En los lignitos de Calaf se han inventariado unas 51.000 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, aunque su aprovechamiento no es factible en las condiciones técnicas y económicas actuales (ver mapa n.º 1).

En el área de Don Benito (Badajoz) se realizaron exploraciones en terrenos sedimentarios y graníticos, estudiándose fundamentalmente la banda de compacto entre los granitos de La Haba y las pizarras de la zona comprendida entre las canteras de El Pedregal y el cerro de Cabeza Rederda, así como los granitos de La Haba y de Quintana. En esta zona se han localizado unas reservas totales estimadas en 3.500 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>; 3.000 viables y 500 de dudosa viabilidad (ver mapa n.º 1).

La exploración en la zona de Ciudad Rodrigo tuvo como objetivo la determinación de los posibles yacimientos de minerales radiactivos, tanto en el terciario como en pizarras de edad cámbrica. De los estudios geológicos y metalogénicos de los yacimientos uraníferos conocidos en la provincia de Salamanca se pudieron deducir criterios para acometer la exploración y posible localización de otros nuevos. Los trabajos de exploración consistieron fundamentalmente en fotogeología, cartografía geológica, radiométrica autoportada y a pie, geoquímica, emanometría, captación de partículas alfa, sondeos eléc-

MAPA 1

**RECURSOS DE URANIO EN ESPAÑA**

(En tm. de  $U_3O_8$ ) (31 de diciembre de 1985)



V = Reservas geológicas económicamente viables, explotables a costes inferiores a 10.000 pts./kg.  $U_3O_8$ .  
 VD = Reservas geológicas de viabilidad dudosa, explotables a costes comprendidos entre 10.000 y 15.000 pts./kg.  $U_3O_8$ .  
 R = Reservas reelegadas.

Fuente: Elaboración propia con datos cedidos por ENUSA.

tricos verticales y V.L.F. Las campañas de sondeos han tenido como objetivo fundamental definir los límites de los yacimientos explotables. Las reservas totales en esta zona a 31-12-85, una vez descontada la producción que se ha realizado hasta esta fecha, son de unas 29.000 tm de  $U_3O_8$ , lo que representa casi el 75 por 100 del

total nacional. De estas reservas 27.500 tm de  $U_3O_8$  son viables y el resto dudosas (ver mapa número 1).

La iniciativa privada, tanto nacional como extranjera, ha participado en la exploración de uranio en España, aunque con una actividad muy inferior a la prevista por el PNEIU en sus co-

mienzos. En varias zonas de Galicia, incluidas en la reserva del Estado, exploró un consorcio formado por el gobierno español (51 por 100), British Petroleum y CEPSA (21), aunque los resultados fueron negativos.

Como resultado de los trabajos realizados por el Plan Nacional de Exploración e Investigación de

Uranio, las reservas de uranio en España han pasado de 8.100 tm de  $U_3O_8$  en 1976 a 39.000 en 1984 (gráfico 3) lo que representa un incremento del 381,5 por 100 durante la ejecución del plan. Asimismo se han estimado unos recursos adicionales de 51.000 tm de  $U_3O_8$  que, aunque actualmente han sido relegados, pueden ser viables en el futuro. La importancia de estas reservas se pone de relieve si se tiene en cuenta que poseen un potencial energético equivalente a 385 millones de toneladas de fuel-oil para la producción de energía eléctrica, y que con ellas se puede abastecer 200 reactores LWR (22) de 100 Mwe de potencia durante un año de operación.

Es difícil establecer comparaciones entre resultados de la exploración de uranio en España y en otros países por la parcialidad de los datos de que se dispone. De la comparación con Francia, el país con mayores reservas de Europa y del que se dispone de información fiable, resulta que, para el período anterior a 1977, el tonelaje de uranio descubierto es aproximadamente cuatro veces mayor en Francia que en España, pero los costos de la exploración expresados en dólares por kg. de  $U_3O_8$  descubiertos son del mismo orden de magnitud: 3,44 para España y 2,66 para Francia.

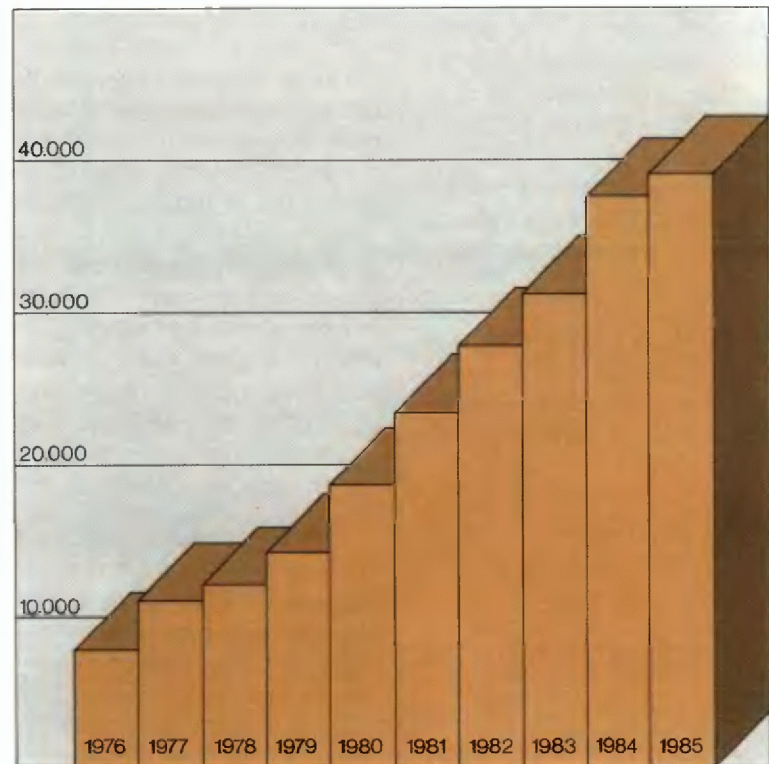
Para las reservas localizadas en el cuatrienio 1977-1981 los costes de la exploración son los siguientes:

