

Situación mundial del desarrollo de los reactores rápidos

por Vladimir Efimenko, Francis A. O'Hara y Hans-Juergen Laue

El desarrollo de los reactores reproductores rápidos se centra en estos momentos en los reactores reproductores rápidos refrigerados por metal líquido (LMFBR). Casi una docena de países tiene programas importantes de desarrollo e industrialización con vistas a la comercialización de estos reactores y aproximadamente otra decena está enfrascada en el desarrollo de componentes para los LMFBR o realiza actividades de investigación y desarrollo relacionadas con los reactores rápidos.

Hace más de 35 años que se viene trabajando en los LMFBR. Durante este período se han construido y puesto en funcionamiento 19 LMFBR, además de muchos reactores rápidos de potencia nula. En el cuadro que figura al final de este artículo se describen algunas de estas centrales.

En estos momentos hay diez LMFBR en explotación, cinco en construcción y cinco en una etapa avanzada de planificación. En total, se han acumulado más de 170 años-reactor de experiencia de explotación.*

En todo el mundo se han realizado grandes inversiones y empleado cuantiosos recursos humanos para el desarrollo de los reproductores rápidos con el fin de garantizar la transición necesaria de los actuales reactores térmicos que tienen un ciclo de combustible de una sola etapa.

La actual tecnología nucleoelectrica sólo puede considerarse como una fuente de energía de plazo relativamente corto porque los recursos de uranio conocidos hasta hoy quedarán agotados en un período de unos 50 años. Sin embargo, con los reproductores, la fisión nuclear ofrece una fuente casi inagotable de energía, ya que éstos pueden utilizar de 60 a 70 veces más la energía contenida en una unidad de masa de uranio. Por otra parte, los reproductores aumentarán el volumen de los recursos de uranio disponibles debido a su capacidad para explotar económicamente minerales de concentración más baja.

Tendencias divergentes

El concepto general de reproducción de combustible se probó por vez primera en LMFBR experimentales en los Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Soviética. Se construyeron LMFBR más avanzados para ensayar combustibles, materiales estructurales y componentes

de reactores. A principios del decenio de 1970, se inició la explotación de tres reactores prototipos en Francia, el Reino Unido y la Unión Soviética. En conjunto, éstos han acumulado unos 30 años-reactor de experiencia de explotación.

Reactores reproductores rápidos en explotación, en construcción o planificados

País	Nombre de unidad	Potencia (MW(t)/MW(e))	Fecha de arranque
<i>En explotación</i>			
EE.UU.	EBR-II	62,5/20,0	1963
URSS	BOR-60	60/12	1969
URSS	BN-350	1000/150*	1972
Francia	Phénix	605/270**	1973
URSS	BR-10***	10/0	1973
R.U.	PFR	670/250	1974
RFA	KNK-II	58/21	1977
Japón	Joyo	100/-	1977
URSS	BN-600	1470/600	1980
EE.UU.	FFTF	400/-	1980
<i>En construcción</i>			
Francia	Superphénix I	3000/1242	1985
RFA	SNR-300	762/327	1986
India	FBTR	42/15	1985
Italia	PEC	118/-	1989
Japón	MONJU	714/280	1991
<i>Planificados</i>			
Francia	Superphénix II	3600/1500	
RFA	SNR-2	3420/1300	
India	PFBR	1250/500	
Japón	DFBR	2550/1000	
URSS	BN-800	2100/800	
URSS	BN-1600	4200/1600	
R.U.	CDFR	3300/1250	

* 150 MW(e) + 120 000 m³/d de agua desalinizada.

** El nivel de potencia tipo era de 568/250. El buen funcionamiento y una gestión precisa del combustible permitió incrementar la potencia generada sin modificar la instalación.

*** Originalmente fue el BR-5 (5 MW(t)) que entró en explotación en 1958.

El Sr. Laue es Director de la División de Energía Nucleoelectrica del Organismo. Los Sres. Efimenko y O'Hara son funcionarios de dicha División.

* "The Status of the Liquid Metal Cooled Fast Breeder Reactors", Colección de Informes Técnicos, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (en proceso para 1985).

El reactor soviético BN 600 de tamaño casi comercial se viene explotando satisfactoriamente desde hace casi cinco años. En 1983, el factor de carga de reactor fue del 72 por ciento con un factor de disponibilidad de un 77 por ciento. Se espera que próximamente comience la construcción del reactor soviético BN-800 y se prevé que su explotación se inicie después de 1990.

El Superphénix I francés, de tamaño comercial, está casi terminado y el inicio de su explotación está programado para 1985. Se están construyendo otros dos reactores prototipos: el SNR-300 en la República Federal de Alemania y el Monju en el Japón.

