

# EL APROVISIONAMIENTO ESPAÑOL DE URANIO ENRIQUECIDO

Por FRANCISCO GOMEZ MARTINEZ

Dr. Ing. de Caminos, Canales y Puertos.

## Introducción.

La proporción de la demanda mundial de energía que será cubierta con energía eléctrica en los próximos veinticinco años puede preverse que se mantendrá o tenderá a aumentar, dado su coste estimado y su relativa seguridad de suministro, comparada con la de otras fuentes de energía.

Dentro de la producción de energía eléctrica, la de origen nuclear, por su coste competitivo, se espera que tenga un incremento muy rápido hasta final del siglo. La potencia nuclear mundial instalada en 1975 se elevará a unos 100 GWe y pasará a 558 GWe en 1985 y a 2.400 GWe en el año 2000.

En España, teniendo en cuenta los recursos energéticos disponibles, se prevé que esta tendencia será también muy acusada.

Según el Plan Eléctrico Nacional la potencia nuclear instalada aumentará desde los 1.120 MWe actuales a 7.720 MWe en 1979 y 23.820 MWe en 1985, previéndose para los años posteriores la entrada en servicio de unos 3.000 MWe anuales.

Con excepción del reactor de Vandellós, que utiliza uranio natural, todos los reactores en explotación, construcción y proyecto tendrán uranio enriquecido como combustible.

Como no se estima probable a medio plazo la instalación de centrales de agua pesada ni de gas a alta temperatura, ya que no parece puedan introducirse en el campo de la generación comercial de energía antes de 1985, ni los reactores reproductores rápidos parece que puedan tener un papel significativo hasta después de 1990, no se han tenido en cuenta en este trabajo.

## Ciclo del combustible nuclear.

El gran desarrollo de la producción eléctrica de origen nuclear, que pasará a ser una de las

principales fuentes de aprovisionamiento energético del país (cerca de un 45 por 100 de la potencia eléctrica instalada en 1985), supondrá necesidades crecientes de combustible nuclear.

Ese peso creciente en la producción nucleoelectrónica y los enormes esfuerzos inversores requeridos para la puesta en marcha de estas centrales nucleares, justifican la máxima prioridad en asegurar el suministro de las materias primas y servicios implicados en el ciclo del combustible, ciclo que comprende las siguientes etapas:

- Exploración y localización de yacimientos de uranio económicamente explotables y posterior explotación de los mismos.
- Producción del concentrado de uranio, compuesto en su mayor parte por óxido de triuranio ( $U_3O_8$ ).
- Conversión de este concentrado en hexafluoruro de uranio ( $UF_6$ ), paso necesario para realizar posteriormente el llamado enriquecimiento del uranio.
- Enriquecimiento del uranio. Es un proceso mediante el que se aumenta el contenido del isótopo  $U^{235}$  desde el 0,711 por 100, que es su contenido natural, hasta el 3 ó 4 por 100.
- Fabricación del elemento combustible, proceso mediante el que se obtienen las pastillas de dióxido de uranio ( $UO_2$ ) enriquecido, se envainan en tubos de circonio y se preparan estos tubos para su introducción en el reactor.
- Dentro del ciclo del combustible se engloba la operación llamada retratamiento o reprocesado del combustible ya irradiado, mediante la que se obtienen, entre otros productos, el uranio no quemado y el plutonio, que pueden ser nuevamente utilizados como combustible.

## Concentrados de uranio.

El concentrado de uranio es el primer compuesto de uranio, beneficiado a partir del mineral, en unas instalaciones químicas que suelen estar a bocamina del yacimiento uranífero.

El mineral se ataca con ácido sulfúrico, después de haber sido reducido al tamaño conveniente, según el método de extracción a emplear. En el de lixiviación estática el mineral se reduce a un tamaño de unos 50 mm y se coloca en grandes eras, donde se riega con



Foto 1.

Planta de Ciudad Rodrigo.  
Eras de lixiviación.