- Media mundo occidental ..... 8,38\$ kg  $U_3O_8$
- Alemania ..... 9,74\$ kg  $U_3O_8$
- Francia ..... 5,14\$ kg  $U_3O_8$
- Australia ..... 3,91\$ kg  $U_3O_8$
- España ..... 3,10\$ kg  $U_3O_8$
- Canadá ..... 2,97\$ kg  $U_3O_8$

lo que nos hace muy competi-

### GRAFICO 3 EVOLUCION DE LAS RESERVAS DESCUBIERTAS POR EL PLAN NACIONAL DE EXPLORACION DE URANIO

Toneladas  $U_3O_8$



Fuente: Empresa Nacional del Uranio, S. A., Memoria 1985.

vos con la mayoría de los países occidentales.

El costo de exploración en España durante el período 1982-1984 fue un 25 por 100 inferior a la cifra anterior, sin embargo no consideramos a esta última tan representativa como aquélla, puesto que se debe en gran medida a los esfuerzos de años anteriores.

El Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio se puede calificar como un éxito, tanto por la cuantía de las reservas localizadas como por su coste de

localización, muy inferior al de la mayoría de los países occidentales. Ha dotado a nuestro país de un importante potencial energético que nos permitirá aumentar nuestro grado de autoabastecimiento. No obstante, sería conveniente que los trabajos de exploración de uranio en España no siguieran detenidos y que se dotasen nuevos fondos a fin de que se reanudaran rápidamente, con el fin de poder seguir reduciendo la fuerte vulnerabilidad de un sector de tanta importancia estratégica como es el energético.

## 6. PARTICIPACION ESPAÑOLA EN PROYECTOS DE EXPLORACION EN EL EXTERIOR

Siguiendo las directrices establecidas por el PNEIU, con el objetivo de asegurar el aprovisionamiento de concentrados de uranio se decidió acometer actividades de exploración en el exterior. Estas actividades podrían desarrollarse actuando como operador o participando como socio financiero.

Para planificar y realizar los trabajos, ENUSA utiliza normalmente la colaboración de entidades especializadas en este campo, particularmente la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras. Cuenta asimismo con el asesoramiento técnico de la Junta de Energía Nuclear.

Desde 1975 ENUSA vino manteniendo diversos contactos con empresas y entidades estatales de varios países para estudiar la posibilidad de llegar a acuerdos sobre exploración y eventual explotación de minerales radiactivos y asociados. Planteó su actuación según dos posibles formas de participación en acuerdos de exploración. En una primera etapa se limitó a intervenir en asociaciones o *joint ventures* en las que su participación era meramente financiera y los operadores eran empresas con experiencia y del país en que se radicaba el proyecto. Se trataba, pues, de escoger los proyectos que, además de explorar en zonas prometedoras, fuesen operados por empresas o personas de reconocida solvencia técnica. ENUSA negoció en sus contratos la posibilidad de destacar a los trabajos de campo a personal propio, con la finalidad de

adquirir nuevos conocimientos tecnológicos, controlar desde un punto de vista técnico el proyecto y aportar su experiencia. En una segunda fase, y en países de menor desarrollo minero, ENUSA decidió intervenir en proyectos de exploración como empresa operadora.

Desde un punto de vista jurídico, se plantearon diversos enfoques que variaban desde la simple asociación o *joint venture*, en la que no se requiere establecer ninguna oficina, sucursal o filial en el país correspondiente, a contratos que exigían el establecimiento de una persona jurídica distinta a ENUSA en el país del proyecto, caso este último que suele darse en aquellas asociaciones en que es operadora, como fue el caso de Colombia.

Con anterioridad a la firma de cualquier contrato de asociación, además de los análisis sobre los aspectos técnicos de la inversión, debe de conocerse con gran detalle la legislación fiscal, el régimen de control de cambios, la legislación de inversiones extranjeras, así como la legislación minera del país en cuestión, datos imprescindibles para realizar un análisis económico preliminar que permita definir las dimensiones y calidad del yacimiento que haría rentable la inversión.

Se estableció que ENUSA financiaría esta actividad por sí misma, aún cuando estas inversiones se repercutirían a las empresas eléctricas consumidoras del combustible nuclear. En efecto, el contrato tipo entre ENUSA y esas empresas, aprobado por la Administración, prevé un recargo máximo del 10 por 100 sobre el valor de los concentrados vendidos, destinado a la recuperación de los desembolsos que se realizan en esta actividad.

