

Nuevos horizontes en energía nuclear

por G. Tavernier*

En la Tercera Conferencia Nuclear Europea, celebrada en Bruselas del 26 al 30 de abril de este año, se pusieron de manifiesto importantes diferencias entre América del Norte, Europa y Japón, en relación con las soluciones técnicas del problema de la fase final del ciclo del combustible nuclear. Asistieron a la Conferencia, que trató de las nuevas tendencias en el desarrollo de la energía nuclear, en particular en materia del ciclo del combustible nuclear, unos 1000 especialistas de la industria nuclear procedentes de 25 países.

Las diferencias de enfoque en cuanto al ciclo del combustible resultan del hecho de que América del Norte cuenta con grandes recursos indígenas de energía, en tanto que Europa Occidental y Japón no disponen casi de ninguno. Ello explica también la diferente actitud política de los Estados Unidos en cuanto al desarrollo del reactor reproductor rápido. Con todo, los representantes de los Estados Unidos en la Conferencia expusieron un vasto plan para la demostración de los reactores reproductores rápidos (incluyendo la terminación del reactor reproductor de Clinch River), lo que permitiría la introducción por etapas de los reactores reproductores rápidos (FBR) entre los años 2000 y 2010. También en Canadá, ciertos estudios estratégicos han llevado a la conclusión de que los ciclos de combustible avanzados no resultarán interesantes desde un punto de vista económico antes del año 2010. En Europa Occidental se encuentran ya en construcción instalaciones industriales para el tratamiento y almacenamiento de productos residuales, en tanto que América del Norte se halla todavía en las etapas preliminares.

En la Conferencia se comunicó que se había adquirido experiencia de explotación generalmente favorable en los 23 países que cuentan con programas civiles de energía nucleoelectrica. Sin embargo, las estadísticas sobre porcentajes de disponibilidad y costes de explotación indican que se podrían introducir mejoras en los tiempos de parada necesarios para el reabastecimiento de combustible, el mantenimiento y las pruebas, así como en el rendimiento del equipo y de los explotadores. Después de producirse el accidente de Three Mile Island, se estableció en los Estados Unidos de América el Institute of Nuclear Power Operations (INPO), con el objeto de desarrollar mejores normas para la explotación de centrales nucleares. Los propietarios de centrales nucleares de todos los países podrían beneficiarse de su adhesión al INPO, lo que permitiría establecer un inter-

cambio de información recíproco a nivel internacional sobre la experiencia adquirida en la explotación de centrales nucleares, incluyendo los casos de incidentes y accidentes.

El ciclo del combustible nuclear irradiado ofrece dos opciones: almacenamiento definitivo o reelaboración, ésta tal vez precedida de un almacenamiento temporal. Se ha demostrado que ambas opciones son técnicamente posibles; en consecuencia, la elección de un criterio se hará sobre la base de los factores de economía y de conservación de energía. Si se escoge la reelaboración, el plutonio recuperado puede utilizarse provechosamente en los reactores reproductores rápidos. Como la planta de reelaboración de La Hague ya funciona en condiciones de fiabilidad y se ha previsto la habilitación de otras plantas, habrá probablemente un exceso de plutonio antes de que los reactores reproductores entren en servicio comercial: esto dará por resultado que se recicle el plutonio de los reactores refrigerados por agua.

El reactor reproductor rápido, que, como se espera, suministrará una gran parte de las necesidades energéticas futuras, se encuentra actualmente en fase de demostración en varios países. En todos los casos se utilizan los mismos métodos básicos: sodio como refrigerante, óxido como combustible, y el mismo procedimiento de reelaboración que para los reactores de agua ligera. Si el único criterio fuera la competitividad, el reactor reproductor no se utilizaría en escala industrial antes del año 2000. Pero, según los participantes en la Conferencia, el criterio económico no es el único que se tiene en cuenta; en algunos países industrializados de Europa, el desarrollo comercial de los reactores reproductores rápidos no debería demorarse más, a causa de las siguientes razones: por la independencia energética que ofrece; por la posibilidad de que se produzca escasez de uranio barato; porque el tiempo exigido para la penetración comercial del reactor reproductor es de unos 25 años, plazo que corresponde aproximadamente con el tiempo de que se dispone aproximadamente antes de que se agoten los suministros de uranio. En la actualidad es preciso concentrar esfuerzos para mejorar la competitividad de los reactores reproductores rápidos en comparación con los reactores térmicos: para tal propósito, se debe fortalecer la colaboración internacional.