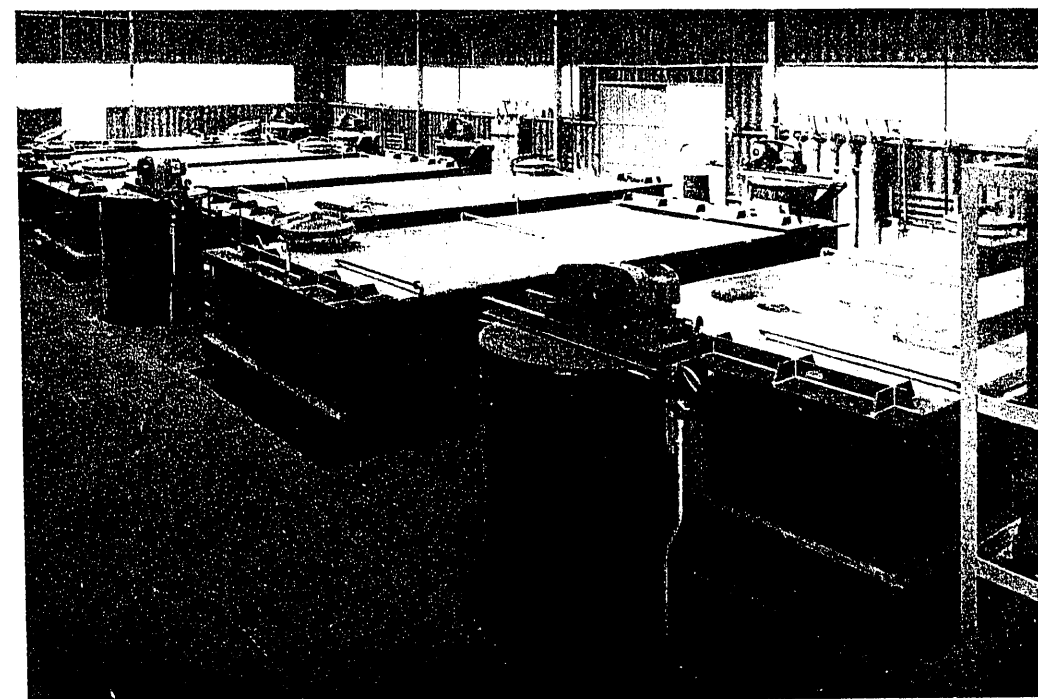


Foto 2.

Planta de Ciudad Rodrigo.  
Nave y baterías  
de extracción-reextracción.

cido sulfúrico. En el proceso de lixiviación dinámica el mineral se reduce a un tamaño de 100-200  $\mu$ , se concentra en unos espesadores y se ataca con ácido sulfúrico en unos recipientes (machucas), en los que se mantiene la temperatura entre 60 y 80° C, agitando el sólido mediante inyección de aire por la parte inferior.

De esta forma, el uranio contenido en el mineral se transforma en sulfato de uranilo, que abandona los recipientes de reacción en la fase líquida. La elevada acidez de ésta se rebaja hasta un pH = 2 mediante cal, y de este líquido se recupera el uranio, bien mediante cambio de ión o mediante extracción con disolventes (aminas).

Del eluido o del extracto se separa el uranio por precipitación de un uranato, generalmente el amónico. Este precipitado, de color amarillo, convenientemente lavado, extruido y seco, es el producto comercial, conocido vulgarmente como torta amarilla o *yellow-cake* y que se suele expresar por su contenido en  $U_3O_8$ .

#### Panorama mundial.

A la situación existente hasta mediados de 1973, de un exceso de oferta sobre la demanda de concentrados, que había traído consigo un descenso de los precios internacionales, con

el subsiguiente frenado en la investigación de nuevos yacimientos y en la producción, a lo largo de 1974 y 1975 se ha ido produciendo un endurecimiento del mercado, con disminución de la oferta y fuerte aumento de la demanda, provocando un rápido aumento de los precios.

La previsión de la demanda mundial de con-

TABLA I

*Demanda mundial de concentrados de uranio.*  
(Excepto países socialistas.) (Tm de  $U_3O_8$ .)

Año	U.S.A.	Resto mundo	TOTAL	
			Anual	Acumulado
1974	10.500	12.200	22.700	22.700
1930	34.400	32.700	67.100	295.100
1985	54.800	63.700	118.500	765.700
1990	93.100	99.900	190.000	1.573.100
1995	124.900	152.600	277.500	2.770.400
2000	142.300	182.700	325.000	4.342.700

Los cálculos se han realizado bajo las siguientes hipótesis:

1. Colas de 0,3 por 100.
2. Factor de carga: 75 por 100.
3. Reciclado de Pu: 50 por 100 en 1978.  
100 por 100 en 1980.

Fuente: Atomic Industrial Forum (1974).

TABLA II

*Reservas mundiales de uranio.*  
(Excepto países socialistas.) ( $10^3$  Tm de  $U_3O_8$ .)