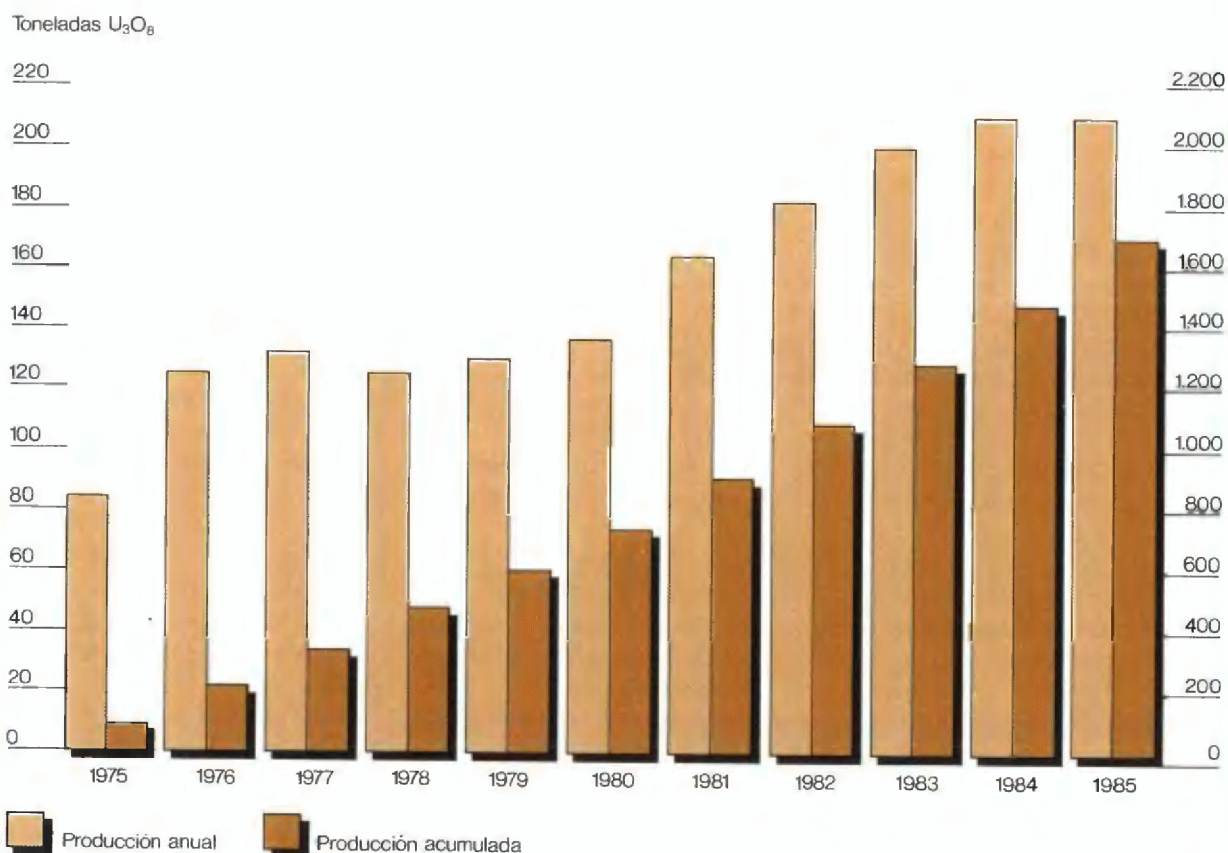
Sin carácter exhaustivo, pueden citarse los siguientes países en los que se realizaron misiones geológicas de evaluación preliminar y/o negociaciones: Canadá, Estados Unidos, México, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Argelia, Sahara Occidental, Guinea Conakry, República Centroafricana, Zambia, Africa del Suroeste, Níger, Nigeria, Africa del Sur, Egipto, Gabón, Pakistán y Australia.

Como resultado de los trabajos y gestiones emprendidas, se establecieron acuerdos para la exploración y explotación de minerales radiactivos en Canadá (Conwest) y Africa del Sur (Karoo); asimismo ENUSA actuó como operador en Colombia. Los gastos totales en exploración exterior han sido de 20.6 M \$ USA, alcanzando su máxima actividad en 1979. Los escasos resultados obtenidos, la fuerte caída del precio del uranio en el mercado internacional y la importante reducción del Programa Nuclear Español, y por tanto de la demanda nacional presente y futura de concentrados de uranio, ha provocado que desde 1982 se suspendieran los trabajos en Africa del Sur, que se cerrara la sucursal de ENUSA en Colombia y que se detuviesen los trabajos en el Canadá.

## 7. LA MINERIA DEL URANIO EN ESPAÑA

La minería del uranio en España fue desarrollada inicialmente por la JEN, desde 1949, y posteriormente, en 1974, ENUSA se incorporó a esta actividad. En un principio, la JEN explotó los yacimientos de minerales radiactivos de la zona de Monasterio (Ba-

**GRAFICO 4**  
**PRODUCCION DE CONCENTRACION DE URANIO ( $U_3O_8$ )**  
**EN Saelices El Chico**



Fuente: Empresa Nacional del Uranio, S. A. Memoria 1985.

dajoz). Se trataba de minerales de alta ley de uranio, pero, al ser los yacimientos de escasa dimensión, se agotaron rápidamente. Posteriormente, en 1954, la JEN inició la explotación de los yacimientos del sector de Andújar. Estos minerales sirvieron para los ensayos, a escala piloto, en los que se basó el proceso de obtención de concentrados de uranio para el proyecto de la Fábrica General Hernández Vidal (Andújar), que se puso en marcha en 1959. Los minerales del sector de Andújar se explotaron desde 1954 a 1973.

Posteriormente se puso en marcha el sector de Don Benito, con varios yacimientos en pizarras, que hasta 1981 aprovisionaron a la planta de Andújar. Ésta, con capacidad de tratamiento de 200 tm de mineral día, ha producido desde 1959 una media de 60 tm  $U_3O_8$ /año, es decir unas 1.300 tm  $U_3O_8$  hasta su cierre definitivo en 1981.

### 7.1. Proyecto de Explotación Minera Salamanca (PEMS)

La Junta de Energía Nuclear (JEN) descubrió, durante la década de los años sesenta, los yacimientos de uranio de la provincia de Salamanca e inició una pequeña explotación de FE. A finales de 1973 se produjo la transferencia de la explotación de los yacimientos de minerales radiactivos de la provincia de Salamanca a la recién constituida Empre-

sa Nacional del Uranio, S. A., que reinició la explotación del yacimiento en julio de 1974. El yacimiento uranífero FE, el más importante de los conocidos hasta el momento en España, está situado en el término municipal de Saelices el Chico (Salamanca).

