

EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

La seguridad del abastecimiento a largo plazo del combustible necesario es uno de los puntos esenciales de cualquier programa energético. Esto es aún más evidente en el caso de un programa energético nuclear, como consecuencia de las enormes inversiones que suponen las centrales nucleares y la complejidad del combustible nuclear.

Este trabajo de **Juan Basabe y Manso de Zúñiga** da una idea de la situación actual y perspectivas, en cuatro puntos esenciales del ciclo: el abastecimiento de uranio, el abastecimiento de servicios de enriquecimiento, la fabricación de los elementos combustibles y el tratamiento del combustible irradiado descargado de los reactores nucleares.

EN cualquier programa energético, la seguridad del abastecimiento a largo plazo del combustible necesario es uno de los puntos esenciales del mismo. En el caso de un programa energético nuclear, esto es aún más evidente como consecuencia de las enormes inversiones que suponen las centrales nucleares y la complejidad del combustible nuclear, que requiere un largo y tecnológicamente complicado proceso para su fabricación, y un tratamiento especial después de haber sido utilizado y descargado de los reactores.

El llamado «ciclo del combustible nuclear» abarca desde la exploración e investigación de los recursos uraníferos hasta el almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos. Este ciclo es diferente según el tipo de reactor y, fundamentalmente, según utilice uranio natural o uranio ligeramente enriquecido en su isótopo 235. Al estar el programa nuclear español basado en reactores de agua lige-

ra, que utilizan uranio ligeramente enriquecido, se van a analizar las fases fundamentales de este ciclo, reflejadas en el esquema 1. Esta figura está algo simplificada y podría complicarse más si se tomara en consideración la posibilidad de utilizar óxidos mixtos de uranio y plutonio para la fabricación de elementos combustibles que, aunque es una posibilidad real con tecnología conocida y posibilidad de fabricación en algunos países, de momento no se aplica y a plazo medio no está prevista su utilización en los reactores de ningún país.

Característica común a la mayor parte de las actividades del ciclo del combustible nuclear es la utilización de técnicas muy avanzadas, en continuo proceso de perfeccionamiento, que van acompañadas de rigurosas medidas de seguridad, desconocidas en otras actividades industriales, y la exigencia de fuertes inversiones, en muchos casos debido a la dimensión mínima económica de las plantas, que

desbordan las posibilidades de una sola empresa e, incluso, de un solo país, provocando la constitución de consorcios multinacionales para su realización.

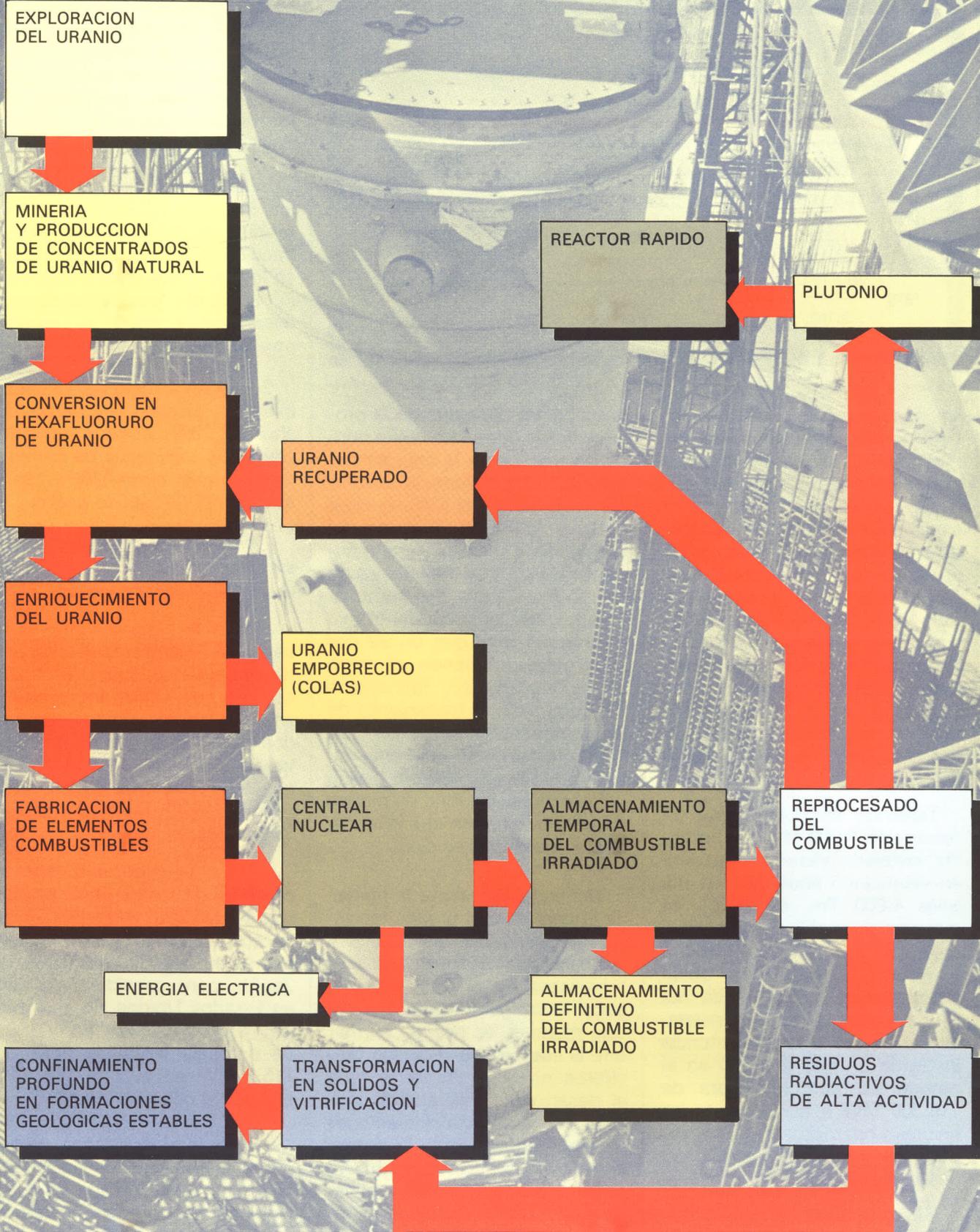
La colaboración internacional es esencial para un adecuado desarrollo de la energía nuclear para usos pacíficos y es utópico pensar en la autosuficiencia y la independencia en el terreno nuclear salvo en el caso de las dos grandes potencias. Esta necesidad de colaboración internacional obliga a dar una visión general de la situación mundial de las distintas fases del ciclo, para encajar dentro de ella la situación española.

I. SITUACION Y PERSPECTIVAS DE LA PRODUCCION Y CONSUMO DE URANIO

La Agencia de Energía Nuclear de la OCDE, en colaboración con el Organismo Internacional de la Energía Atómica, con sede en Viena, publican periódicamente la situación de los recursos de uranio en el mundo. Los últimos datos disponibles (diciembre 1979) muestran dicha situación (cuadro número 1), en la que no están incluidos los países del mundo comunista (URSS, países del Este de Europa y China), que se compara con la situación de 1975.

La comparación de estas cifras pone de manifiesto el éxito de los programas de exploración lanzados a partir de 1974, cuando la crisis del petróleo provocó una fuerte expansión de los programas nucleares en todo el mundo y un alza espectacular

ESQUEMA 1 CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR



CUADRO N.º 1

RECURSOS DE URANIO EN EL MUNDO

(En miles de Tm. U₃O₈)

| | Razonablemente asegurados | Razonablemente asegurados | Adicionales estimados |
|------|---|--|---|
| 1975 | < 15 \$ lb U ₃ O ₈ 1.273 | entre 15 y 30 \$ lb U ₃ O ₈ 861 | < 30 \$ lb U ₃ O ₈ 1.981 |
| 1979 | < 30 \$ lb U ₃ O ₈ 2.182 | entre 30 y 50 \$ lb U ₃ O ₈ 873 | < 50 \$ lb U ₃ O ₈ 2.889 |

lar de los precios del uranio. Esta fuerte ampliación de los recursos mundiales en un plazo de cuatro años pone de relieve la todavía relativamente escasa exploración del uranio en el mundo y las posibilidades futuras de encontrar más recursos en nuevos países donde ha empezado muy recientemente la exploración. Las reservas adicionales encontradas lo han sido fundamentalmente en los mismos países donde se acumulaban las mayores reservas conocidas, Estados Unidos, Canadá, Australia, Sudáfrica y Níger.