PAIS	RESERVAS			
	Coste $\leq$ 15 \$/lb $U_3O_8$		15 \$/lb $U_3O_8 \leq$ Coste $\leq$ $\leq$ 30 \$/lb $U_3O_8$	
	Razonablemente aseguradas	Adicionales estimadas	Razonablemente aseguradas	Adicionales estimadas
U.S.A. ....	376	610	164	412
Canadá .....	169	380	26	111
Australia .....	270	43	35	34
Africa del Sur.	237	9	73	31
Francia, Gabón y Níger .....	114	56	35	53
España .....	12	10	110	115
Otros países ...	50	54	390	65
TOTAL .....	1.228	1.162	833	821

Fuente: ENUSA. abril 1975.

centrados (excluidos los países socialistas, cuyos datos se desconocen) se han resumido en la tabla I. En ella aparece una demanda acumulada, hasta 1990, de 1.573.000 Tm.

Las reservas mundiales razonablemente aseguradas, explotables a costos actuales inferiores a 15 dólares por libra, son de 1.228.000 toneladas, aproximadamente (tabla II).

Según estos datos, la demanda mundial de concentrados puede cubrirse razonablemente, con las reservas existentes a costes de 15 dólares por libra, casi hasta 1990. Posteriormente, la exploración intensiva a que sin duda dará lugar la rápida elevación de precios registrada, es de prever que conduzca al descubrimiento de nuevos yacimientos, ya que el uranio es un producto abundante en la naturaleza y bastante repartido geográficamente.

Esto no quiere decir que no puedan producirse desajustes temporales entre oferta y demanda, pues además del rápido encarecimiento a que antes hemos aludido existen otros factores que condicionan este mercado.

El más importante puede ser la insuficiente capacidad de producción de concentrados. La crisis por la que pasó la minería del uranio en los últimos años, además de paralizar prácticamente la exploración, hizo que no se pusieran en explotación, o lo hicieran a escala muy reducida, muchos de los nuevos yacimientos encontrados, algunos de verdadera importancia.

La capacidad mundial de producción actual y estimada para los próximos años se ha resumido en la tabla III, aunque deben hacerse bastantes reservas sobre estas cifras, porque muchas compañías mineras están estudiando actualmente sus planes futuros de expansión, que todavía no han hecho públicos. Podría haber, por tanto, cambios significativos en la capacidad de producción indicada en la tabla III, aunque no antes de 1980-1982, pues el plazo de puesta en explotación de un yacimiento no es inferior, en general, a cinco o seis años.

De la comparación entre demanda y capacidad de producción se deduce que actualmente ésta supera a aquélla, mientras que entre 1980 y 1985 la producción podría ser algo inferior a la demanda. Esta perspectiva refuerza la conveniencia de la formación de *stocks* en España en los años inmediatos, también justificada por motivos de seguridad frente a perturbaciones temporales de los suministros procedentes del exterior.

TABLA III

Capacidad de producción de concentrados de uranio.  
(Excepto países socialistas.) Tm de  $U_3O_8$ .

Países productores	AÑOS			
	1974	1975	1980	1985
U.S.A. ....	16.400	17.300	(30.000)	(60.000)
Australia .....	—	3.000	7.300	10.900
Canadá .....	5.400	7.300	13.200	14.500
Francia, Gabón y Níger .....	3.400	4.100	8.200	9.100
Africa del Sur.	3.600	4.500	8.600	11.800
Otros .....	300	1.400	1.800	3.600
<i>Total anual...</i>	29.100	37.600	69.100	109.900

( ) Cifras estimadas.

Fuente: Atomic Industrial Forum (1974).  
ENUSA (noviembre 1974).

Otro factor que puede agravar esos desajustes temporales son las restricciones oficiales en el mercado del uranio. Después de la llamada crisis del petróleo, en septiembre de 1973, varios de los principales países exportadores de uranio adoptaron políticas restrictivas, inspiradas básicamente por el deseo de asegurarse unas reservas propias que cubran sus necesidades hasta un futuro muy lejano y de incorporar al producto exportado el mayor valor añadido posible. Los dos ejemplos más representativos de estas tendencias son Australia, que ha prohibido la exportación desde hace dos años, y Canadá, que sólo la permite en la forma de hexafluoruro de uranio, una vez garantizado el aprovisionamiento a muy largo plazo de sus propias centrales nucleares, existentes y previstas.