En un principio, la JEN instaló una planta piloto, denominada ELE, que tenía como finalidad la constatación empírica de su tecnología y el desarrollo necesario para poderla aplicar a nivel comercial. En octubre de 1973 se inició por ENUSA la construcción de una planta industrial denominada Elefante, que se puso en marcha en mayo de 1975. Situada al pie de los principales yacimientos, sigue un proceso de lixiviación estática en eras. La inversión inicial total fue de 129 millones de pesetas. En esta inversión se incluye no sólo la correspondiente al proyecto y construcción de la planta sino también al proyecto de la explotación minera, los costes de las labores preparatorias de acceso al mineral y los correspondientes a la formación de un *stock* de mineral inicial.

Desde su puesta en marcha, la producción anual de la planta Elefante se ha situado cercana a las 130 tm de  $U_3O_8$  (gráfico 4), capacidad técnica de la planta, hasta que en 1980 se iniciaba un importante crecimiento de la misma como consecuencia, principalmente, de las mejoras introducidas en las labores mineras, que aumentan sensiblemente la disponibilidad minera fértil. Con lo que en 1985 se alcanzó una producción de 210 tm de  $U_3O_8$ .

A pesar de la baja ley del mineral, los costes de producción son sensiblemente inferiores a los costes de compra en el exterior. En los últimos años el rendi-

miento de la planta ha pasado del 60 al 66 por 100; asimismo han disminuido sensiblemente los costes de producción, al haberse reducido el consumo de ácido sulfúrico. Las causas de estas mejoras hay que atribuir las a una mejor operación mineralúrgica y a la existencia de fenómenos oxidantes bacterianos en las eras de lixiviación.

En 1969 la Junta de Energía Nuclear elaboró un proyecto para la instalación de una fábrica convencional de concentrados de uranio en Ciudad Rodrigo, capaz de producir 275 tm de  $U_3O_8$ /año. Además, se tratarían en eras, por el sistema de lixiviación estática, otras 450.000 tm de mineral al año, que aportarían una producción adicional de 112 tm de  $U_3O_8$ /año. El proyecto para la explotación de Ciudad Rodrigo estimaba una producción total de 387 tm de  $U_3O_8$ /año. La Empresa Nacional del Uranio, S. A. reconsideró este proyecto inicial por considerar que el tratamiento en eras de lixiviación para minerales con un contenido medio de 500 ppm. permite sólo una recuperación del 60 por 100. En una planta convencional (23) se obtiene un rendimiento de un 90 por 100, merced a una mayor degradación de tamaño, tostación de los minerales para romper la malla de la limonita y lixiviación en tanques agitados. Es evidente que una fábrica convencional permite el mejor aprovechamiento del uranio contenido en los minerales, consiguiéndose de esta forma un significativo aumento de las reservas aprovechables, aun a costa de una elevación del 5 por 100 en los costes de producción (24).

Con estos criterios sobre optimización de recursos, la Empresa Nacional del Uranio, S. A. emprendió el Proyecto de Explota-

ción Minera Salamanca (PEMS), cuyos objetivos son: el aumento de la producción de la zona de Ciudad Rodrigo a 950 tm  $U_3O_8$ /año en 1991 (25); la mejora del rendimiento de tratamiento hasta un 90 por 100, mediante la explotación optimizada de los yacimientos FE y D de la zona de Ciudad Rodrigo, y el tratamiento de gran parte de sus minerales en una nueva planta que empleará un proceso convencional, al que se incorporarán los nuevos avances de la tecnología en el tratamiento de minerales de uranio, denominado Proyecto Encinar.

El coste unitario de explotación del PEMS es un 10 por 100 (26) inferior al coste medio de las compras de concentrado de uranio que realiza ENUSA en el exterior. La puesta en marcha del PEMS significará un ahorro anual en divisas de unos 50 millones de \$ USA y representa una participación nacional del 93,4 por 100 (ver cuadro n.º 4), lo que pone de manifiesto el alto nivel tecnológico alcanzado en este campo.

El desarrollo del Proyecto de Explotación Minera Salamanca permitirá aumentar la capacidad de producción en la zona de Ciudad Rodrigo hasta unas 950 tm  $U_3O_8$ /año y, al mismo tiempo, una importante mejora del aprovechamiento de las reservas de minerales de uranio, lo que contribuye a garantizar el aprovisionamiento de concentrados de uranio para el programa nuclear español. Por otra parte, el PEMS implica un aumento de unos 315 puestos de trabajo directos en la zona de Ciudad Rodrigo, una de las más deprimidas industrialmente en el territorio nacional, así como la puesta a punto de una tecnología española que podría ser transferida en condiciones ventajosas a otros países.



CUADRO N.º 4

**PROYECTO PEMS**  
**Cuenta unitaria de explotación y grado de participación nacional en el proceso**

	Peso del concepto en el total %	Part. nacional %
Mano de Obra	15,90	100
Explosivos	2,02	100
Energía comb. y lubric.	8,09	81,6
Reactivos	26,82	97,5
Carga y transporte	16,23	75,6
Amortizaciones	14,78	96,9
Costes financieros e imprevistos	13,36	100
Otros	2,80	98,8
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>93,4</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de ENUSA.