Teniendo en cuenta que un reactor de 1.000 MW de potencia instalada viene a consumir en veinticinco años de vida útil unas 4.000 Tm. de U₃O₈, las reservas razonablemente aseguradas a un coste inferior a 50 \$/lb U₃O₈ permitirían abastecer durante toda su vida útil a una potencia nuclear instalada de 762.000 MW. La potencia instalada al final de 1980 en el mundo no comunista era de 115.300 MW y actualmente las hipótesis optimistas calculan una potencia instalada máxima del orden de 560.000 MW en 1995.

Hay que tener en cuenta que

unos costes elevados de la producción de uranio no serán nunca un freno para la energía nuclear, pues la incidencia del uranio en el coste del KWh nuclear es muy reducida. El coste del combustible nuclear viene a suponer un 23 por 100 del coste del KWh. Dentro del combustible nuclear, el coste del uranio no supone más que un 20 por 100, correspondiendo el resto al enriquecimiento, fabricación del combustible, tratamiento de los combustibles irradiados, etc. Esto quiere decir que una subida del 100 por 100 del precio del uranio repercutiría en menos de un 5 por 100 en el KWh producido de origen nuclear.

Teniendo en cuenta la rigidez de la demanda al precio, los recursos adicionales estimados y la posibilidad de futuros descubrimientos de un mineral muy poco investigado todavía a escala mundial, es posible afirmar que la escasez de recursos uraníferos no será un freno para el desarrollo de la energía nuclear. A estas consideraciones hay que añadir que la futura entrada en servicio de la nueva generación de reactores, los llamados reactores rápidos o re-

productores, que funcionan con plutonio y que a su vez generan más plutonio durante su funcionamiento, supondrá multiplicar por 60 el valor energético de los recursos de uranio conocidos y por conocer.

Si desde el punto de vista de los recursos no se vislumbran problemas, el balance entre producción y consumo de uranio en los próximos años puede verse afectado por importantes desajustes y tener su correspondiente reflejo en los precios.

Según un estudio del Uranium Institute, basado en datos de abril de 1981, pueden contemplarse los escenarios de demanda de uranio, entre 1980 y 1995, que se reflejan en el gráfico 1.

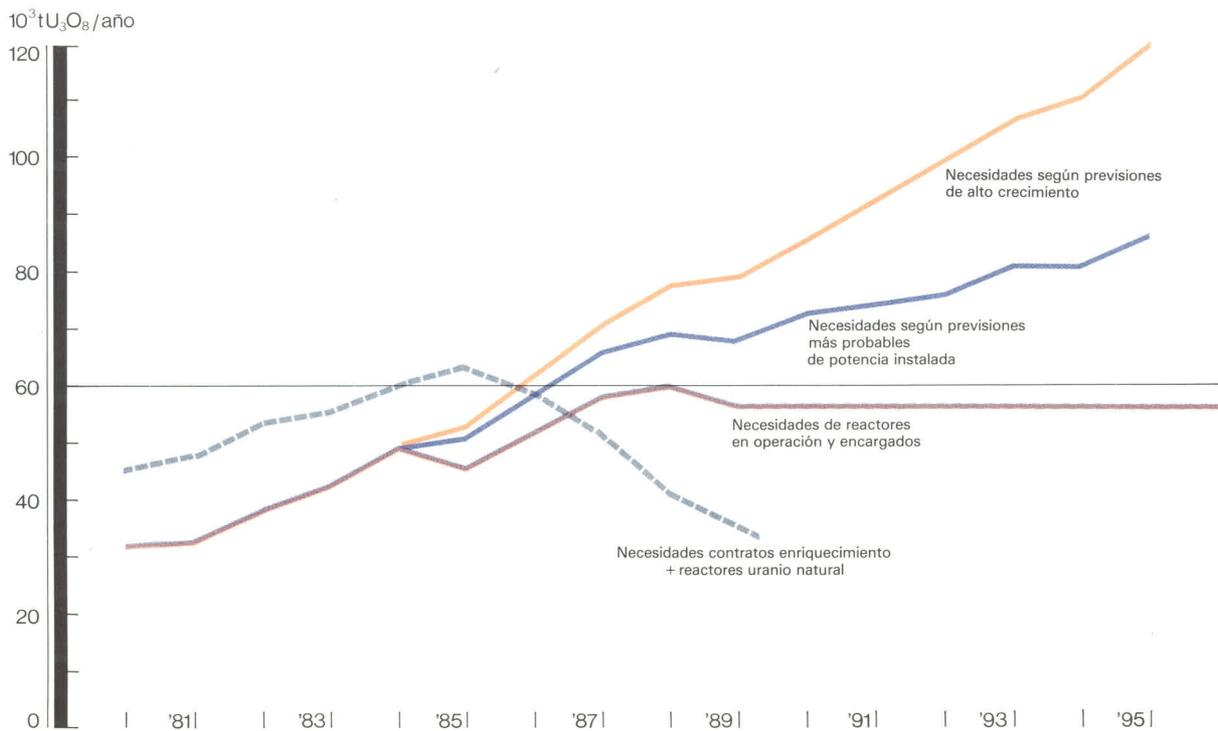
Para establecer estas hipótesis de demanda se ha partido de los siguientes supuestos:

a) En la hipótesis más baja se prevé que no se ponen en funcionamiento más reactores que los que están actualmente en construcción y comprometidos en firme, lo que da una potencia instalada de 115,3 GW en 1980 (reactores ya en operación), 322,7 GW en 1990 y 335,4 GW en 1995.

b) En la hipótesis media, considerada como más probable, se suponen incrementos de la capacidad instalada, especialmente en Francia, Alemania y Japón, pero considerando que en Estados Unidos no se rebasan las previsiones anteriores. La potencia instalada pasa de 115,3 GW en 1980 a 352 GW en 1990 y 440 GW en 1995.

c) En la hipótesis alta se supone un relanzamiento de la energía nuclear en los Estados Unidos. La potencia instalada

GRAFICO 1
PREVISION DE LA DEMANDA MUNDIAL DE URANIO
(Excluidos países socialistas)



Fuente: Uranium Institute, 1981.

pasa a 394,7 GW en 1990 y a 559,5 GW en 1995.

La demanda de uranio en la primera mitad de los años ochenta está determinada fundamentalmente por los contratos de servicios de enriquecimiento, que, como consecuencia de los retrasos y reducciones en los programas nucleares, son muy superiores a la demanda real y están obligando a los consumidores a acumular *stock* de uranio enriquecido.

La demanda de uranio es del orden de las 48.000 Tm. de U₃O₈ en 1981 y sube a unas 60.000

toneladas en 1985. A partir de este año los contratos de enriquecimiento dejan de jugar un papel importante en la demanda de uranio. En la hipótesis considerada como probable, la demanda será de unas 70.000 Tm. en 1990 y de unas 82.000 en 1995.

Los *stocks* acumulados pueden tener una incidencia significativa en la segunda mitad de los ochenta. Dichos *stocks*, al final de 1981, son del orden de las 218.000 Tm. de U₃O₈, que se verán incrementadas en unas 47.000 Tm. de U₃O₈ al final de 1985, lo que supondrá 4,5 años

de consumo, cuando puede considerarse que la política de *stocks* considerada generalmente como adecuada, aunque con grandes diferencias de país a país, es del orden de 2 a 2,5 años de consumo.

La producción de uranio se vio fuertemente incrementada a partir de 1974, basándose en unas estimaciones sobre las necesidades de la energía nuclear que han resultado excesivas. Esto ha llevado a la actual situación de sobreproducción, que continuará en la primera mitad de los ochenta, paliada en parte para los productores por la de-

manda artificial originada por los contratos de enriquecimiento.

La capacidad de producción de las actuales plantas en operación y en construcción es la reflejada en el cuadro n.º 2, según datos de Uranium Institute (abril 1981), en miles de toneladas de U_3O_8 .