#### Situación nacional.

Los yacimientos de uranio que se han estudiado hasta ahora en España se encuentran dispersos por casi todo el territorio nacional. Pertenecen a varios tipos, entre los que cabe destacar los siguientes:

Yacimientos en pizarras (masas). Se encuentran en la provincia de Salamanca en pizarras cambrianas. Consisten en un *stock-work* en fracturas múltiples, en las que se ha depositado el uranio cuando las pizarras estaban recubiertas de sedimentos terciarios. La erosión cuaternaria ha desmantelado posteriormente es-

los sedimentos, dejando a la vista los yacimientos. Como consecuencia de la alteración meteorica, se ha producido una lixiviación superficial y se ha redistribuido el mineral (minerales secundarios).

Yacimientos en granitos (filonianos). Se encuentran en distintos lugares, siendo los más significativos Villar de Peralonso, Valdemascaño y Ciudad Rodrigo, en la provincia de Salamanca; Albalá (Cáceres) y Andújar (Jaén).

Son yacimientos epitermales mezclados con otros minerales. En Valdemascaño la mezcla es con galena, blenda, pirita y calcopirita. En Villar de Peralonso con fluorita (antozonita) pirita y pechblenda. En Albalá (Los Ratones), pechblenda y pirita. En Andújar, calcopirita y pirita, habiéndose explotado en este mismo lugar una mina de cobre en tiempos romanos.

Yacimientos estratiformes. De este tipo es el yacimiento de El Lobo (Badajoz) en pizarras cambro-ordovícicas.

Tipo tabular. Existe un posible yacimiento en Molina (Guadalajara), de uraninita en conglomerados triásicos de *bund-sandteint*.

Tipo pirometasomático en La Cabra (Badajoz), de davirita en el contacto de una aplita, que atraviesa pizarras cambrianas.

Tipo paleocauce entre el pontiense y el sarmatiense (mioceno superior) con materia orgánica. El yacimiento se encuentra en Córcoles,

San José, y el mineral es una mezcla de vanadatos de uranio (carnotita y tiuyamunita).

En la tabla IV figuran las necesidades españolas de concentrados de uranio estimadas hasta 1985, así como la situación actual del aprovisionamiento, para el que se dispone de tres fuentes de suministro: la producción nacional, las compras en el extranjero y la participación en empresas mineras en el exterior. La producción nacional está constituida por las producciones de:

- La planta de Andújar, de la Junta de Energía Nuclear (JEN), con una capacidad de 60 Tm/año.
- La planta de Ciudad Rodrigo, de la Empresa Nacional del Uranio, S. A. (ENUSA), puesta en marcha recientemente, con una capacidad de producción inicial de 112 Tm anuales, que se prevé ampliar inmediatamente a 200 Tm/año, para alcanzar las 400 Tm/año en 1979.
- La planta de El Lobo (Cáceres), que se proyecta para alcanzar una producción de 100 Tm/año a partir de 1979.
- La futura producción de Fosfórico Español, S. A., en Huelva, obtenida como subproducto de la fabricación del ácido fosfórico y que se prevé alcance 100 toneladas por año a partir de 1978, me-

TABLA IV

Situación nacional del aprovisionamiento de concentrados.  $X_w = 0,20$

Años	Necesidades (Tm $U_3O_8$ )		Aprovisionamiento (Tm $U_3O_8$ )					Cobertura de necesidades %
			Producción nacional	Participación en el extranjero	Contratado	TOTAL		
	Anuales	Acumuladas				Anual	Acumulado	
1974	247	247	70	—	929	999	999	—
1975	1.053	1.300	172	—	1.792	1.964	2.963	100
1976	1.053	2.353	202	—	2.454	2.656	5.619	100
1977	1.350	3.703	290	—	2.136	2.426	8.045	100
1978	2.398	6.101	400	350	1.816	2.566	10.611	100
1979	2.736	8.837	700	350	1.589	2.639	13.250	100
1980	3.494	12.331	800	350	908	2.058	15.308	100
1981	3.808	16.139	800	350	908	2.058	17.366	100
1982	4.114	20.253	800	350	227	1.377	18.743	63
1983	4.629	24.882	800	350	227	1.377	20.120	30
1984	5.289	30.171	800	350	227	1.377	21.497	26
1985	5.900	36.071	800	350	227	1.377	22.874	23

dian te la utilización del proceso que está poniendo a punto la JEN.

La conveniencia de incrementar al máximo la producción nacional, como fuente más segura de aprovisionamiento, ha llevado a una intensificación de los esfuerzos en este sentido, centrados especialmente en la exploración.