Estas perspectivas optimistas, sin embargo, representan sólo una cara de la moneda. Ya no se prevé que la instalación comercial de los LMFBR prosiga con tanta rapidez en los decenios de 1980 y 1990 como se creía hace 10 ó 15 años. En algunos países, incluso la construcción de reactores rápidos prototipos de tamaño más pequeño afronta dificultades por problemas políticos, financieros, de concesión de licencia y otros.

El año pasado se canceló en los Estados Unidos el reactor reproductor de 380 MW(e) de Clinch River. Esta decisión se adoptó después de haberse iniciado la preparación del lugar de emplazamiento, de haberse completado más del 95 por ciento del diseño, de haberse adelantado los trabajos de investigación y desarrollo hasta más del 98 por ciento, y de haberse alcanzado un notable avance en la fabricación y comprobación de componentes. Sólo los componentes (listos o solicitados) representan cerca de las dos terceras partes de los costos totales de adquisición de la central. Las decisiones que se han tomado en los últimos tiempos indican que las futuras centrales tendrán que construirse como empresas totalmente privadas sin participación estatal alguna.

En la República Federal de Alemania las encuestas políticas realizadas y los cambios en los criterios particularmente estrictos en materia de seguridad con relación al SNR-300 han contribuido a dilatar considerablemente su construcción. Aunque se espera que la central entre en servicio en 1986, estas dilaciones han provocado un notable aumento de los costos desde que en 1973 se inició la construcción de la central.

En el Japón, la construcción de reactores rápidos comerciales se ha detenido hasta por lo menos el año 2010, con lo que se anulan los planes iniciales del Japón de instalar una serie de diez centrales comerciales, a razón de una por año, entre 1995 y 2005.

¿Qué factores han dado lugar a esta divergencia en tendencias y logros? A fin de entender mejor la situación que se presenta, es necesario tomar en cuenta las características técnicas de los LMFBR, su nivel actual y las tendencias probables de su desarrollo.

Estado tecnológico actual

Mucho se ha avanzado en los últimos cuarenta años en el campo de la física, la ingeniería, los combustibles y los materiales, así como en la solución de problemas de seguridad y del ciclo de combustible de los LMFBR. Atendiendo a la experiencia de explotación que se ha alcanzado, se puede afirmar que la tecnología de los LMFBR ha quedado claramente probada.

Se han elaborado métodos de cálculo y se han obtenido conjuntos de datos nucleares para diseños de núcleo. En muchos países se ha adquirido una gran cantidad de información experimental y teórica sobre cortes transmutacionales neutrónicos, necesaria para los cálculos físicos de los LMFBR, y esta información se ha intercambiado a través de organizaciones internacionales como el OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. La precisión de cálculo que se puede obtener en la física de reactores grandes y en los parámetros del núcleo se aproxima a la exactitud que se requiere para hacer pronósticos adecuados.

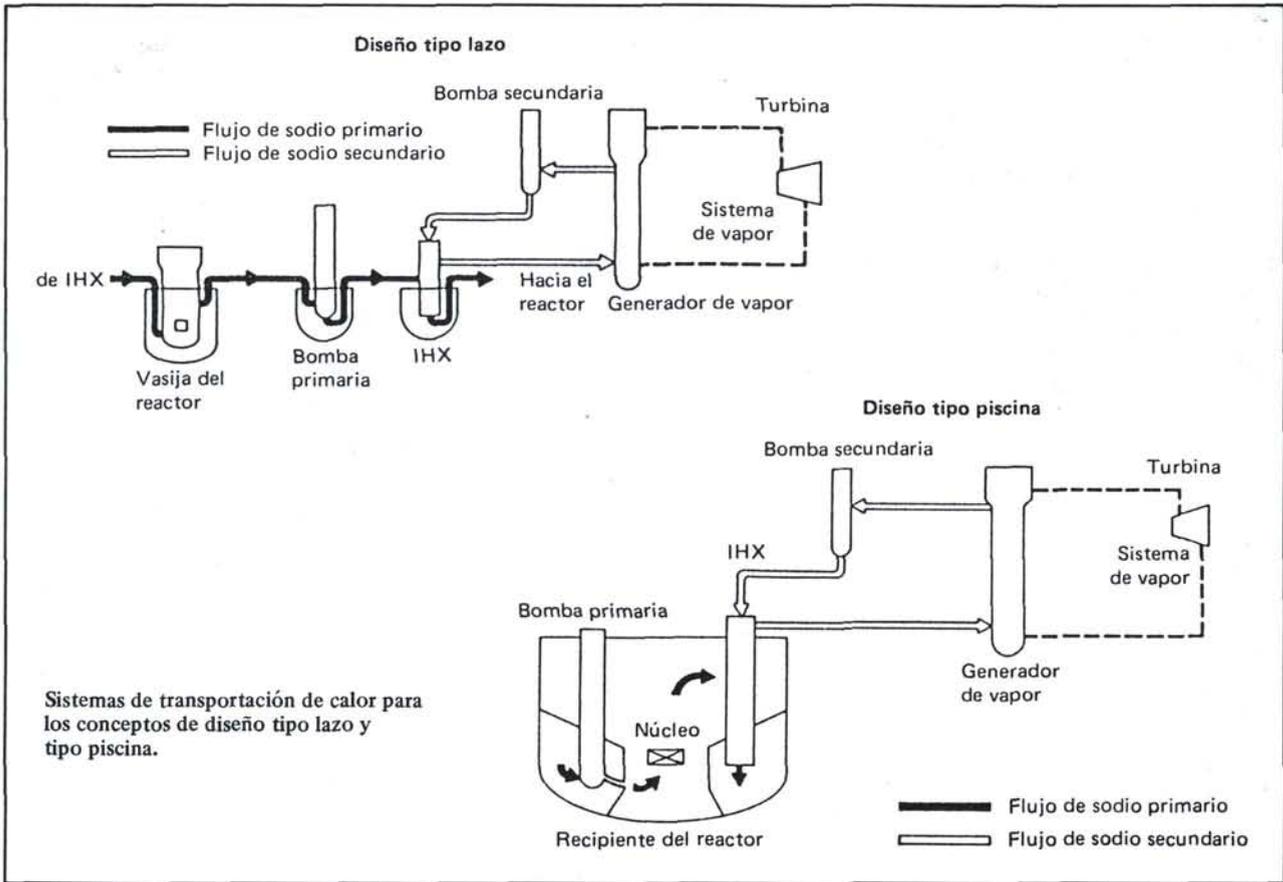
Se ensayaron varios métodos distintos para los LMFBR como resultado de las actividades de desarrollo. El combustible de óxidos mixtos y el refrigerante de sodio se consideran ahora una opción preferente en los diseños actuales. Generalmente se han aceptado dos conceptos fundamentales para los LMFBR: los diseños de tipo piscina y los de tipo de lazo (véase la Figura). Se ha acumulado gran experiencia para ambos tipos. Una descripción pormenorizada sobre las ventajas de cada uno de estos diseños trasciende el alcance de este artículo. No obstante, la bibliografía ofrece numerosos argumentos a favor de uno u otro.*