## 7.2. Centro Minero de La Haba (Don Benito)

De acuerdo con lo previsto en el D. M. de 30 de junio de 1981, que desarrolla el Real Decreto 2.967/79 de 7 de diciembre, sobre ordenación de actividades en el ciclo del combustible nuclear, el 1 de julio de 1981 se llevó a efecto la transferencia de la JEN a ENUSA de las actividades del Plan Nacional de Exploración e Investigación del Uranio (PNEIU), entre las que se incluyen las correspondientes a los trabajos de investigación minera y tratamiento experimental de los minerales de uranio de la zona de La Haba (Badajoz), para lo que se construyó la planta «Lobo G». Se trata de una planta muy compleja y de pequeña capacidad, que utiliza el sistema de «resina en pulpa», procedimiento aplicable a minerales muy arcillosos, que ha sido poco desarrollado en otros países y, por tanto, su puesta en marcha ha implicado un nuevo desarrollo tecnológico para España. Actualmente produce, en plan experi-

mental, unas 25 tm de  $U_3O_8$ /año que se pueden duplicar en caso de necesidad.

## 7.3. Obtención de concentrados de uranio a partir del ácido fosfórico

Desde hace tiempo se conoce la presencia de uranio en los depósitos sedimentarios de fosfatos. El contenido de uranio en la roca varía de unos yacimientos a otros, pero, en general, se sitúa dentro del intervalo de 30 a 200 g.  $U_3O_8$ /t. Estas concentraciones son notablemente inferiores a las que se dan en los minerales convencionales de uranio, pero, dado el enorme tonelaje que suponen los yacimientos de fosfatos, las reservas de uranio que éstos contienen resultan de considerable magnitud y muy superiores a las de fuentes convencionales.

La recuperación del uranio contenido en la roca fosfórica ha sido

objeto de numerosos estudios y trabajos. Con la técnica actual, esta recuperación sólo resulta viable si se hace a partir del ácido fosfórico de vía húmeda, producto intermedio para la fabricación de fertilizantes de elevada concentración.

Es importante destacar, además, que el uranio solubilizado con el ácido fosfórico pasa, en su mayor parte, a los productos finales de esta industria: fertilizantes, detergentes, etc. De esta forma se constituye en un contaminante radiológico incluido en productos de uso bastante común. Su recuperación del ácido fosfórico supone la eliminación de una fuente no desdeñable de contaminación radiológica.

La producción de ácido fosfórico como producto intermedio para la obtención de fertilizantes de elevada concentración, detergentes (polifosfatos), agentes complejantes, pinturas, productos para tratamiento de aguas, piensos compuestos, etc., ha conocido un considerable desarrollo en los últimos años; como consecuencia de condicionantes energéticos, la mayor parte de este ácido se obtiene por un proceso de vía húmeda.

Los estudios de recuperación del uranio contenido en el ácido fosfórico comenzaron en la década de los años 50, con una serie de trabajos desarrollados por la U.S. Atomic Energy Commission que constituyen el origen de los métodos utilizados actualmente. En la segunda mitad de la década de los 60, diversos países, entre ellos España a través de la JEN, intensificaron los trabajos, y puede decirse que en los primeros años 70 los procesos de recuperación del uranio quedaron plenamente establecidos mediante la

aplicación de procedimientos de extracción sobre el ácido fosfórico del 28-30 por 100 en  $P_2O_5$  producido por vía húmeda.

El proyecto FUESA tiene como objetivo la recuperación del uranio contenido en el ácido fosfórico producido en la fábrica que Fosfórico Español, S. A. (FESA) tiene instalada en el polo de desarrollo de Huelva. En España, la JEN ha desarrollado y probado, a nivel de planta piloto montada en las instalaciones de FESA en Huelva, la correspondiente tecnología, la cual no ha sido aplicada a escala industrial, si bien se tiene plena confianza en el éxito de su paso a escala industrial en base a la amplia experiencia de la JEN en la tecnología de extracción de uranio con disolventes, con la cual se han tenido ya excelentes resultados en una aplicación tecnológica semejante en las instalaciones de Ciudad Rodrigo.

La aplicación industrial de esta tecnología totalmente nacional sería de gran interés, no sólo pensando en los beneficios que en sí mismo presenta el proyecto sino también atendiendo a las posibilidades de exportación y aplicación de esta tecnología en otras partes del mundo (América del Sur, Marruecos, etc.), con las consiguientes ventajas económicas y de contribución en el futuro al aprovisionamiento de uranio para el programa nuclear. Por otra parte, y en relación con el proyecto, debe tenerse en cuenta que la no recuperación del uranio del ácido fosfórico significa su pérdida definitiva.

Por todo ello, a principios del año 1980, y de conformidad con la JEN, ENUSA inició conversaciones con FESA para acometer conjuntamente el proyecto de construcción y explotación de una planta de recuperación de uranio a par-

tir del ácido fosfórico producido en sus instalaciones de Huelva, cuya capacidad de producción anual es de 400.000 tm de  $P_2O_5$ , lo que representa el 80 por 100 de la capacidad total de producción de ácido fosfórico en España. Este proyecto se basaría en la tecnología básica desarrollada por la JEN, que ésta cedería a ENUSA para este fin.

Es de destacar que, con el mismo propósito, FESA había recibido con anterioridad ofertas de asociación de Wyoming Mineral Corporation, filial de Westinghouse Electric Corporation, y de Gardiner Inc., del grupo francés Pechiney Ugine Kuhlmann. De hecho, al iniciarse las conversaciones FESA-ENUSA estaban ya muy avanzadas las negociaciones de FESA con la Wyoming Mineral Corporation. Tanto Wyoming Mineral como Gardiner han desarrollado sus tecnologías a nivel industrial y las han aplicado en sendas plantas que comenzaron su operación a finales de 1978 y a mediados de 1979, respectivamente. Ambas están localizadas en Florida (EE.UU.), donde existen grandes depósitos de roca fosfórica.