En el gráfico 2 se ve que, con las plantas actualmente en producción y en construcción, la capacidad de producción está claramente por encima de la demanda hasta 1987. A partir de ese año, si no empiezan a entrar en funcionamiento los proyectos actualmente en estudio, la capacidad de producción empieza a ser rápida y crecientemente inferior a la demanda. En

CUADRO N.º 2
CAPACIDAD DE PRODUCCION DE URANIO
(En miles de Tm. U_3O_8)

| | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 |
|--|------|------|------|------|
| Plantas en operación | 52,4 | 48,5 | 44,8 | 27,6 |
| Plantas | 4,2 | 15,8 | 15,9 | 15,6 |
| Máxima producción potencial de nuevos proyectos actualmente en estudio | — | 1,9 | 14,6 | 59,1 |

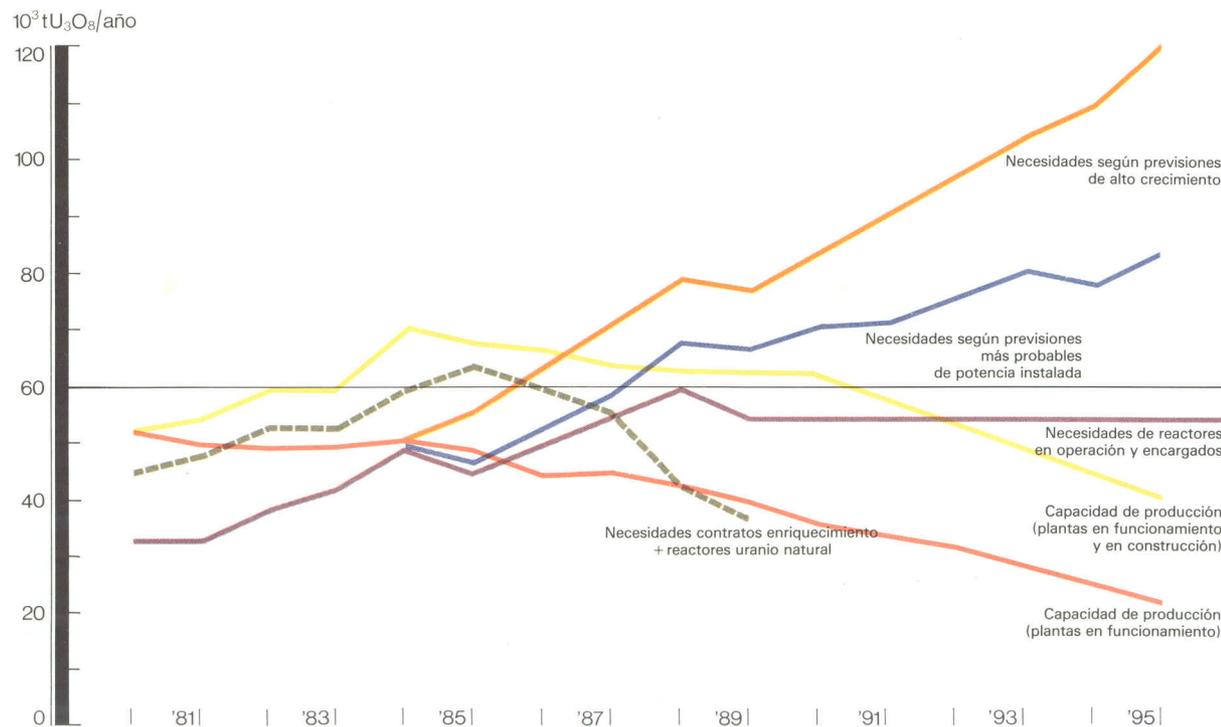
1987, los *stocks* que hoy se consideran adecuados (2 a 2,5 años de consumo) deberían ser del orden de las 140.000 Tm. U_3O_8 , con lo que habría unos *stocks* excedentes del orden de las 125.000 Tm. U_3O_8 .

Con los proyectos en evalua-

ción en 1980 se haría frente, fácilmente, a los incrementos de demanda en la hipótesis considerada como más probable.

El mercado del uranio es un mercado muy poco transparente y bastante especial. Más del 95 por 100 de las transacciones

GRAFICO 2
COMPARACION DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION CON LA DEMANDA PREVISTA DE URANIO (excluidos países socialistas)



Fuente: Uranium Institute, 1981.

comerciales se realizan en el marco de contratos a largo plazo, que cubren entre cinco y doce años de suministro. Hoy prácticamente puede decirse que no queda ningún contrato de este tipo a precio fijo y lo normal es que los contratos tengan una cláusula de precio base sometido a una escalación anual o bien una cláusula de *World market price*, que obliga a negociaciones anuales, con último recurso a un arbitraje. También es frecuente fijar el precio con la cláusula de *World market price*, pero con un precio mínimo sometido a fórmula de escalación.

A pesar de los excesos de producción, los precios en los contratos a largo plazo han aumentado en términos monetarios de 1976 a 1980, pero han venido deteriorándose sobre una base real, debido al fuerte aumento de los costes de producción durante el período, aumentos de coste en los que ha incidido la inflación generalizada y las medidas de seguridad y relativas al medio ambiente, cada vez más estrictas, impuestas a las explotaciones mineras en gran número de países.

El comercio *spot*, que en volumen viene a suponer un 3 a 4 por 100 de las transacciones, refleja claramente la situación de sobreproducción y de fuertes *stocks*, con precios que pasaron del orden de 10 \$/lb U_3O_8 en 1973 a 45 \$/lb U_3O_8 en 1978, para caer a 24 \$/lb U_3O_8 en 1981. Estos precios, aunque poco significativos por el volumen a que se aplican, influyen en la fijación de precios de los contratos a largo plazo y revelan una situación del mercado.

La situación actual se carac-

CUADRO N.º 3
RESERVAS EXPLOTABLES DE URANIO EN ESPAÑA
(En Tm. U_3O_8)

| | 1975 | 1981 |
|--------------------|--------------|---------------|
| Salamanca | 6.400 | 17.500 |
| Guadalajara | 0 | 3.000 |
| Badajoz | 200 | 500 |
| TOTAL | 6.600 | 21.000 |

teriza por una paralización prácticamente total de las contrataciones a largo plazo. En estas condiciones (costes altos, paralización del mercado y exceso de capacidad de producción) no es previsible que a corto plazo se lancen los proyectos de producción de uranio actualmente en período de estudio, y es previsible que se retrasen algunos de los que están en construcción.

Todo parece indicar que el uranio no escapará a los fenómenos cíclicos característicos de los mercados de metales, si bien hay que tener en cuenta que la práctica de contratación a largo plazo, la presencia de intereses de los consumidores en algunas empresas productoras importantes y la fuerte acumulación de *stocks*, que existirá en los momentos en que la capacidad de producción no cubra las necesidades de la demanda, hará en cierto modo que el ciclo se suavice.

Como conclusión podría decirse que los recursos existentes, los proyectos en marcha o en estudio, la rigidez de la demanda a los precios, la confluencia en muchos casos de los intereses de productores y consumidores llevarán a situaciones de equilibrio que se irán