Las reservas españolas explotables económicamente, perfectamente conocidas hasta la fecha, ascienden a unas 14.000 Tm de  $U_3O_8$ , pero hay todavía algo más de 100.000 Km<sup>2</sup> sin explorar, en terrenos con posibilidades uraníferas. Para activar su exploración, el Consejo de Ministros aprobó en agosto pasado el Plan de Exploración de Uranio.

El Plan, puesto en marcha este año, durará diez años, y en él se prevé una inversión de 12.420 millones de pesetas, entre aportaciones públicas y privadas. La JEN, con más de veinticinco años de experiencia en este campo, es el organismo encargado de la realización del Plan, contando con la colaboración del Instituto Geológico y Minero, la Empresa Nacional Adaro y la participación que pueda surgir de empresas privadas, para las que los altos precios actuales y previsibles a medio plazo deben ser un aliciente.

Otra posibilidad interesante de incrementar la producción nacional de uranio se basa en la recuperación del existente en los lignitos de los yacimientos de Mequinenza, Fraga, Calaf, Santa Coloma, etc., sobre los que la JEN continúa sus estudios para la puesta a punto de métodos de separación que sean económicamente aceptables. El volumen de reservas evaluado por la JEN en estos lignitos es superior a 100.000 Tm, pero no deben infravalorarse las dificultades de su explotación.

De la situación descrita se deduce que, a menos de encontrarse yacimientos muy importantes en nuestro país, como consecuencia de las intensivas campañas de prospección planeadas, debe preverse que una proporción más o menos importante de nuestro aprovisionamiento deberá siempre ser importada.

Pero en la situación de endurecimiento e incertidumbre del mercado mundial, previsible durante bastantes años, no existe la seguridad de poder adquirir los concentrados de uranio necesarios cuando se desee, por lo que, al igual que sucede con otras materias primas, parece prudente buscar una mayor seguridad

de ese aprovisionamiento procedente del exterior, mediante participaciones en exploración y explotación de yacimientos en el extranjero, en proyectos multinacionales, que garanticen en lo posible las importaciones necesarias, y ser copropietarios de la producción obtenida. La inestable situación mundial aconseja, para diversificar los riesgos, que estas participaciones sean repartidas en zonas geográficamente muy diferentes y de cuantía, en general, minoritaria.

El Gobierno ha encargado esta actividad a ENUSA, empresa que ha iniciado ya diversas acciones en este sentido, siendo el primer resultado tangible su participación del 10 por 100 en la Compagnie Minière d'Akouta, para iniciar la explotación de un yacimiento en el Níger, de cuya producción le corresponderán unas 350 Tm anuales.

Con todo, dado el carácter de largo plazo que tienen tanto el Plan Nacional de Exploración de Uranio como las participaciones en exploración y explotación de yacimientos en el extranjero, a corto plazo el aprovisionamiento de concentrados requería una contratación en el exterior, por lo que se han firmado contratos por las empresas eléctricas (hasta 1977 inclusive), y posteriormente por ENUSA, con diversos productores de concentrados, especialmente canadienses, que cubren las necesidades españolas de uranio hasta 1981 en su totalidad y en proporción decreciente hasta 1985, como se indica en la tabla IV.

Para aumentar la seguridad del aprovisionamiento y mantenerlo, en lo posible, fuera de perturbaciones pasajeras, dada la viabilidad técnica y económica del almacenamiento de los concentrados de uranio, se considera razonable la constitución de *stocks*, cuyo volumen está en estudio actualmente, pero que como mínimo parece debiera ser equivalente a las necesidades de los reactores españoles durante seis meses.

## Conversión.

### *Panorama mundial.*

La conversión de los concentrados de uranio en hexafluoruro ( $UF_6$ ) es un paso imprescindible para obtener el uranio enriquecido, pues el enriquecimiento, como luego veremos, se realiza en dicha forma gaseosa.

La capacidad actual mundial de conversión en hexafluoruro es de unas 36.000 Tm de uranio contenido al año, con perspectivas de ampliación en unas 10.000 Tm anuales más. Esta capacidad se concentra en su mayor parte en los Estados Unidos (50 por 100), Gran Bretaña (12 por 100), Francia (10 por 100) y Canadá (6 por 100), correspondiendo el resto a Japón y países socialistas.

La demanda mundial de servicios de conversión es, en la actualidad, bastante inferior a la capacidad de oferta, registrándose una relativa estabilidad de los precios, que es de prever se mantenga durante los próximos años.

Además, hay que contar con la intención de los distintos exportadores de concentrados, de efectuar sus exportaciones en forma de hexafluoruro, con lo que la oferta aumentará todavía más en el futuro.