En julio de 1981 ENUSA y Fosfórico Española, S. A. (FESA), firmaron un acuerdo por el cual se creaba Fosuranio Español, S. A., sociedad cuyo capital fue aportado al 50 por 100 por ambas sociedades y cuya finalidad es el desarrollo del proyecto FUESA.

La producción de uranio, partiendo de la capacidad nominal de la planta y del factor de utilización previsto, que conducen a un tratamiento efectivo de 742.000 m/a de ácido, será de 88 tm de  $U_3O_8$ ; no obstante, este diseño permite una capacidad superior, hasta 100 tm de  $U_3O_8$ .

El coste de producción sería un 30 por 100 inferior al del proyecto PEMS, ya que en la obtención de uranio a partir del ácido fosfórico no se reflejan costes de minería, que se repercuten directamente a este último producto; el concentrado sólo soporta costes de tratamiento. Como se ha expuesto, el uranio extraído a partir del ácido fosfórico resulta más barato que el obtenido por otras técnicas, pero el incremento de la producción está asociado a la existencia de fábricas de tratamiento, y limitado por la capacidad de las mismas. Asimismo, al no tenerse en cuenta la minería, el nivel de participación nacional en la producción sería muy alto, del 97,4 por 100, sensiblemente superior al del PEMS. Actualmente este proyecto está detenido, aunque no desestimado; su realización depende de la estrategia de aprovisionamiento de uranio y de la renegociación de los contratos exteriores de suministro.

## 8. PARTICIPACION ESPAÑOLA EN LA MINERIA DEL URANIO EN EL EXTRANJERO

Con la finalidad de garantizar la cobertura de las necesidades españolas de concentrados de uranio, dada la insuficiencia de la producción nacional para cubrir las en su totalidad y la conveniencia de diversificar las posibles fuentes de abastecimiento, España decidió participar a través de ENUSA en un proyecto de explotación minera en la República de Níger. El Consejo de Ministros, en su reunión del 7 de junio de 1974, aprobó la participación de ENUSA, en un 10 por 100, del capital de la Compagnie Minière d'Akouta (COMINAK). El objeto de esa so-

**CUADRO N.º 5**  
**NECESIDADES DE CONCENTRADOS DE URANIO (En tm. de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)**

REACTORES	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992*	1993	1994	1995
Vandellós I	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
Zorita	39,5	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9
Garofía	90,5	94,0	78,5	82,0	78,5	82,0	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5
Almaraz I		141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
Ascó I		402,8		141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
Almaraz II		402,8		141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
Cofrentes				397,1		184,6	157,2	139,6	139,6	139,6	147,9	139,6	135,4	139,6	139,6	139,6
Asco II				402,8		141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141
Vandellós II							402,8		169,2	169,2	169,2	169,2	169,2	169,2	169,2	169,2
Trillo I									441,9					192,2	192,2	192,2
Valdecaballeros I												444,7		183,5	172,9	146,3
TOTAL Demanda Nac.	229,0	1.178,5	357,4	1.442,8	639,4	968,5	1.340,4	920	1.531,1	1.089,2	1.289,7	1.726,1	1.277,2	1.464,9	1.454,3	1.427,7
Producción nal. prevista	159	165	183	200	210	230	235	240	250	250	500	1.000	1.000	1.000	1.050	1.100
Grado de autoabastecimiento con produc. nacional (%)	69,4	14,0	51,2	13,9	32,8	23,7	17,5	26,1	16,3	23,0	38,8	57,9	78,3	68,3	72,2	77,0
Produc. exterior interven.	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Prod. nal. + interv.	509	515	533	550	560	580	585	590	600	600	850	1.350	1.350	1.350	1.400	1.450
Grado cobertura con prod. nacional + intervención (%)	222,3	43,7	149,1	38,1	87,6	59,9	43,6	64,1	39,2	55,1	65,9	78,2	105,7	92,2	96,3	101,6

\* Año objetivo el PEN 83.  
Fuente: Elaboración propia.

ciudad es la explotación de yacimientos uraníferos en la región de Akouta (República de Níger). El resto de su accionariado está compuesto por La Compagnie Generale des Matieres Nucleaires (COGEMA) de Francia, con un 34 por 100, la sociedad estatal nigeriana Office National des Ressources Minières (ONAREM) con un 31 por 100 y Overseas Uranium Resources Development Co. Ltd. (OURD), de Japón, con un 25 por 100.

La planta de COMINAK entró en explotación comercial a finales del año 1978, año en el que la producción obtenida fue de 400 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, pasando a 2.150 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> en 1979 y alcanzando en 1980 su capacidad total, que es de 2.350 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Como subproducto se obtiene molibdato de cal, con un contenido de unas

130 tm de molibdeno. La participación de ENUSA en COMINAK le da derecho a adquirir un 15 por 100 de la producción, es decir, 350 tm de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> al año.

### 9. BALANCE OFERTA-DEMANDA DE CONCENTRADOS DE URANIO EN ESPAÑA. PARTICIPACION NACIONAL

La totalidad de los reactores nucleares españoles, a excepción de Vandellós I, emplean como combustible uranio ligeramente enriquecido. Para poder realizar estimaciones de demanda, es necesario tener en cuenta este hecho, ya que, por la existencia de procesos de enriquecimiento y fa-

bricación, se requiere disponer del concentrado de uranio por lo menos 18 meses antes de la introducción de la recarga en el núcleo. En el caso de una primera carga, el desfase temporal existente entre la puesta en marcha de la central y las necesidades de concentrados, alcanza los 30 meses.