Con la optimización de los parámetros de diseño del núcleo y de la central que tome en cuenta las condiciones de límite y las propiedades del sodio como refrigerante, se logran las características fundamentales que son típicas de las centrales con LMFBR prototipo o de tamaño comercial. En el sistema de transporte térmico del reactor de tipo lazo y del de tipo piscina se utilizan tres circuitos: un circuito refrigerante primario, que contiene sodio radiactivo, calentado en el núcleo; un circuito secundario (o intermedio) de sodio no radiactivo y un circuito terciario de agua que produce vapor para la generación de electricidad mediante el sistema generador de turbinas.

Los núcleos suelen tener una altura de cerca de un metro y diámetros de hasta tres o cuatro metros. Una capa de uranio fértil los rodea. La temperatura del refrigerante a la entrada del núcleo oscila entre 300° y 400°C y es de 500° a 550°C a la salida. Ello da lugar a una mayor eficiencia térmica (del 40 por ciento aproximadamente) que en los reactores de agua a presión. El núcleo usualmente tiene dos zonas de enriquecimiento de combustible y contiene de 100 a 400 conjuntos de combustibles hexagonales. Hay varios centenares de agujas combustibles en cada subconjunto de combustible, con diámetros exteriores de cinco a nueve milímetros.

Se ha acumulado una vasta experiencia sobre el funcionamiento de los componentes, incluidos las vasijas del reactor, las tuberías, las bombas de sodio, los intercambiadores intermedios de calor, los generadores de vapor, los equipos de recarga y los sistemas auxiliares. Un problema técnico que se presentaba en la etapa inicial de desarrollo de los LMFBR y que afectaba a las tres centrales prototipo eran las fugas de agua hacia el sodio en los generadores de vapor.

* Véase Rinevsky, A.A., "Comparison of Technical and Economical Characteristics of NPP with Present Thermal and Fast Reactors", *Atomnaya Energiya*, 53 (diciembre de 1982) págs. 360 a 367.



Sistemas de transportación de calor para los conceptos de diseño tipo lazo y tipo piscina.

Sin embargo, el perfeccionamiento del diseño de los generadores de vapor, la utilización de dispositivos de protección, una mejor comprensión de los fenómenos de fuga y los grandes avances logrados en el desarrollo de los procedimientos de reparación garantizan ahora no sólo una menor cantidad de fugas en los generadores de vapor, sino también un arranque más rápido de la central tras haberse producido un incidente de fuga. De aquí que en la actualidad los resultados alcanzados en el desarrollo de generadores de vapor LMFBR permitan pensar que la interacción sodio-agua en las centrales futuras será mínima.