#### *Situación Nacional.*

La demanda española de servicios de conversión en 1975 será de 787 Tm de uranio contenido, para 1980 se estima en 2.800 Tm, y para 1985, alcanzará las 5.000 Tm. Como la dimensión económica mínima de una planta de conversión puede cifrarse en unas 5.000 toneladas anuales, no parece oportuno, por ahora, la instalación en España de una planta de este tipo, teniendo en cuenta el exceso de capacidad mundial y los precios poco remuneradores del mercado. Aunque puede pensarse en su instalación a partir de 1985. La tendencia de los países productores a vender ya los concentrados en forma de hexafluoruro, no permitirá, quizá, tomar una decisión en este sentido hasta no disponer de fuentes de aprovisionamiento de concentrados nacionales, en proporciones significativas.

En la actualidad, están cubiertas las necesidades nacionales hasta 1980 en su totalidad y porcentajes variables en años posteriores, mediante contratos suscritos por las Empresas Eléctricas y ENUSA con firmas inglesas y canadienses, con el objeto de aprovechar la actual conjuntura favorable para el suministro de este tipo de servicios, en el que no se prevé ninguna dificultad para el futuro.

#### **Enriquecimiento de uranio.**

Como ya se ha indicado, el enriquecimiento

del uranio natural consiste en aumentar de cuatro a cinco veces su contenido en el isótopo 235, que es el fisible.

Las técnicas actualmente conocidas para el enriquecimiento del uranio son:

- Difusión gaseosa, en la que el hexafluoruro, al atravesar una serie de barreras porosas, va aumentando su contenido en el isótopo ligero  $U^{235}$ . Es realmente el único método desarrollado a escala industrial con fines militares y utilizado desde hace muchos años. Sus características son un alto consumo específico de energía eléctrica (2.500 kWh/UTS) y un gran tamaño económico mínimo de la instalación. Así, la capacidad mínima de una planta se cifra en 9 millones de UTS por año (\*), y para alimentarla de energía eléctrica hacen falta unos 3.000 megawatios de potencia. Los únicos países que poseen esta tecnología son: Estados Unidos, Inglaterra, Rusia, Francia y, probablemente, China.
- Centrifugación gaseosa, mediante la que se hace girar el hexafluoruro en unas centrifugadoras a un elevado número de revoluciones, lo que produce un aumento de la proporción de isótopo ligero 235 en el hexafluoruro de la zona del eje de la centrifugadora. Este método está todavía a escala de plantas piloto, y sus principales características son un bajo consumo específico de electricidad (250 kilovatios-hora/UTS) y un pequeño tamaño para la instalación mínima económica, que parece ser del orden de 2 millones de UTS/año. Esta tecnología, que, repetimos, está aún en desarrollo y con variantes importantes de un país a otro, la poseen Estados Unidos, Alemania, Holanda e Inglaterra.
- Toberas. La Unión Sudafricana ha anunciado recientemente la puesta en marcha de una instalación piloto de enriquecimiento de uranio, que presenta algunas ventajas frente a la difusión gaseosa. Aunque el tipo de proceso no ha sido revelado por Sudáfrica, se cree que está

(1) De una forma aproximada, puede decirse que 1 UTS es equivalente a la energía necesaria para obtener un kilogramo de uranio enriquecido al 1,4 por 100 con colas de 0,2 por 100, a partir de uranio natural ( $x_r = 0,711$  por 100).

basado en el procedimiento de tobera, puesto a punto por el alemán E. W. Becker en 1967-70.

Según los expertos sudafricanos, los costes de capital son inferiores a los de la difusión gaseosa, si bien el consumo de energía es algo más elevado.

El proceso de tobera utiliza el gradiente de presión provocado en un chorro de hexafluoruro de uranio gaseoso al ser lanzado sobre una superficie con un radio de curvatura adecuado. Las moléculas de  $U^{238}$  van por la periferia del chorro, y las de  $U^{235}$ , por la parte interior.

- Rayo láser. Un láser produce un intenso rayo de luz, que puede ser concentrado en un círculo de pequeño diámetro, debido a su carácter monocromático y coherente. La densidad de energía en el foco es muy grande y sirve para quemar, vaporizar o descomponer una amplia gama de materiales.

La separación de isótopos mediante láser se basa en el hecho de que una fuente luminosa de banda estrecha excita los distintos isótopos de un elemento a niveles energéticos diferentes. Si en ese momento se irradian ambos isótopos, excitados con una luz ultravioleta, solamente el  $U^{235}$  es capaz de ionizarse, y puede ser separado mediante un campo electro magnético adecuado.