Partiendo de la evolución prevista en el PEN 83 para el programa nuclear español, se han estimado las necesidades de concentrados de uranio para los reactores españoles. El cálculo se ha realizado reactor por reactor (ver cuadro n.º 5) estudiando sus contratos de suministro de combustible, ya que, en función del grado de enriquecimiento de la recarga y las colas utilizadas, se pueden calcular las necesidades de concentrados de uranio para

cada grupo y recarga. La demanda nacional de concentrado de uranio registra grandes fluctuaciones entre 1981 y 1991, debido a la importancia que tienen los primeros núcleos sobre la demanda total. Esta se estabiliza en unas 1.500 tm de  $U_3O_8$  a partir de 1993, año en el cual estarán en operación todas las centrales previstas actualmente por el PEN 83, a las que previsiblemente se les incorporará Valdecaballeros I en el año 1993, puesto que la elasticidad-renta de la demanda de energía eléctrica en España está siendo muy superior a las previsiones del plan energético en vigor.

Según se muestra en el cuadro número 5, se prevé que la producción nacional de concentrados de uranio pase de 230 tm de  $U_3O_8$  en 1985 a 1.000 tm de  $U_3O_8$  en 1991, con la puesta en operación del proyecto Encinar y con la utilización a pleno rendimiento de la planta Lobo G; posteriormente se podría poner en explotación comercial el proyecto FUESA, y cerca del año 2000 otras nuevas zonas de producción en las que se han localizado reservas de uranio (ver mapa n.º 1). Con todo ello, hacia el año 1993 se puede alcanzar un grado de autoabastecimiento de la demanda con producción nacional de un 70 por 100, lo que representaría una notable reducción de la fuerte dependencia exterior que sufre el sector energético español. La demanda nacional de uranio quedaría completamente cubierta con la adición a la producción nacional de la parte de la producción de COMINAK (27) a la que ENUSA tiene derecho por ser accionista de la misma, lo que se ha denominado intervención nacional. Actualmente España, al igual que otros países occidentales, tiene almacenados unos importantes *stocks* de uranio, tanto natural

como enriquecido. Esto es debido a que durante los años 1974-1976, con el fin de garantizar el abastecimiento al programa nuclear previsto por el PEN 75, se firmaron contratos de suministro de concentrados de uranio a largo plazo (28) con las siguientes compañías: Denison Mines Limited (Canadá), Eldorado Nuclear Limited (Canadá), Rio Tinto Management Service (Namibia) y Nuclear Fuels Corporation of South Africa (Sudáfrica). Al no cumplirse el plan nuclear previsto, los suministros han sido muy superiores a la demanda. La estrategia debe consistir en renegociar estos contratos, reduciendo el precio y las cantidades a fin de lograr que en 1991 los excedentes constituyan únicamente un *stock* razonable de seguridad (29) y las centrales nucleares españolas se abastezcan exclusivamente de la producción nacional y de la obtenida con nuestra intervención directa. Al no existir en nuestro país, ni estar previstas para el futuro, plantas de enriquecimiento y reprocesado, el grado de cobertura del total del ciclo del combustible nuclear en España es únicamente del 39 por 100 (30). Sin embargo, con la adhesión de España al EURATOM, y por tanto a la Agencia de Aprovisionamiento, se tendrá acceso directo a las producciones comunitarias, cuya capacidad instalada supera ampliamente las necesidades de los otros países comunitarios, lo que garantiza el aprovisionamiento futuro de la demanda española.

## 10. CONCLUSIONES

El incremento de los precios de las materias primas energéticas entre los años 1974-1976 produjo un fuerte desarrollo de las actividades de exploración y búsqueda de nuevos recursos de ura-

nio, que se han visto frenadas en los últimos años como consecuencia de la caída de los precios de los concentrados, al haberse producido grandes *stocks*, ya que la demanda real está siendo muy inferior a la prevista por la reducción de los programas nucleares en casi todo el mundo occidental. Las reservas de uranio, que alcanzaron su punto máximo en 1979, se han visto reducidas como consecuencia del encarecimiento de los procesos de extracción y de la reducción de las tareas de exploración. No obstante, las actuales reservas de uranio en el mundo occidental, estimadas en 1,72 millones de tm de  $U_3O_8$  son suficientes para más de 40 años. Asimismo, estas reservas se multiplicarían por casi 100 si se emplearan reactores rápidos reproductores.

La puesta en marcha de ambiciosos programas nucleares en la mayoría de los países desarrollados a partir de la crisis del petróleo provocó un rápido crecimiento de los precios del uranio, lo que ocasionó un gran incremento de su producción desde 1976, alcanzando su techo en el período 1980/81. Al no responder los programas nucleares a las previsiones, se produjo un descenso de los precios y un fuerte incremento de los *stocks* mundiales de uranio.

Como resultado de los trabajos llevados a cabo desde 1975, dentro del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio, las reservas de éste en España han pasado de 8.100 tm de  $U_3O_8$  en 1976 a 39.000 tm de  $U_3O_8$  en 1984, lo que representa un incremento de más del 380 por 100 en un período de sólo ocho años, situando a nuestro país en el segundo lugar de Europa, detrás de Francia. La importancia de estas

reservas se pone de relieve si se tiene en cuenta que su equivalente energético es de 385 millones de toneladas de fuel-oil para la producción de energía eléctrica, y que garantizan la cobertura de la demanda nacional de uranio durante más de 25 años.