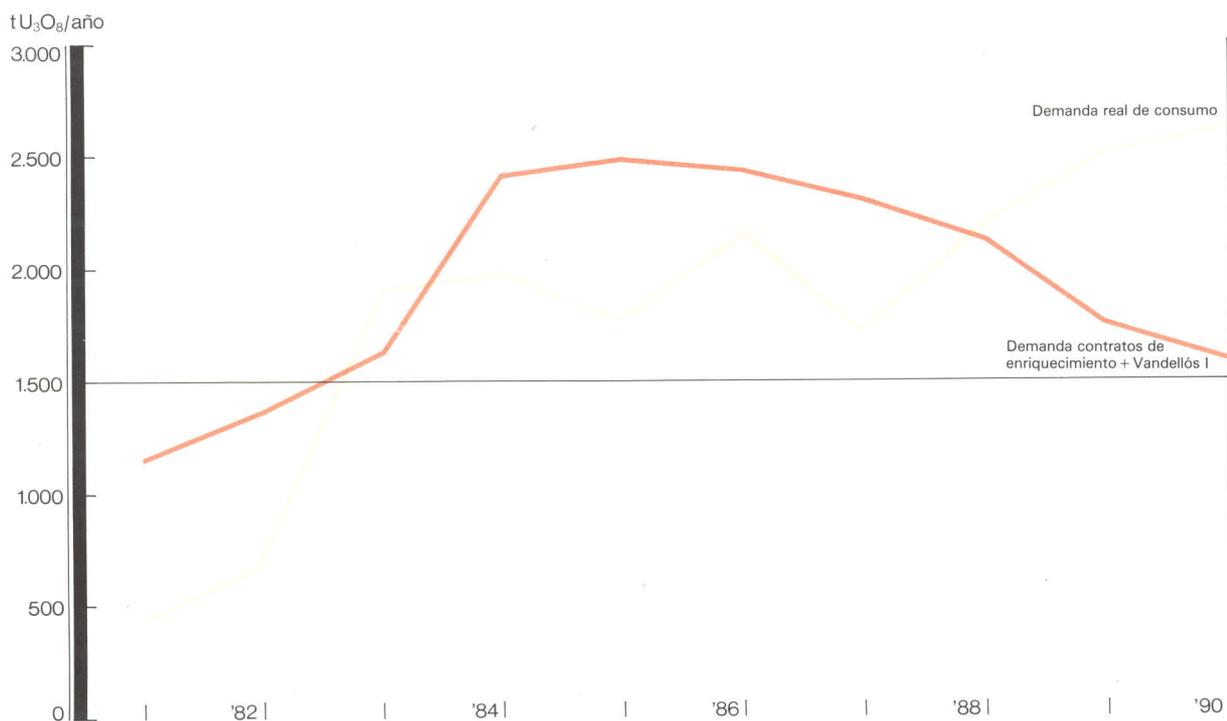
consiguiendo en un clima de tensiones, pero sin grandes traumas.

Situación en España

Se ha especulado mucho sobre las reservas uraníferas españolas, y no es raro encontrar publicaciones, más o menos oficiales, de hace unos años en que se habla de cifras del orden de 100.000 Tm. U_3O_8 . La situación real es que las reservas explotables, evaluadas en 1975 y en 1981, son las que recoge el cuadro n.º 3, en toneladas de U_3O_8 .

En España, especialmente desde 1974, se está realizando un esfuerzo importante en la explotación e investigación del uranio, esfuerzo que se incrementa con la aprobación del Plan Energético Nacional 1978-87. La exploración del uranio se está llevando a cabo fundamentalmente en las zonas reservadas por el Estado con fondos del Presupuesto, en el marco del Plan Nacional de Exploración de Uranio, que hasta el 30 de junio de 1981 ejecutaba la Junta de Energía Nuclear y a partir de esa fecha lleva a cabo ENUSA. Las partidas presupuestarias previs-

**GRAFICO 3
DEMANDA MUNDIAL DE URANIO**



tas son del orden de 1.600 millones de pesetas anuales. Los resultados obtenidos hasta ahora confirman el interés potencial de las áreas seleccionadas, siendo sin embargo muy arriesgado hacer predicciones sobre sus posibilidades. En España prácticamente todas las técnicas de exploración e investigación, así como de evaluación de yacimientos, son bien conocidas, pudiendo considerarse autosuficiente en estas tecnologías.

La exploración de uranio en España no está cerrada a la iniciativa privada, nacional o extranjera, y con su participación se han realizado en el pasado y se están realizando en la actua-

lidad trabajos de exploración. En varias zonas de Galicia, incluidas en la reserva del Estado, está explorando un Consorcio formado por el Gobierno español (51 por 100), British Petroleum y CEPSA. La investigación está financiada en su totalidad por la participación privada, que recuperará eventualmente la inversión con cargo a la producción, en caso de un descubrimiento comercial.

La actividad de exploración de uranio no se reduce al territorio nacional. ENUSA participa en asociaciones de exploración en el exterior. En Colombia, ENUSA como operador, en asociación con el Gobierno colombiano, está explorando en las

zonas de la cordillera y de la selva con perspectivas prometedoras. En Canadá, ENUSA participa en un consorcio con sociedades canadienses, inglesas y suizas en Saskatchewan, Newfoundland y Quebec. Igualmente ENUSA participa, con Anglo American Co., en una asociación de exploración en el desierto del Karoo, donde se han detectado algunos yacimientos, sin interés comercial por el momento.

Para hacer un balance de la situación del abastecimiento, a continuación se analizan la demanda y oferta de concentrados.

En el gráfico 3 se da la previsión de la demanda. Para de-

terminar la demanda real de consumo se ha tomado en consideración un programa nuclear que parte de 2.050 MW de potencia instalada en 1981, y alcanza los 10.600 MW en 1987, y 12.600 MW en 1990. Claramente, se ve que la demanda real está muy por debajo de la demanda que generan los contratos de enriquecimiento firmados con anterioridad a 1976, en que las perspectivas de desarrollo de la energía nuclear en España eran muy superiores a las actuales, lo que origina un importante problema de acumulación de *stocks*.

Para hacer frente a esta demanda se cuenta con las producciones propias, la participación en yacimientos en el exterior y los contratos de suministros a largo plazo. Las previsiones de producción nacional están recogidas en el cuadro n.º 4.

A las producciones nacionales, que en todos los casos se obtendrán empleando tecnología española, habría que añadir,

como recursos propios, los correspondientes a la participación de ENUSA en Cominak, que explota una mina en la República del Níger, con una producción anual del orden de 2.600 toneladas de U_3O_8 , que le da derecho anualmente a retirar una producción de 350 Tm. de U_3O_8 .

No es posible en los momentos actuales prever nuevas producciones en el período, como consecuencia de las exploraciones en marcha, cuyos resultados, aunque prometedores en algunas zonas, son todavía aleatorios.

Para cubrir el resto de las necesidades hay que acudir al mercado internacional, y en este momento se cuenta con contratos a largo plazo, con compañías canadienses y sudafricanas, que garantizan adecuadamente los suministros necesarios. En 1985 la producción nacional cubre el 28 por 100 de las necesidades reales y en 1990 este porcentaje es del 49 por

100. Incluyendo los recursos procedentes de Cominak, los porcentajes en los mismos años son del 50 y 63 por 100 (gráfico 4).

En el gráfico 5 se presenta la situación de la demanda real acumulada y la oferta acumulada. Se observa claramente que la oferta supera ampliamente a la demanda, situación obligada como consecuencia de la demanda originada por los compromisos de enriquecimiento adquiridos.

Los *stocks* que se generan permiten cubrir el *stock* básico, previsto en el PEN, de 5.000 toneladas de uranio natural debidamente enriquecido, equivalente a unos dos años y medio de consumo del año 1986 y con un potencial de capacidad de producción de energía eléctrica equivalente a 50 m. de toneladas de fuel-oil.

En resumen, puede decirse que las necesidades están ampliamente cubiertas en los pró-