Dado el elevado factor de separación del método, se puede llegar a un nivel de enriquecimiento del 5 por 100 en  $U^{235}$  en una sola etapa, frente a las 10 etapas necesarias en centrifugación y a las 1.200 precisas en difusión. Esto hace pensar que la energía necesaria estará por debajo de los 100 kWh/UTS.

Este método no ha pasado de la etapa de laboratorio, y en la actualidad están desarrollando trabajos de investigación en este campo los Estados Unidos, Rusia, Israel, Francia, Gran Bretaña y la República Federal Alemana.

La difusión es el único método utilizado hasta ahora industrialmente, y lo será durante ocho o diez años, con el inconveniente de exigir grandes inversiones, un amplio mercado para su producción y enormes cantidades de energía eléctrica.

La centrifugación parece prometedora a largo plazo, cuando supere sus dificultades técnicas, por su pequeño consumo de energía y adaptarse mejor por su tamaño a una escala nacional, aunque esta ventaja sea un tanto insustancial si se piensa que cada instalación mínima está formada por varias decenas de millares de centrifugadoras y que la producción en serie de este número de máquinas requeriría una fábrica de grandes dimensiones.

En uno y otro caso, dado el secreto de la tecnología y la magnitud de las inversiones en juego, se impone la cooperación internacional en la construcción de plantas de separación isotópicas para aquellos países que no son superpotencias, y este es el camino hasta ahora seguido en Europa.

#### *Panorama mundial.*

Dos son los factores que caracterizan en el momento actual la situación mundial del mercado de los servicios de enriquecimiento:

- Un considerable aumento de la demanda futura.
- Una oferta casi única, representada por la Energy Research and Development Administration (ERDA), de los Estados Unidos, y en bastante menor escala por la U.R.S.S.

La demanda mundial de servicios de enriquecimiento (excluidos los países socialistas) se ha resumido en la tabla V.

Se observa que, según las estimaciones actuales, la demanda se duplicará cada cinco años, y que la demanda en Estados Unidos es de esperar represente la mitad de la mundial.

La capacidad actual de las plantas de la ERDA norteamericana es de 17 millones de UTS anuales, y están ya previstas ampliaciones sucesivas hasta alcanzar 27,7 millones de UTS/año hacia 1983.

En mayo de 1973 la ERDA estableció unos contratos-tipo muy rígidos, con una duración mínima de entregas correspondientes a diez años, unos pagos anticipados y a suscribir al menos ocho años antes de la primera entrega de uranio enriquecido. Este nuevo sistema de contratación y la previsión de un gran aumento futuro de la demanda mundial llevó a Europa a la activación de dos proyectos multinacionales: EURODIF y URENCO.



TABLA V

*Demanda mundial de servicios de enriquecimiento.*  
(Excluidos países socialistas.)  
(10<sup>6</sup> UTS.)

Años	EE.UU.	Resto del mundo	Total
1975	6,8	6,2	13,0
1976	8,1	6,7	14,8
1977	9,6	8,8	18,4
1978	10,7	11,1	21,8
1979	14,2	13,9	28,1
1980	15,3	15,2	30,5
1981	18,1	19,0	37,1
1982	20,6	22,5	43,1
1983	23,3	25,4	48,7
1984	26,4	30,0	56,4
1985	30,0	34,3	64,3
1986	34,0	38,5	72,5
1987	38,0	43,0	81,0
1988	42,5	46,5	89,0
1989	48,0	52,0	100,0
1990	53,0	56,0	109,0

Fuente: USAEC. Wash 1139 (74).  
AIF. Uranium Enrichment. Nov. 1973.  
COPENUR. Bruselas, 1974.  
USAEC. J. Connor, 1974.

EURODIF, constituida por empresas de Francia (52,8 por 100), Italia (25 por 100), Bélgica (11,1 por 100) y España (11,1 por 100), ha iniciado la construcción en Francia de una planta de difusión con capacidad para 10,8 millones de UTS por año, cuya puesta en marcha está prevista para 1978. Con excepción de un millón de UTS anuales vendidas los primeros años al Japón, la totalidad de la producción ha sido adquirida por sus propios accionistas, por lo que toda su capacidad está comprometida para muchos años, y ya se está considerando la conveniencia y la fecha de abordar la construcción de otra planta similar, con una participación internacional parecida a la primera. La participación española en EURODIF supone un diversificación del origen de los aprovisionamientos muy aconsejable.