Entre las soluciones razonables de suministro energético en la mayoría de los países industrializados se encuentra la fisión nuclear. Sin embargo, el desarrollo futuro de la energía nucleoelectrica exige una aceptación pública más general. La Conferencia llegó a la conclusión de que es imperativo definir normas coherentes, sin redundancias y sin duplicaciones innecesarias y engañosas; se debe evitar una serie sin fin de medidas de seguridad superfluas. Como en el pasado, se debe

* El Sr. Tavernier fue Presidente General de la Tercera Conferencia Nuclear Europea, quinta de una serie de conferencias celebradas conjuntamente por la American Nuclear Society y la Sociedad Nuclear Europea. Es Director General Administrativo de Belgonucléaire, rue du Champ de Mars 25, B-1050, Bruselas (Bélgica).

garantizar, mediante la aplicación de normas adecuadas y al precio de inversiones razonables la fiabilidad de la planta y la seguridad pública. Por razones de no proliferación, las actividades nucleares en todo el mundo deben seguir sujetas a verificación por parte del OIEA: se deben consagrar esfuerzos a reforzar el personal, el instrumental de inspección y el presupuesto del Organismo.

Suministro y producción de combustible

Las existencias de uranio natural o enriquecido han aumentado como consecuencia de la reducción del número de centrales nucleoelectrificadas que se había previsto que entrarían en funcionamiento. Esta situación, que ha de prolongarse hasta mucho después del año 1990, será parcialmente la causa de que se mantenga el estado deprimido del mercado de uranio. Se podría presentar un problema similar al que sufre el mercado de entrega inmediata de uranio también en el mercado de servicios de enriquecimiento, si los productores de electricidad ponen a la venta sus suministros sobrantes. Durante el decenio de 1990 se puede prever la oferta comercial de técnicas avanzadas de separación isotópica, tales como la excitación por láser y el plasma de uranio. En este contexto, el método de enriquecimiento por centrifugación utilizado actualmente en los Estados Unidos podría considerarse como una solución provisional.

Los participantes en la Conferencia pusieron particularmente de relieve el hecho de que la fabricación de los combustibles de plutonio para los reactores de agua ligera reviste especial interés en vista de la gran cantidad de plutonio que será necesario almacenar en los años venideros como consecuencia de la reelaboración del combustible irradiado iniciada por países europeos. Las memorias presentadas en la Conferencia indican que la experiencia adquirida, especialmente en Bélgica y en la República Federal de Alemania, demuestra que se pueden fabricar a escala industrial elementos de combustible de plutonio; en la hora actual el coste total de los subconjuntos de combustible de plutonio es aproximadamente el mismo que el de los de uranio enriquecido; se pueden utilizar la mezcla de óxidos de uranio-plutonio en polvo como material de puesta en marcha. En la República Federal de Alemania, se obtiene esa mezcla de óxidos por calcinación de un producto intermedio, el UPuC que se obtiene por precipitación de carbonatos a partir de los nitratos de U-Pu. Este procedimiento, que ya se utiliza en la fabricación del combustible de uranio enriquecido, presenta la ventaja de que el combustible es completamente soluble en el ácido nítrico empleado en la primera etapa de la reelaboración y, además, produce mucho menos polvo durante la fabricación de las pastillas. Se encuentran en desarrollo otros procesos, como por ejemplo la técnica de la gelación para producir microperlas de óxido de U-Pu, según han comunicado especialistas suizos y belgas. Se dispone ya de considerable experiencia en la fabricación de elementos combustibles para los reactores reproductores rápidos.