CUADRO N.º 4

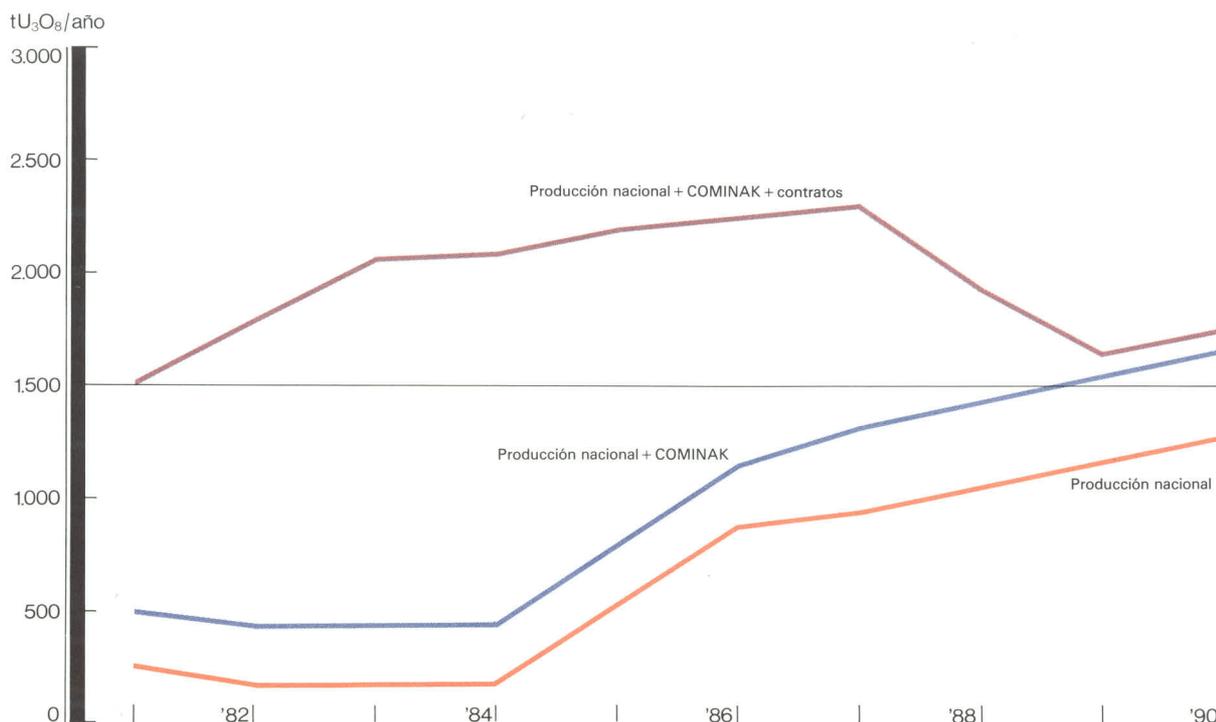
PREVISIONES DE PRODUCCION NACIONAL
(En Tm. U_3O_8)

| | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 | 1989 | 1990 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Planta de Saelices el Chico | 130 | 130 | 130 | 130 | 130 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Fábrica de Andújar (1) | 70 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Proyecto Quercus | — | — | — | — | 250 | 600 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| Proyectos en evaluación (Guadalupe, Don Benito) | — | — | — | — | — | — | 50 | 150 | 250 | 350 |
| Recuperación del uranio del ácido fosfórico (2) | — | — | — | — | 70 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 |
| TOTAL | 200 | 130 | 130 | 130 | 450 | 790 | 940 | 1.040 | 1.140 | 1.240 |

(1) La planta de Andújar de la JEN se cierra en 1982, después de veintitrés años de funcionamiento.

(2) En España se ha desarrollado una tecnología propia para la recuperación del uranio en el proceso de fabricación del ácido fosfórico, que ha sido probada con éxito a nivel de planta piloto. ENUSA y Fosfórico Español están acometiendo la planta industrial, que se espera entre en producción en 1985.

**GRAFICO 4
APROVISIONAMIENTO NACIONAL
DE URANIO**



ximos diez años, que la participación de la producción propia es importante, que los esfuerzos que se están realizando en exploración permitirán mantenerla en el tiempo y que las necesidades futuras pueden cubrirse adecuadamente prolongando los contratos actuales o acudiendo a contrataciones nuevas. Existe un problema coyuntural importante, que es la financiación de los *stocks* acumulados como consecuencia de la reducción y retrasos del programa nuclear español desde 1976 hasta la fecha.

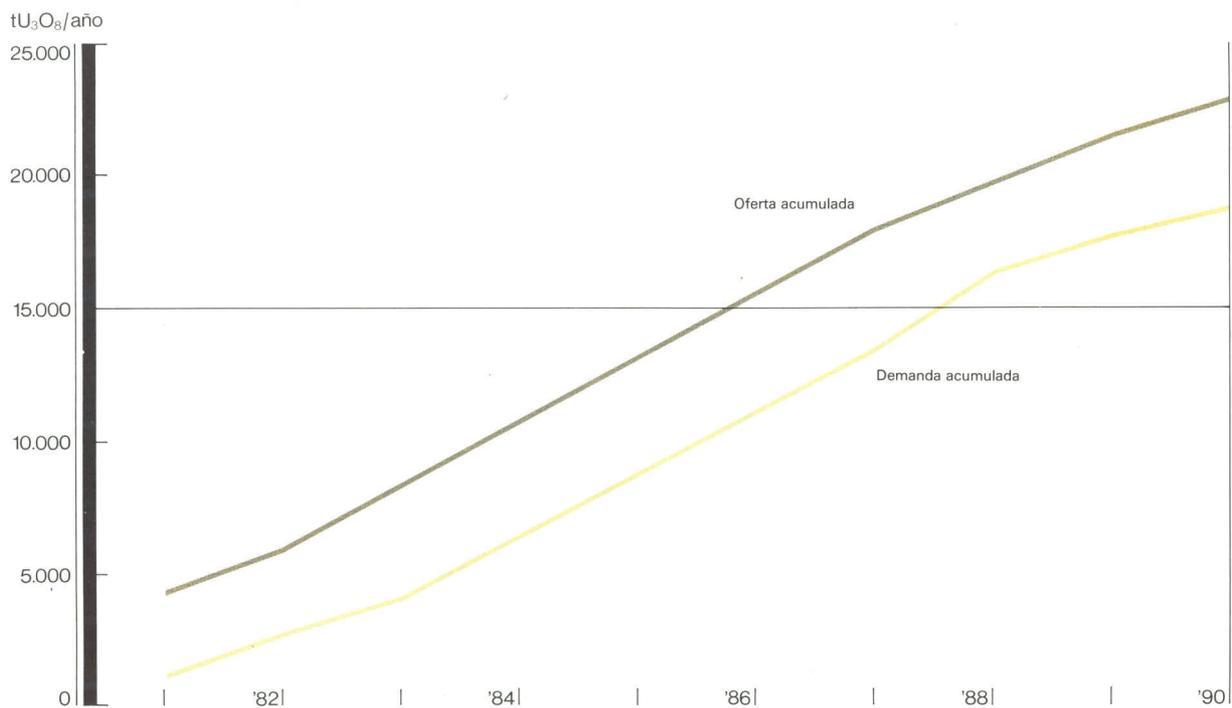
II. ENRIQUECIMIENTO DE URANIO

El uranio natural consta básicamente de dos isótopos, el U_{235} y el U_{238} , que se encuentran en una proporción del orden del 0,7 y el 99,3 por 100, respectivamente. El isótopo fisible y, por tanto, generador de energía de fisión es el U_{235} . El proceso de enriquecimiento del uranio, que exigen los reactores de agua ligera, consiste en elevar la proporción del isótopo U_{235} , a aproximadamente el 3 por 100. Se conocen varias técnicas para enriquecer el uranio, de las cuales la más difundida, y la que proporciona actualmente la casi totalidad de los servicios de en-

riquecimiento demandados, es la de difusión gaseosa. Comercialmente experimentada está, también, la centrifugación, a la que parece esperar un futuro prometedor y existen otros sistemas en fase de demostración, sistema de toberas en Sudáfrica, o en mayor o menor grado de experimentación, como el procedimiento químico desarrollado por Francia, la utilización de rayos laser, etc.

Hasta el año 1974 los servicios de enriquecimiento fueron un monopolio de los Estados Unidos, apareciendo por primera vez en esa fecha en el mercado la URSS, con una oferta limitada. En esa misma fecha se lanzó el proyecto Eurodif, una

**GRAFICO 5
COMPARACION OFERTA—DEMANDA
NACIONAL DE URANIO**



gran planta europea con participación de Francia, Italia, Bélgica y España, que arrancó en una primera fase en 1979 y que alcanza su plena capacidad de producción en el primer trimestre de 1982. Por las mismas fechas un consorcio formado por Inglaterra, Holanda y Alemania, URENCO, desarrolló en Europa el sistema de centrifugación, habiendo alcanzado actualmente una producción reducida en sus plantas de Almelo (Holanda) y Capenhurst (Inglaterra).

La situación actual del mercado de servicios de enriquecimiento, que se miden en UTS (Unidades de Trabajo de Separación), es claramente exceden-

taria y una buena parte de los suministros que se realizan responden a compromisos tomados hace tiempo que no corresponden a una demanda real.