El combustible de óxidos mixtos se tiene ahora como una solución de referencia para los diseños de casi todos los reactores experimentales y para todos los reactores prototipo y de demostración. Se utiliza generalmente en forma de pastillas cilíndricas hermetizadas en una vaina de acero inoxidable en atmósfera de helio. Con esta configuración y el uso de acero inoxidable austenítico como material de la vaina y de la envoltura de tuberías, se han logrado niveles elevados de quemado de combustible en programas amplios de irradiación.

En el reactor prototipo Phénix, por ejemplo, se alcanzaron niveles máximos de quemado de cerca de un 12 por ciento (más de 100 000 MW días por toneladas) en un subconjunto (no experimental) y se alcanzó un nivel de quemado de 80 000 MW días por toneladas en casi 4000 agujas.* Se han logrado valores del quemado en exceso de un 20 por ciento en reactores

de ensayo sin que se produjeran fallas en muchas agujas experimentales. Aún siguen desarrollándose otros combustibles (metal, carburo) y materiales estructurales.

En la historia del desarrollo de los LMFBR ha surgido una serie de preocupaciones respecto de la seguridad de estos reactores, que incluyen la ebullición rápida de refrigerantes (u otros casos de pérdida de refrigerante) y la compactación del núcleo. Sin embargo, las excelentes propiedades refrigerantes del sodio garantizan una buena eliminación del calor de desintegración, incluso en condiciones de accidente, por lo que los accidentes de fusión son en extremo improbables.

Por consiguiente, los análisis sobre accidentes se centran históricamente en accidentes más bien improbables, llamados hipotéticos. Un método reciente (1982-1983) se basa en el requisito de que un LMFBR debe estar diseñado con el mismo nivel de seguridad (medido en riesgos debidos a accidentes) que un reactor de agua a presión de potencia y fecha de construcción idénticas.

Como resultado de las intensas actividades emprendidas en el análisis de riesgos del SNR-300 alemán, se llegó a la conclusión de que la frecuencia de los accidentes graves y sus consecuencias no son peores en este reactor

* Véase Benoist, E., Champeix, L., "Le développement des réacteurs à neutrons rapides en France de février 1983 à février 1984", *Status of National Programmes on Fast Breeder Reactors*, TWGFR-52, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (1984) págs. 108 a 123.

que en los de agua a presión.* Ello demuestra que para los LMFBR ya se han alcanzado niveles de seguridad comparables a los de los reactores de agua a presión.

La introducción comercial del sistema de LMFBR en el mercado de la energía depende primordialmente de sus perspectivas económicas, no obstante haberse demostrado su viabilidad tecnológica. Los elevados costos de capital contribuyen significativamente al costo de la electricidad producida por un LMFBR. Una comparación entre los costos de capital de un BN-600 soviético (del tipo LMFBR) y un WWER-1000 (reactor de agua a presión) arroja que, en igualdad de condiciones, el costo de capital específico es del 30 al 50 por ciento mayor para un LMFBR actual que para un reactor de agua a presión.**

Esta diferencia tiene entre sus causas fundamentales la utilización de una cantidad mayor de aceros de calidad superior en la isla del reactor (vasija del reactor, núcleo, bombas primarias, intercambiadores de calor, y otros) en los LMFBR diseñados en los años sesenta y principios del setenta. Se considera que existen ahora grandes posibilidades de disminuir la cantidad, y a veces la calidad, de los metales que se necesitan en los LMFBR y, por ende, de reducir el costo de capital.

Sin embargo, existe aún una diferencia significativa que debe compensarse mediante un menor costo del ciclo de combustible en los LMFBR. El costo del uranio natural apenas influye sobre el costo de la energía producida por los LMFBR, pero éste depende del costo de reprocesamiento y refabricación del combustible. El reprocesamiento de combustible de los LMFBR se ha realizado a escalas piloto y semindustrial, aunque está por demostrarse a escala comercial, con rendimientos anuales de por lo menos 250 toneladas de metal pesado al año (lo que corresponde a 10 GW(e), o a siete u ocho centrales Superphénix).

La comercialización de los LMFBR depende en gran medida de sus posibilidades económicas comparadas con las de los reactores de agua a presión. La instalación generalizada de LMFBR se ha propuesto varios decenios respecto de los pronósticos formulados hace 20 años, debido a la baja experimentada en los precios del uranio en los últimos años y a la disminución de las tasas de ampliación de la energía nuclear.

Tendencias del desarrollo

Los primeros prototipos de LMFBR y de centrales de demostración se diseñaron o entraron en explotación cuando comenzaron a aumentar los precios del uranio o cuando éstos habían alcanzado un nivel elevado. Por aquella época se esperaba que los precios del uranio continuaran ascendiendo y que los LMFBR, aun con sus altos costos de capital, pudieran llegar a competir con los reactores de agua ligera.

* Véase "Risiko-orientierte Analyse zum SNR-300", Gesellschaft für Reaktorsicherheit, GRS-51 (1982). Véase también Bayer, A., Koeberlein, K., "Risk-oriented Analysis on the German Prototype Fast Breeder Reactor SNR 300", *Nuclear Safety* 25, 1 (1984) págs. 19 a 32.