URENCO está formada por empresas pertenecientes a Alemania, Holanda e Inglaterra, con el objeto de construir instalaciones de enriquecimiento en los países asociados por el método de centrifugación. Actualmente ha iniciado la construcción de dos plantas piloto

de 200.000 UTS/año cada una, teniendo planeado ampliarlas y construir otras nuevas, hasta alcanzar una capacidad total de 2 millones de UTS/año en 1980 y de 10 a 15 millones de UTS/año en 1985.

A este panorama de la oferta mundial hay que añadir, desde hace un par de años, a la U.R.S.S., con la que han contratado algunos países de la Europa Occidental, entre ellos España, servicios de enriquecimiento, a suministrar principalmente durante el período 1980-90. La capacidad de la U.R.S.S., aunque desconocida, no parece que esté aún saturada.

La variación de precios registrada en los servicios de enriquecimiento durante los últimos dos años ha sido moderada, con relación a los restantes componentes energéticos, pues se puede cifrar en un aumento del 30 por 100, aproximadamente. La causa es que los precios son prácticamente los fijados por la ERDA norteamericana (42,10 dólares/UTS, actualmente), cuyas instalaciones están en gran parte amortizadas y que además debe seguir normas oficiales que limitan sus posibilidades de aumento. No obstante, por diversas razones que sería largo exponer aquí, existe la impresión de que estos precios van a subir rápidamente en un futuro próximo (\*). Debe indicarse también, como característica del mercado mundial de servicios de enriquecimiento, la exigencia de contratos de larga duración y a suscribir con mucha anticipación, tendencia surgida como consecuencia del ya citado sistema de contratación adoptado por la ERDA en mayo de 1973.

#### *Situación nacional.*

Las necesidades españolas de servicios de enriquecimiento se encuentran cubiertas en su totalidad hasta 1985, gracias a una intensa actividad de contratación llevada a cabo desde finales de 1973, como se indica en la tabla VI.

En esta cobertura participa la ERDA norteamericana casi en exclusiva hasta 1980, por ser hasta hace poco, como se ha dicho, la única fuente de aprovisionamiento existente.

A partir de esa fecha y hasta 1985, nuestros aprovisionamientos se reparten proporcionalmente entre la ERDA (60 por 100), EURODIF (25 por 100) y los suministros de la U.R.S.S. (15 por 100).

El aprovisionamiento de los reactores exis-

(\*) La ERDA acaba de anunciar una subida a 53,35 \$/UTS para el 20 de agosto de 1975.

TABLA VI

Situación nacional del aprovisionamiento de servicios de enriquecimiento.  $X_w = 0,20$

Años	Necesidades (10 <sup>3</sup> UTS)		Aprovisionamiento (10 <sup>3</sup> UTS)					Cobertura de necesidad (%)
			ERDA (1)	EURODIF	U.R.S.S.	TOTAL		
	Anuales	Acumuladas				Anual	Acumulado	
1974	81	81	81	—	—	81	81	100
1975	498	579	493	—	—	498	579	100
1976	541	1.120	541	—	—	541	1.120	100
1977	730	1.850	730	—	—	730	1.850	100
1978	1.017	2.867	1.018	—	100	1.118	2.968	100
1979	1.472	4.339	1.473	—	100	1.573	4.541	100
1980	1.682	6.021	1.417	250	200	1.867	6.408	100
1981	2.057	8.078	1.362	500	200	2.062	8.470	100
1982	2.347	10.425	1.713	620	200	2.533	11.003	100
1983	2.621	13.046	1.333	640	400	2.373	13.376	100
1984	3.094	16.140	1.484	800	500	2.784	16.160	100
1985	3.303	19.443	1.441	1.067	500	3.008	19.168	91

(1) Incluidos seis contratos condicionados a la aprobación genérica del reciclado del plutonio en Estados Unidos.

tentes, en construcción y los proyectados que empiecen a necesitar uranio enriquecido no más tarde de 1985, está asegurado contractualmente hasta años muy posteriores a éste.

Para asegurar los suministros de los nuevos reactores, que empiecen a necesitar uranio enriquecido con posterioridad a 1985, será necesario contratar en el momento oportuno dichos servicios, para cuyo suministro es de esperar

intervengan ya industrialmente los actuales métodos de laboratorio.

\* \* \*

Aunque, como se ha indicado, la fabricación de los elementos combustibles y su retratamiento o reprocesado son parte muy importante del llamado ciclo del combustible nuclear, en este artículo nos hemos limitado, para no hacerlo excesivamente extenso, a las fases de aprovisionamiento del uranio enriquecido.