Con los datos disponibles en abril de 1981, Eurodif ha realizado un estudio de la oferta y demanda mundial de servicios de enriquecimiento entre 1980 y 1990, con exclusión de los países comunistas. Sus resultados muestran claramente la situación (cuadro n.º 5).

Las cifras del cuadro n.º 5, que no tienen en cuenta varios proyectos en Estados Unidos, Japón y Europa, actualmente paralizados en espera de una mejor coyuntura del mercado,

revelan claramente que lo que amenazaba ser un importante cuello de botella para la expansión de la energía nuclear en 1973, ha dejado de ser un problema, de cara a la seguridad de los abastecimientos, para muchos años.

Las especiales características del mercado de servicios de enriquecimiento hace que la situación de sobreproducción y de acumulación de *stocks* no tenga ninguna incidencia sobre los precios. Los contratos americanos establecen que el precio será cada año el que fije el Departamento de Energía (DOE), con carácter general, tanto para las empresas americanas como

CUADRO N.º 5

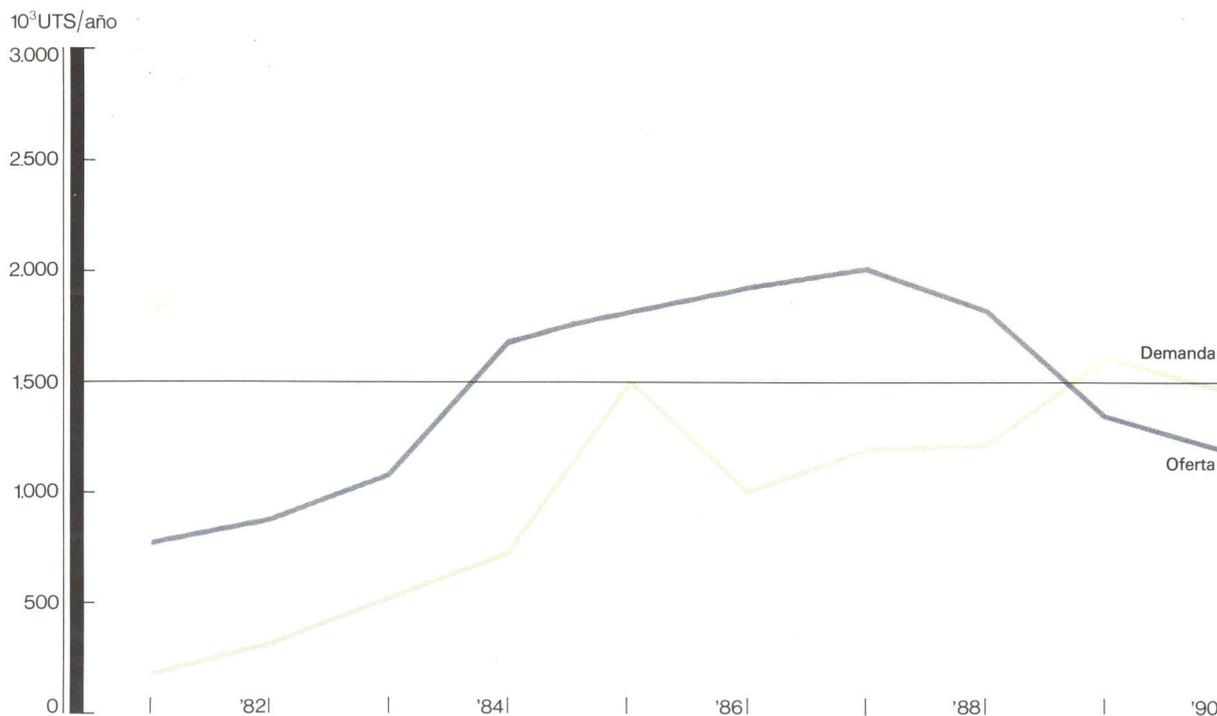
OFERTA Y DEMANDA MUNDIAL DE SERVICIOS DE ENRIQUECIMIENTO
(En millones de UTS)

| | 1980 | 1982 | 1984 | 1986 | 1988 | 1990 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Necesidades anuales | 16,3 | 22,7 | 28,2 | 30,5 | 34,3 | 37,7 |
| Cantidades contratadas | 22,4 | 30,1 | 34,5 | 35,2 | 29,3 | 26,1 |
| Excedentes acumulados (1) | 5,9 | 13,6 | 28,4 | 41,7 | 39,2 | 27,4 |
| Capacidad de producción | 35,5 | 39,5 | 42,4 | 42,9 | 43,3 | 43,1 |
| — USDOE | 25,0 | 25,0 | 27,3 | 27,3 | 27,3 | 27,3 |
| — Eurodif | 6,5 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 | 10,8 |
| — Urenco | 0,6 | 0,8 | 1,3 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| — URSS (2) | 3,1 | 2,5 | 2,0 | 1,9 | 2,2 | 2,0 |

(1) Se trata únicamente de los excedentes acumulados en manos de los consumidores. No tiene en cuenta los posibles excedentes de producción en manos de los productores, que no son significativos en Eurodif y Urenco, pero son importantes en el caso de Estados Unidos (32,6 millones de UTS en 1980).

(2) Se considera como capacidad de producción de la URSS las cantidades que tiene contratadas con el mundo occidental.

GRAFICO 6
OFERTA-DEMANDA NACIONALES DE SERVICIOS DE ENRIQUECIMIENTO



para las extranjeras. Los precios han venido subiendo alrededor de un 17 por 100 al año desde 1973. Los precios de los contratos soviéticos están en relación año a año con los precios americanos. Los precios de Eurodif son fijos, sometidos a una cláusula de escalación; estos precios han venido subiendo alrededor del 6 por 100 al año, desde que se puso en marcha la planta, y hoy son muy semejantes a los americanos. Fórmula análoga a la de Eurodif, sobre niveles más altos, se aplica en Urenco. Las cláusulas de salvaguardia que establecen los contratos, y la saturación de los consumidores, hace que hoy por hoy, no exista un mercado secundario significativo.

España tiene firmados contratos de suministro a largo plazo con los Estados Unidos y la Unión Soviética, y participa con el 11,11 por 100 en Eurodif, lo que le da derecho a una proporción similar de producción. La situación de oferta y demanda de servicios de enriquecimiento en España es la que muestra el gráfico 6.

En la oferta se han tomado en consideración todas las reducciones que han podido ser negociadas, y todas las flexibilidades a la baja que permiten los contratos de enriquecimiento. La demanda está basada en el mismo programa nuclear que en el caso de los concentrados de uranio, y en el régimen de colas y grados de enriquecimiento que se están aplicando realmente.

En este gráfico se observa claramente la acumulación de *stocks* que origina el retraso y la reducción del programa nuclear español. Estos *stocks* permiten enriquecer adecuadamente

el *stock* básico previsto en el PEN.

Parece claro que no se vislumbran problemas de abastecimiento ni a medio ni a largo plazo con suministros diversificados, presentándose en España, como en el resto del mundo, un grave problema de financiación de los *stocks* acumulados.

III. FABRICACION DE LOS ELEMENTOS COMBUSTIBLES

Los elementos combustibles para los reactores de agua ligera están formados por un conjunto de varillas de combustible, que se mantienen separadas entre sí por medio de rejillas y que, junto con los cabezales superior e inferior, forman una estructura metálica que permite su manejo y transporte, así como su correcta colocación en el núcleo del reactor. Dichas varillas de combustible son tubos de zircaloy (aleación de circonio) de unos 4 metros de longitud y unos 10 milímetros de diámetro, herméticamente cerrados, que contienen en su interior uranio enriquecido en forma de pastillas cerámicas de óxido de uranio (esquema 2).

La fabricación de elementos combustibles incluye, además de las actividades de fabricación propiamente dichas, que se realizan a partir de hexafluoruro de uranio enriquecido procedente de las plantas de enriquecimiento, las actividades de diseño de los elementos combustibles y los trabajos de ingeniería en relación con la utilización de los mismos en los reactores nucleares.