** Véase Rinevsky, A.A., "Comparison of Technical and Economical Characteristics of NPP with Present Thermal and Fast Reactors", *Atomnaya Energiya*, 53 (diciembre de 1982), págs. 360 a 367.

Ahora se comprende que no basta confiar en la subida de los precios del uranio para compensar los mayores costos de capital de los LMFBR. Se están realizando notables esfuerzos a fin de reducir los costos de capital y todo parece indicar que existen grandes probabilidades de lograrlo.

Los primeros pasos en este sentido se han dado con el BN-800 soviético y con el Superphénix II francés. Cada uno de ellos se considera el primero de una serie y se espera que la construcción de ambos comience en el futuro inmediato. La potencia de salida de ambos diseños de reactor se ha incrementado sin aumentar el tamaño ni el costo de capital de las centrales, comparados con los de sus precursores, el BN-600 y el Superphénix I.

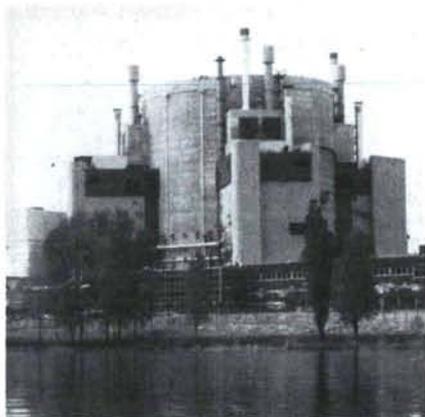
En el BN-800 se hicieron modificaciones fundamentales en el núcleo del reactor y en el circuito de vapor de agua sin cambiar otras partes de la central. Al aumentar el volumen del núcleo, disminuir la cantidad de módulos del generador de vapor y reducir el número de turboalternadores de tres a uno, se logró aumentar la energía eléctrica de 600 MW(e) a 800 MW(e) con el mismo costo de capital.

En el Superphénix II se aumentó la energía eléctrica de 1200 MW(e) a 1500 MW(e) y se prevé que el costo total de capital de la central sea aún menor. Esto se logró fundamentalmente disminuyendo el diámetro de la vasija principal del reactor, reduciendo la extensión de la tubería del circuito secundario e introduciendo otras modificaciones.

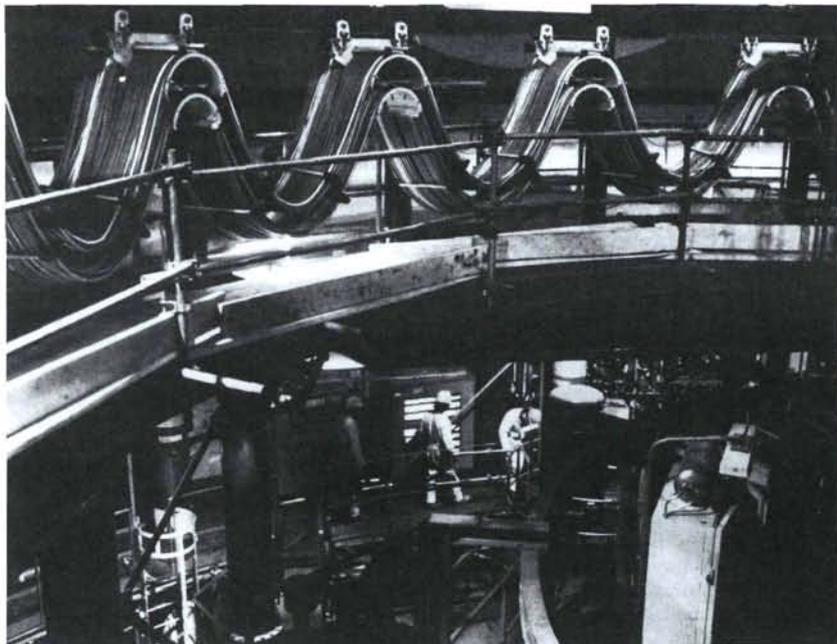
En el Japón también se investiga cómo reducir los costos de capital de los LMFBR para el reactor DFBR-1000; lo mismo se hace para el CDFR en el Reino Unido y los Estados Unidos. El objetivo es mejorar la economía del LMFBR sin afectar sus factores de seguridad y fiabilidad. Los esfuerzos fundamentales para lograr este perfeccionamiento están dirigidos a la optimización del diseño del núcleo para reducir el tamaño de la vasija del reactor, la optimización del sistema principal de transportación de calor y de la disposición general de la estación a fin de disminuir las dimensiones de los edificios del reactor y las instalaciones auxiliares, así como la utilización de técnicas constructivas avanzadas.