Se prevé que la producción de uranio en España pase de las 230 tm de  $U_3O_8$  en 1985 a 1.000 en 1991, mediante la puesta en marcha del proyecto Encinar y el incremento de la producción en Don Benito. Asimismo es posible que después de 1995 entre en operación el proyecto FUESA. Es de destacar que estos proyectos están basados en tecnologías desarrolladas por la Junta de Energía Nuclear y la Empresa Nacional del Uranio, S. A., lo que hace que el nivel medio de participación nacional en la producción de concentrados de uranio sea del 93,4 por 100. El análisis económico de las diferentes técnicas empleadas en España demuestra que la obtención de uranio a partir del ácido fosfórico es el método más barato de todos, ya que no soporta costes de minería, sólo de tratamiento, aunque sufre una gran limitación, derivada de la necesidad de estar asociado a una planta de fosfatos y supeditado a la capacidad de la misma. Por otra parte, el proceso más caro es el de lixiviación dinámica, aunque es el que más alto rendimiento logra de los recursos, con los consiguientes beneficios sociales que ello representa.

Las necesidades nacionales de concentrados de uranio para el período 1980-1995 son de 18.336 tm  $U_3O_8$ , de las cuales el 42,4 por 100 puede ser cubierto con producción nacional, lo que aumentaría a un 72,9 por 100 si se hace con intervención nacional. Ello representa un nivel muy im-

portante si se tiene en cuenta que se trata de una materia prima energética.

El importante potencial energético que posee el uranio español permitirá aumentar nuestro bajo grado de autoabastecimiento, lo que reduciría la vulnerabilidad de un sector de tanta importancia estratégica como es el energético.

## NOTAS

(1) Fundamentalmente, el desarrollo del proceso de motorización, la mecanización agrícola y la expansión de la flota pesquera.

(2) La central de «José Cabrera Zorita» es propiedad de Unión Eléctrica, tiene una potencia de 160 Mwe., con una tecnología de agua a presión (PWR).

(3) Ver *Boletín Oficial del Estado* de 20 de julio de 1972.

(4) Ver, Ministerio de Industria y Energía, *Plan Energético Nacional 1975-1985*, Servicio de Publicaciones, Madrid 1975.

(5) Ver Ministerio de Industria y Energía *Plan Energético Nacional 1978-87*, Servicio de Publicaciones, Madrid 1979.

(6) Las centrales denominadas de la tercera generación son: Valdecaballeros I y II, Trillo I y II, Vandellós II y III, Sayago y Regodola.

(7) Estas centrales son: Cofrentes, Ascó II, Vandellós II y Trillo I.

(8) Las centrales nucleares desestimadas son: Lemoniz I y II, Trillo II, Valdecaballeros I y II, Vandellós III, Sayago y Regodola.

(9) El precio del concentrado de uranio pasó de 7 a 41 \$ la libra de  $U_3O_8$ , durante ese período.

(10) OCDE: *Uranium, ressources, production et demande*, OCDE, Paris, 1983.

(11) Último dato disponible.

(12) Para poder ser considerada reservas, la producción de este uranio debe de ser técnicamente viable, económicamente rentable y consumir en el proceso menos energía que la que se espera obtener del mismo.

(13) Ver OCDE: *Uranium, ressources, production et demande*, OCDE, Paris, febrero 1982, págs. 20 y 21, y compararlo con el mismo informe correspondiente a diciembre de 1983, que es el último publicado hasta la fecha.

(14) Datos estimados por NUXCO.

(15) Datos de 1983, obtenidos del informe de la OCDE: *Uranium...*, op. cit.

(16) Nivel de empobrecimiento al que sale el uranio residual en los procesos de enriquecimiento.

(17) Ver UNESA, *Las centrales nucleares en el mundo*, Servicio de Publicaciones, 1985.

(18) Esta repercusión, según el contrato tipo entre ENUSA y las empresas eléctricas, sería, como máximo, el 10 % del coste del concentrado de uranio.

(19) Yacimientos situados en Ciudad Rodrigo, actualmente en explotación comercial.

(20) En España se estiman tres tipos de recursos de uranio:

Los económicamente viables (V), es decir, los que se pueden explotar a costes inferiores a 10.000 pts./kg  $U_3O_8$ .

Los de viabilidad dudosa (VD), con unos costes comprendidos entre 10.000 y 15.000 pts./kg  $U_3O_8$ .

Recursos relegados (R), que son las reservas geológicas conocidas de las que se duda sobre su viabilidad tanto técnica como económica. Pueden pasar a las categorías anteriores si mejoran las técnicas de explotación o si aumentan mucho los precios del concentrado de uranio en los mercados.

(21) Véase Juan BASABE, «El ciclo del combustible nuclear», PAPELES DE ECONOMÍA ESPAÑOLA, n.º 14, 1983.

(22) LWR son los reactores de agua ligera.

(23) A este proceso también se le denomina lixiviación dinámica.

(24) Este diferencial desaparecería si se consideraran en los cálculos los costes de restauración del terreno.

(25) Ver Ministerio de Industria y Energía, *Plan Energético Nacional 1983-92*, Servicio de Publicaciones, Madrid, 1984.

(26) Como se puede ver en el cuadro número 4, los costes en reactivos representan casi el 27 por 100 del total. Estos se pueden ver reducidos en el futuro, lo que lógicamente permite una importante reducción en los costes totales.

(27) ENUSA tiene derecho a disponer anualmente, como ya se ha dicho, de 350 tm de  $U_3O_8$  de la producción general de COMINAK (Níger).

(28) Contratos de suministro de concentrados de uranio que, en muchos casos, eran de 20 años, a unos precios que actualmente están muy por encima del mercado *spot*.

(29) *Stock* de seguridad denominado *Stock Básico de Uranio*, compuesto por 3.000 tm. de  $U_3O_8$ , que garantizaría el suministro al programa nuclear español durante dos años en caso de contingencia.

(30) Ver Juan E. IRANZO: «El sector energético español ante el EURATOM», PAPELES DE ECONOMÍA ESPAÑOLA, n.º 25, 1985.