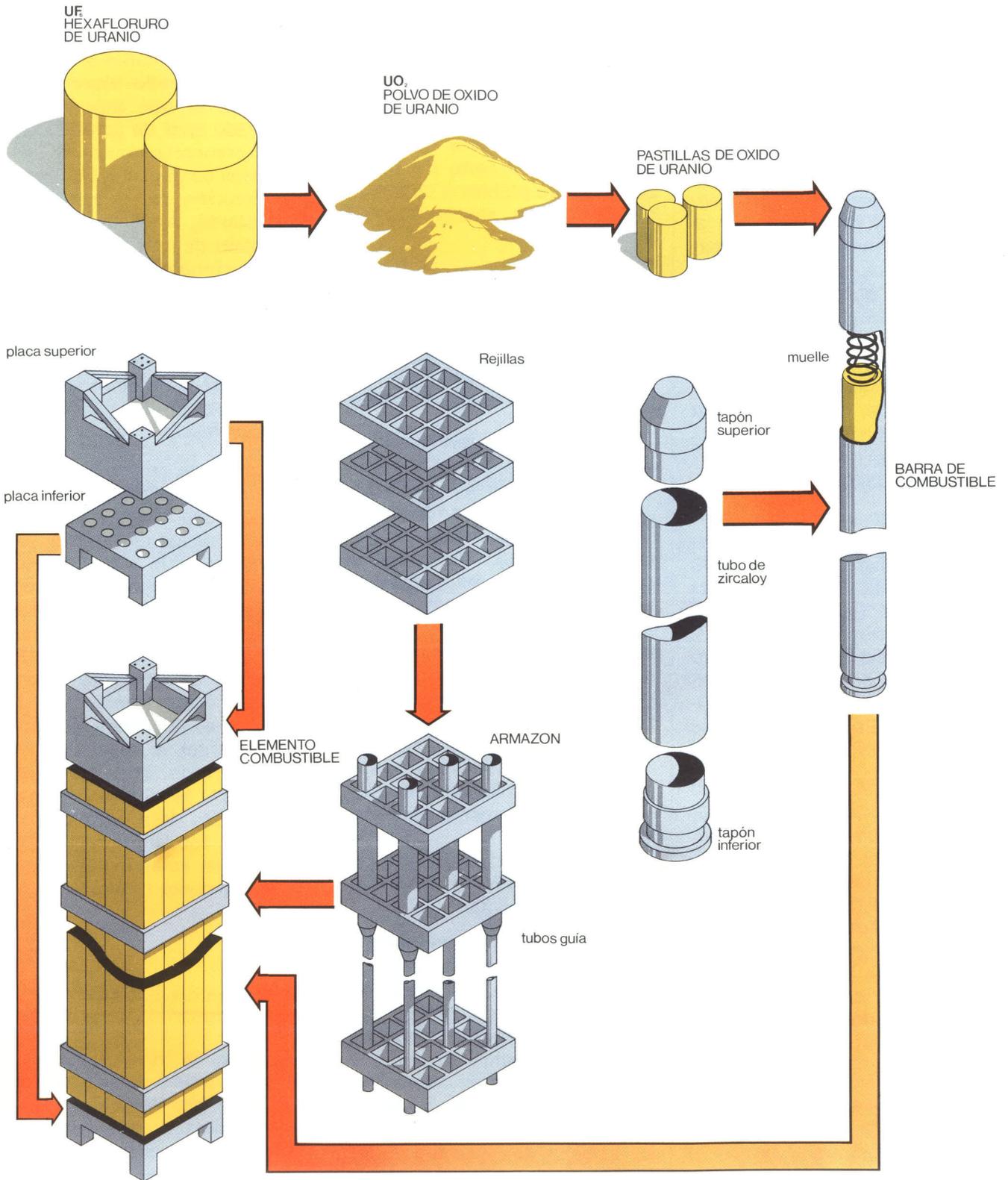
Las tecnologías de diseño y fabricación de los elementos combustibles están suficientemente experimentadas y han alcanzado un grado elevado de desarrollo, lo que proporciona un elevado nivel de garantía sobre el comportamiento de los elementos combustibles durante la explotación de las centrales. No obstante, estas tecnologías son objeto de una optimización y perfeccionamiento continuo como consecuencia de la competencia existente entre los distintos fabricantes y de la necesidad de reducir al mínimo las posibles deficiencias en el comportamiento de los elementos combustibles.

Actualmente existe en el mundo capacidad suficiente de fabricación para satisfacer las necesidades de los programas nucleares, pudiendo afirmarse que la mayor parte de los países con programas nucleares de cierta entidad tienen o están desarrollando su propia capacidad de fabricación de elementos combustibles. Debe además destacarse que es relativamente sencillo aumentar la capacidad de producción de estas plantas, dado que la fabricación se realiza en líneas de producción de capacidad moderada y que la inversión en estas instalaciones es relativamente reducida.

Situación en España

A finales de 1974 ENUSA suscribió contratos de licencia de tecnología con Westinghouse y General Electric para el diseño y fabricación de elementos combustibles para los reactores de agua ligera, a presión y en ebullición. En base a esta tecno-

ESQUEMA 2 PROCESO DE FABRICACION DEL ELEMENTO COMBUSTIBLE PARA REACTOR DE AGUA A PRESION



logía desarrolló el proyecto para la construcción de la Fábrica de Elementos Combustibles de Juzbado (Salamanca). Las obras correspondientes comenzaron en el año 1981, habiéndose desarrollado hasta ahora de acuerdo con el programa previsto, lo que permite prever que a principios de 1983 comience la producción.

La capacidad de producción inicial de la Fábrica será de 200 toneladas/año de uranio contenido, habiéndose concebido el proyecto de tal forma que la infraestructura de la Fábrica permitirá ampliaciones sucesivas, hasta alcanzar una capacidad máxima de 700 Tm/año, lo que permitirá una fácil adaptación a las necesidades crecientes del Programa Nuclear, que se estiman en unas 400 Tm. U/año en 1988 y en unas 500 Tm. U/año en 1994.

Por otra parte, ENUSA tiene, actualmente, plena capacidad para realizar el diseño de los elementos combustibles y los trabajos de ingeniería relativos a la utilización de los mismos en los reactores, lo cual viene realizando desde 1978.

En consecuencia, se prevé que a partir de 1983 ENUSA estará en condiciones de suministrar los elementos combustibles y la ingeniería asociada para los reactores de agua ligera del Programa Nuclear.

IV. TRATAMIENTO DEL COMBUSTIBLE IRRADIADO

El combustible irradiado descargado de los reactores nucleares, que se almacena temporal-

mente en las piscinas que a estos efectos existen en las propias centrales, contiene en el interior de las varillas de combustible uranio no consumido y plutonio generado durante la operación del reactor, además de los residuos radiactivos de alta actividad.

Dicho combustible irradiado puede ser reprocesado para recuperar el uranio y plutonio presentes, que constituyen valiosos recursos energéticos. A este respecto debe señalarse que el empleo del plutonio en los reactores rápidos reproductores, que se espera entren comercialmente en el mercado en la segunda mitad de los noventa, y que producen a su vez más plutonio del que consumen, permite multiplicar por 60 el valor energético de las reservas de uranio, con relación a la energía que se puede obtener utilizando el uranio exclusivamente en los actuales reactores comerciales de agua ligera. Por otra parte, el reprocesado permite aislar los residuos radiactivos de alta actividad, lo que facilita su tratamiento y almacenamiento definitivo.

Si el combustible irradiado no se reprocesara, el uranio residual, el plutonio y los residuos radiactivos quedarían confinados en los propios elementos combustibles. En este caso, los elementos combustibles irradiados deberían tratarse como un residuo radiactivo y, en su momento, después del acondicionamiento adecuado de los mismos, se podría proceder a su almacenamiento definitivo.

El reprocesamiento del combustible irradiado está técnicamente resuelto, habiéndose realizado a escala industrial en Estados Unidos, Francia, Inglate-

rra y, recientemente, Japón, y a nivel de planta piloto en otros países.

Razones políticas relacionadas con el tema de no proliferación de armas nucleares, llevaron a la Administración Carter a parar en USA las inversiones en proyectos de reactores rápidos y en plantas de reprocesado, y a tratar de imponer la misma política a los demás países, sin conseguirlo, pero provocando retrasos e incertidumbres.

Con el cambio de criterio de la Administración Reagan en USA, que se ha declarado firmemente partidaria del reprocesado y del desarrollo de los reactores rápidos, no hay ningún país que haya renunciado al reprocesamiento y que haya optado por el almacenamiento definitivo de los combustibles irradiados.