En todos los países enfrascados en el desarrollo de LMFBR se espera lograr nuevas reducciones en los costos de capital. A ello contribuirían la estandarización de las centrales, la eliminación de los requisitos excesivos y la aplicación de una tecnología innovadora y cambios conceptuales, todo lo cual permitiría abrigar esperanzas realistas sobre la introducción a principios del siglo entrante de modificaciones en el diseño, la construcción y la explotación de sistemas de reproducción capaces de reducir los costos a un rango del 10 al 15 por ciento por encima de los costos de generación de los reactores de agua a presión.

También resultan estimulantes las actuales tendencias de los programas de irradiación de combustibles de los LMFBR. En centrales prototipo (Phénix, PFR) y en reactores experimentales (FFTF) se ha logrado el objetivo de un nivel de quemado de un 10 por ciento de los átomos pesados (aproximadamente 100 000 MW día por tonelada). Se contemplan niveles de quemado



La construcción del reactor reproductor rápido Superphénix en Creys-Malville, Francia, está a punto de concluir. Su entrada en explotación deberá producirse en 1985. (Fotos, cortesía de EDF).



del 15 al 20 por ciento en los reactores futuros (por ejemplo, en el CDFR y el Superphénix II).^{*} Con estos elevados valores del quemado en los LMFBR se lograrán notables ahorros por la reducción del costo del ciclo de combustible.

Gracias a la experiencia acumulada en actividades del ciclo de combustible, se dispone de información suficiente para realizar estimaciones realistas sobre los costos de capital de las centrales reprocesadoras. Según cálculos realizados en el Reino Unido en 1983, una central reprocesadora con capacidad para 50 toneladas de metal pesado por año, lo suficiente para reprocesar combustible de tres reactores rápidos, costaría menos del 5 por ciento de la inversión total necesaria para los reactores y el ciclo de combustible completo correspondiente.^{**}

A pesar de los cambios ocurridos en el calendario de instalación de los LMFBR en el transcurso de los últimos 15 años, la necesidad de su aplicación a largo plazo sigue siendo indisputable. La situación de los aspectos técnicos y de seguridad es favorable. Se ha avanzado notablemente en estas esferas técnicas, pero el aspecto económico continúa siendo un importante obstáculo. Los acuerdos de cooperación internacional pudieran contribuir a la solución de este problema de la misma manera que han ayudado a resolver algunos de los inconvenientes técnicos.

El largo y costoso desarrollo del reactor reproductor rápido, la necesidad de un ciclo de combustible cerrado

^{*} Véanse Anderson, R.G., UK Overview Paper, "IWGFR Meeting on Predictions and Experience of Core Distortion Behaviour", del 1° al 4 de octubre de 1984, Manchester, R.U. (en proceso de edición); y Bernard, A., Van Dorselaere, J.P., "General Presentation of the Core Mechanical Behaviour Approach in France", IWGFR Meeting on Predictions and Experience of Core Distortion Behaviour, del 1° al 4 de octubre de 1984, Manchester, R.U. (en proceso de edición).

^{**} Smith, R.D., "A Review of the UK Fast Reactor Programme", marzo de 1984, en *Status of National Programmes on Fast Breeder Reactors*, TWGFR-52, Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena (1984) págs. 77 a 107.

y el criterio de que con las recientes bajas ocurridas en la demanda de energía en el mundo industrializado quizás no se le necesite durante otros 20 a 50 años, según del país del que se trate, complican aún más su introducción en el mercado.

Esto explica parcialmente la tricotomía de actitudes prevalecientes en los países que se encuentran enfrascados en el desarrollo de reactores de reproducción rápidos, las cuales oscilan entre el entusiasmo desbordante, la indiferencia e incluso casi el rechazo.

Las dilaciones que se han producido en la instalación comercial de los LMFBR han provocado un creciente interés en el desarrollo de diseños de centrales más económicas. Ahora se dispone de más tiempo. Esto significa que las centrales de LMFBR comerciales que entren en servicio después del año 2000 serán más avanzadas, menos costosas y podrán competir con reactores de agua ligera a precios de uranio mucho más bajos que si hubieran sido instalados comercialmente a finales del decenio de 1980 o principios del de 1990.

Un reproductor sin reprocesamiento no es un reproductor, por lo que el cierre del ciclo de combustible constituye un requisito indispensable para la utilización final de los reactores reproductores. Sin embargo, aún no se ha ensayado a escala comercial el ciclo cerrado de combustible en los LMFBR, sobre todo el reprocesamiento de combustible. La construcción de una central reprocesadora de tamaño comercial sólo se justificaría si hubiera en explotación unos 10 GW(e) (o siete u ocho centrales del tamaño de la Superphénix).

Sin embargo, y en contraste con la situación técnica existente, la disponibilidad de financiamiento para la demostración comercial de los LMFBR no es satisfactoria. Se prevén problemas concretos en las inversiones a largo plazo, sobre todo porque el mercado de capital de inversión parece orientado hacia los reembolsos a corto plazo. Esto significa que sólo habrá capital disponible si algunas de las mayores organizaciones —en Europa por ejemplo, la EDF de Francia, la CEBG del Reino Unido y varias empresas alemanas dedicadas a los

Cooperación mundial en materia de reactores rápidos: actividades para su consolidación

Los programas de desarrollo de reactores reproductores rápidos se han caracterizado por la cooperación internacional. Tal vez en ninguna otra actividad de investigación y desarrollo haya sido tan fructífera la cooperación internacional en una escala amplia como en el caso de los LMFBR.

Ya por el decenio de 1960 había un estimable intercambio internacional de información y colaboración. A fin de fomentar el intercambio internacional de cooperación e información técnica en esta esfera, el OIEA creó, en 1967, el Grupo Internacional de Trabajo sobre Reactores

Rápidos (GITRR) con miras a coordinar las actividades del OIEA. Desde entonces, el propio OIEA ha patrocinado más de 80 conferencias, simposios, comisiones técnicas y reuniones de especialistas en la esfera de los reactores rápidos.

La cooperación abarca desde intercambios abiertos en numerosas reuniones internacionales hasta proyectos mixtos como el de SEFOR; los programas mixtos con Bélgica, Holanda y la República Federal de Alemania; el consorcio ideado para el Superphénix, que recientemente ha pasado a ser el Grupo ARGO; y las disposiciones del Consejo de Asistencia Económica Mutua (CAEM).

Europa occidental

En 1977, Francia firmó importantes acuerdos con la República Federal de Alemania, asociada con Bélgica y los Países Bajos (DeBeNe), con el fin de reunir conocimientos sobre sistemas nucleares de suministro de vapor con LMFBR, sobre el desarrollo de elementos combustibles, y sobre diseño. La organización central que rige esta actividad y en el futuro se encargará de la distribución comercial de los reproductores se conoce como SERENA. Fue creada en 1978 y es la única compañía de Europa occidental que expide licencias para futuras centrales reproductoras en Francia, la República Federal de Alemania y otros países. Todo parece indicar que ahora existe la posibilidad de mejor coordinación y cooperación europea para los futuros calendarios de construcción de las tres centrales comerciales de estos países.

Es en este marco que un comité de dirección y nueve grupos especializados de trabajo coordinan desde 1977 las actividades de investigación y desarrollo de Francia y la República Federal de Alemania de consuno con un continuo intercambio de información y la adopción de medidas comunes.

Desde agosto de 1983 funciona un grupo ampliado de estudio de Europa occidental que se ocupa de los sistemas nucleares a neutrones rápidos. Este grupo, conocido como ARGO, tiene la intención de promover el sistema de reactor reproductor a fin de contribuir a la seguridad de los suministros de energía en Europa. Además de Francia, en el grupo participaron inicialmente cuatro países, a saber, Bélgica, Italia, los Países Bajos y la República Federal de Alemania. Gran Bretaña entró en el grupo europeo de reactores rápidos mediante un memorando intergubernamental de entendimiento firmado en París en enero de 1984. El grupo está abierto a la incorporación de nuevos miembros.

En febrero de 1984, Electricité de France (EDF) y la empresa nacional británica de energía, Central Electricity

Generating Board (CEGB), firmaron un acuerdo en Londres para trabajar juntas en materia de centrales nucleares con reactores rápidos. Se contempla la posible participación de la CEGB en el proyecto del Superphénix II.

Mediante un memorando de entendimiento firmado en Londres el 2 de marzo de 1984, compañías industriales y organizaciones de investigación de Bélgica, Francia, Gran Bretaña y la República Federal de Alemania han agrupado sus actividades individuales para el desarrollo y la construcción de reactores reproductores rápidos. También se prevé la participación de organizaciones de los Países Bajos. El objetivo primordial de la colaboración, según se expresó en el memorando de marzo, es lograr el uso más eficiente de los recursos que permita una introducción temprana de reactores rápidos económicos.

El propósito de este intercambio general de información es elaborar un programa de construcción consecutiva de reactores experimentales en Europa y proporcionar servicio eléctrico con la seguridad necesaria para pasar a un programa completo de construcción de reactores comerciales. Cada reactor experimental contará con la experiencia obtenida por su predecesor y mediante un proceso de perfeccionamiento continuo, conduciría a un modelo comercial en que podrían basarse los diseños nacionales. Cada reactor, a su vez, constituiría un centro de actividades de investigación, desarrollo y diseño de todos los participantes.

Por añadidura, las organizaciones británicas y francesas interesadas en el ciclo de combustible firmaron en marzo de 1984 dos memorandos en los que se establecían los principios en que se basa la cooperación en la fabricación y reprocesamiento de combustible. Hay negociaciones en curso para que en este arreglo participen otros países que también colaboran en la investigación de reactores.