Es importante señalar que, al menos por el momento, no existen ventajas económicas que impulsen a utilizar el plutonio en los reactores de agua ligera, y la justificación económica del reprocesado está ligada a la utilización del plutonio como combustible de los reactores rápidos.

Dos estrategias básicas se están siguiendo en el mundo occidental en relación con esta fase del ciclo del combustible: la de Francia, que tiene en la Hague la única planta de reprocesamiento para combustible de los reactores de agua ligera en explotación a nivel comercial y que tiene previstas varias ampliaciones para hacer frente tanto a las necesidades del Programa Nuclear Francés como al cumplimiento de los contratos de reprocesados firmados con algunos países europeos y el

Japón; y otra, más generalizada, que contempla el reprocesado como algo lejano y arbitra los medios necesarios para un almacenamiento temporal pero prolongado (diez-veinte años) de los combustibles irradiados. Así, en Suecia está en construcción una planta de almacenamiento centralizado que cubre las necesidades del programa nuclear sueco.

En Estados Unidos se está tratando actualmente de impulsar la terminación y puesta en explotación por compañías privadas (eventualmente con participación extranjera) de la planta de Barnwell (Carolina del Sur), de una capacidad de 1.500 Tm. de U/año, y como solución transitoria se está tratando de incrementar y utilizar al máximo la capacidad de almacenamiento en las piscinas de los reactores y desarrollar instalaciones de almacenamiento en seco. En Inglaterra se intenta poner nuevamente en operación las instalaciones para tratar combustible de los reactores de agua ligera de la planta de Windscale y está en proyecto una nueva planta de reprocesamiento de este combustible con capacidad de 1.200 toneladas U/año. Proyectos más lejanos de plantas de reprocesamiento existen también en Alemania y Japón.

Situación en España

Como solución temporal que proporcione la flexibilidad adecuada para adoptar en su momento la solución permanente entre las alternativas del reprocesamiento o la del almacenamiento definitivo del combustible irradiado, en España se ha optado por incrementar la capa-

cidad de almacenamiento de las piscinas de las propias centrales, lo que permitirá almacenar combustible en ellas por un período de unos diez años; posteriormente, dicho combustible se almacenará en instalaciones independientes de dichas piscinas.

El almacenamiento independiente mencionado debería estar disponible hacia 1991. Actualmente, se están realizando los estudios necesarios para determinar el emplazamiento y se ha acometido conjuntamente por ENUSA, JEN y ENSA el desarrollo de un contenedor de transporte-almacenamiento en seco de combustible irradiado, solución que parece más flexible y económica para las necesidades españolas que las grandes piscinas de almacenamiento, y cuya tecnología, por otra parte, está suficientemente contrastada.

No obstante, dado que España es un país escaso en recursos energéticos, debe preverse el reprocesado de su combustible irradiado, con vistas a la recuperación del uranio y del plutonio para su utilización como combustible nuclear, por lo que se está impulsando la investigación para desarrollar la necesaria tecnología con vistas a un futuro reprocesamiento, bien en consorcio internacional o de modo independiente. A este respecto debe destacarse que la Junta de Energía Nuclear posee una importante experiencia en este campo, adquirida a través de su investigación propia, de su participación en el proyecto Eurochemic (Bélgica) y del diseño, construcción y operación, desde 1967 a 1971, de una planta piloto para el reprocesado de elementos combustibles de reactores de investigación, y que está prevista la continuación de

la investigación y el desarrollo tecnológico del reprocesado en una nueva planta piloto en el centro de la JEN en Soria.

V. COSTES DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE

Este trabajo quedaría incompleto si en él no se incluyera información sobre la influencia de cada una de las fases del ciclo del combustible nuclear en los costes anuales de operación de las centrales nucleares.

Para un reactor de agua ligera a presión de 1.000 MWe, operando durante 6.000 horas anuales, los elementos combustibles que constituyen la recarga anual media contienen, en total, 22 Tm. de uranio enriquecido al 3,15 por 100, para cuya obtención se requieren 152 Tm. de concentrados de uranio y 103.000 UTS. El coste total de los elementos combustibles que constituyen dicha recarga, en condiciones económicas de 1981, asciende a 3.500 millones de pesetas.

A estos costes deben añadirse los debidos al tratamiento del combustible irradiado con posterioridad a su descarga de los reactores. El coste de esta fase del ciclo, considerando que tras una primera etapa de almacenamiento del combustible en instalaciones independientes de los reactores se llevaría a cabo su reprocesado para recuperar el uranio y plutonio contenido en el mismo, se estima, en condiciones económicas de 1981, en unos 2.400 millones de pesetas, cifra en la que se incluye el coste debido al almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos y en cuyo cálculo se ha

tenido en cuenta el valor del uranio recuperado, pero no el valor del plutonio, de difícil valoración económica actual, y cuyo valor energético está fundamentalmente ligado al desarrollo de los reactores rápidos. El principal componente de dicha cifra son los costes del reprocesado que, en base a los precios que ofertan ingleses y franceses, se situaban en 1981 en torno a los 800 dólares por kilogramo de uranio, lo que supondría unos 1.700 millones de pesetas para el combustible descargado anualmente.

La contribución de cada una de las fases del ciclo a la cantidad total de 5.900 millones de pesetas es como sigue: concentrados de uranio, 20 por 100; conversión, 2 por 100; enriquecimiento, 27 por 100; fabricación, 10 por 100; tratamiento del combustible irradiado, 41 por 100.

La Empresa Nacional del Uranio

La Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), se constituyó en abril de 1972. Su capital social, de 8.000 millones de pesetas, pertenece al Instituto Nacional de Industria (60 por 100) y a la Junta de Energía Nuclear (40 por 100).

El Real Decreto 2.967/1979, de 7 de diciembre, sobre ordenación de actividades en el ciclo del combustible nuclear, establece como objetivo de ENUSA el desarrollo de las actividades industriales y comerciales del ciclo del combustible nuclear, con la finalidad de garantizar que sean atendidos en todo momento los aprovisiona-

mientos y servicios para el funcionamiento de todas las centrales nucleares españolas en explotación, construcción y futuras planeadas.

En cuanto a las actividades industriales, dicho Real Decreto encomienda a ENUSA:

- La ejecución del Plan Nacional de Exploración e Investigación de Uranio en territorio nacional; la explotación de los yacimientos de minerales radiactivos y la exploración y la participación en exploraciones de minerales radiactivos en el extranjero, con el objetivo prioritario de asegurar el abastecimiento nacional.

- La fabricación de elementos combustibles nucleares.

- El tratamiento de los combustibles nucleares irradiados que se descarguen de los reactores, dando prioridad a la construcción de instalaciones centralizadas de almacenamiento de dichos combustibles.

Por lo que respecta a los abastecimientos nacionales de uranio, servicios de conversión a hexafluoruro y de enriquecimiento isotópico del uranio, se encomienda a ENUSA:

- En la medida en que no estén cubiertas las necesidades del Programa Nuclear, la adquisición del uranio, de los servicios de conversión a hexafluoruro y de los servicios de enriquecimiento de uranio necesarios para mantener asegurado el abastecimiento nacional durante un período mínimo de diez años.

- La constitución y gestión de un «stock básico» de uranio, natural y enriquecido, en la cuantía y condiciones que determine el Ministerio de Industria y Energía, con el carác-

ter prioritario de garantía energética del país, previéndose que por el Estado se arbitrarán los medios financieros necesarios para la constitución y mantenimiento de este *stock*.

Asimismo, el citado Real Decreto encomienda a la Junta de Energía Nuclear, en el campo del ciclo del combustible, las actividades referentes al almacenamiento definitivo de residuos radiactivos y la realización, en coordinación con ENUSA, de las actividades de investigación y desarrollo de las distintas fases de dicho ciclo.

La plantilla de ENUSA a final de 1981 es de 733 empleados de los que 169 son técnicos titulados. Dicho personal se distribuye entre los centros de trabajo de Madrid, Aravaca, Ciudad Rodrigo (Salamanca), Don Benito (Badajoz) y Juzbado (Salamanca).