Europa oriental

La cooperación en Europa oriental comenzó en 1980 cuando los países miembros del CAEM firmaron el acuerdo de colaboración para el desarrollo de un reactor reproductor rápido de gran potencia. De acuerdo con el programa de colaboración para la investigación y el desarrollo, se realizan investigaciones conjuntas en las esferas de la física de reactores, el diseño de núcleos, la termohidráulica, el desarrollo de componentes e instrumentación de los reactores, la seguridad de los reactores rápidos, y el ciclo de combustible de reactores rápidos.

Se utilizan los laboratorios y las instalaciones de diferentes países como base experimental para estudios conjuntos. Entre ellos están las instalaciones críticas de la República Democrática Alemana (RDA), Rumania y la URSS; las instalaciones termohidráulicas de Checoslovaquia, la RDA y la URSS y los reactores reproductores rápidos BOR-60 y BN-350 en la URSS.

Organizaciones científicas y de investigación de Checoslovaquia, Hungría, Polonia, la RDA y la URSS elaboran la instrumentación de los LMFBR y los ensayos

se llevan a cabo en los reactores BOR-60 y BN-350. Varios diseños de generadores de vapor para LMFBR realizados en Checoslovaquia se han ensayado en el BOR-60 con resultados satisfactorios. Especialistas de Checoslovaquia y de la URSS desarrollan conjuntamente el diseño del generador de vapor y el sistema de válvulas del LMFBR de gran potencia.

En Checoslovaquia, Polonia, la RDA y la URSS se desarrollan equipos para el reprocesamiento de combustible de reactores rápidos, así como sistemas de control e instrumentación para centrales reprocesadoras. Como resultado de estudios conjuntos sobre la optimización del reprocesamiento del combustible, se ha llegado a la conclusión de que la capacidad óptima de dichas centrales sería de unas 1500 toneladas de combustible por año. Esto bastaría para centrales nucleares de una capacidad total de 40 a 50 GW(e). Especialistas de Checoslovaquia y la URSS trabajan en el desarrollo de tecnologías reprocesadoras no acuosas, además de hacerlo con métodos acuosos de reprocesamiento de combustible.

servicios públicos— reúnen sus recursos para financiar las instalaciones.

La escasez de capital de inversión ofrece sólo uno de los ejemplos de las posibilidades de consolidar actividades mediante la cooperación internacional. Como permite apreciar la experiencia de los países de Europa occidental y de los países miembros del Consejo de Asistencia Económica Mutua (CAEM), los empeños cooperativos pueden ser fuente de notables ahorros. Las actividades conjuntas poseen también repercusiones sinérgicas desde el punto de vista del diseño y crean un mercado más amplio para el número mayor de centrales necesarios para demostrar los efectos de serie de la producción.

La cooperación internacional también permite ahorros en las disposiciones relacionadas con el ciclo de combustible, ya que una instalación determinada prestaría servicio a un mayor número de reactores en una fecha más temprana. Por ende, en todas estas esferas la cooperación internacional constituye una tendencia importante en el futuro de los LMFBR.

En los países europeos que han decidido ya armonizar sus actividades hay pocas dudas acerca de la entrada en funcionamiento de varios reactores rápidos para finales de siglo.

Respecto de los planes anteriores, es posible apreciar que el Superphénix I, que deberá alcanzar su criticidad en 1985, estará en explotación y en condiciones de aportar suficiente experiencia para el Superphénix II, cuya entrada en servicio se espera para mediados del

decenio de 1990. En la República Federal de Alemania, el SNR-2 pudiera estar listo para el año 2000. Por su parte, en el Reino Unido pudiera decidirse la construcción del CDFR para que entrara en funcionamiento a fines de siglo. En la URSS, al BN-600 seguirá el BN-800 a principios del decenio de 1990, la primera de una serie de unas 20 centrales. Posteriormente, el BN-1600 pudiera entrar en servicio después del año 2000. Se espera que el Japón complete la construcción del Monju para 1990 y que tal vez concluya un reactor de demostración mayor para el año 2000.

Todas estas instalaciones hipotéticas evitarían la necesidad inmediata de construir otras del ciclo de combustible de tamaño comercial, que quedarían para después del año 2000. Sin embargo, cabe esperar que se utilicen las instalaciones de demostración como medio de preparación para unidades grandes de tamaño comercial.

A la larga, después del año 2000 podrían hacerse pedidos de centrales con LMFBR, que ya para esa fecha estarían probadas, con la consiguiente necesidad de instalaciones a gran escala para la fabricación y el reprocesamiento de combustible. De modo que cuando se agoten las reservas de fósiles líquidos, lo que según diversas estimaciones deberá ocurrir a principios del siglo XXI, podrá contarse con la capacidad instalada a gran escala de reactores reproductores rápidos. Con ello se lograría el objetivo general de los LMFBR de garantizar una fuente energética a largo plazo para atender la demanda mundial de energía.