Gestión del núcleo

Los métodos corrientemente aplicados en la gestión del combustible tienen por finalidad prolongar el ciclo de funcionamiento y mejorar las modalidades de recarga,

logrando con ello un mayor coeficiente de quemado en el combustible irradiado que se descarga. La tendencia a utilizar este método proviene de la necesidad de obtener el mejor empleo del uranio posible y del deseo de reducir los costos de producción de electricidad. De esta forma, se espera retardar la frecuencia con la que se retira el combustible de los reactores para su almacenamiento provisional y compensar de esa manera la insuficiencia de las instalaciones de reelaboración del combustible, situación que ha de perdurar todo el decenio venidero.

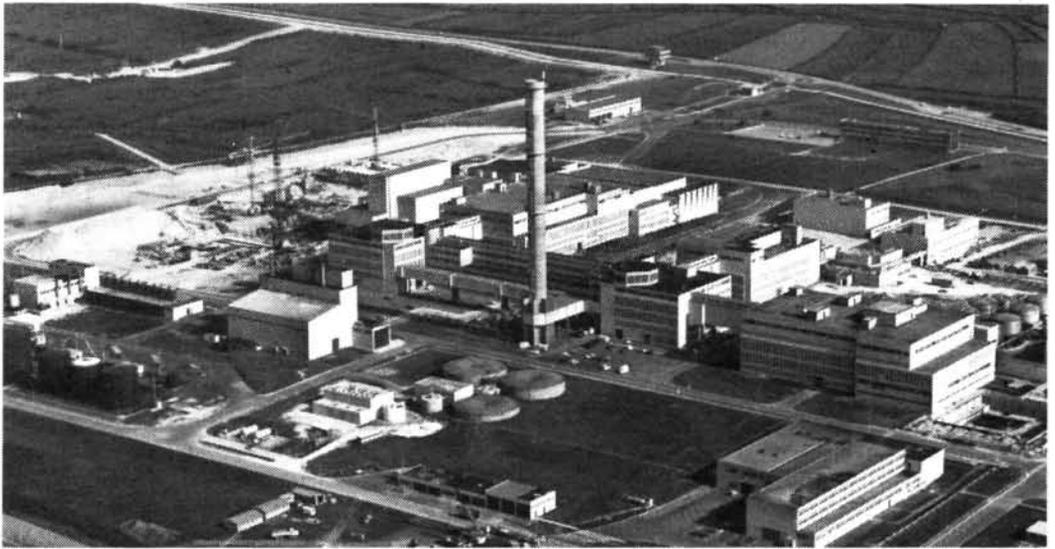
En la actualidad parece que se lograrán dichos objetivos: en realidad, la integridad de las varillas de combustible de los reactores de agua ligera alcanza un nivel de 99,9%, y la información que se reúne actualmente demuestra que se puede aceptar un grado de quemado mayor en el combustible descargado. Además de mejorar el rendimiento del combustible, se ha aumentado la fiabilidad de los componentes del núcleo mediante perfeccionamiento de los elementos metálicos de los conjuntos combustibles y de las barras de control. Hoy en día es un hecho reconocido que esos conjuntos y barras se encuentran entre los componentes que plantean menos dificultades en las centrales actuales y que se puede proceder a la aplicación progresiva de un mayor grado de quemado (hasta alcanzar un promedio de 40 MWd/kg).

El aumento del período del ciclo de funcionamiento implica la utilización de venenos consumibles y en la Conferencia se describió el estado actual de los conocimientos sobre esta cuestión. El veneno consumible que ya se aprovecha en los reactores de agua en ebullición es el gadolinio, en forma de Gd_2O_3 mezclado con uranio. De momento, los reactores comerciales de agua a presión utilizan venenos consumibles (varillas de pirex) solo durante el primer ciclo, sin que se haya tratado de obtener una optimización desde el punto de vista económico. Se están dedicando considerables esfuerzos para cualificar nuevos venenos consumibles para los reactores de agua a presión, incluyendo el gadolinio y el B_4C . La cualificación del gadolinio ha alcanzado una etapa avanzada: varios proveedores de combustible han descrito la experiencia adquirida con varillas de combustible que contienen gadolinio irradiadas en reactores de potencia. Se han recogido numerosos datos experimentales y los métodos de cálculo son actualmente objeto de verificación. Para un futuro próximo se prevé la utilización de recargas con gadolinio para reactores de agua a presión. También se ha mejorado notablemente el diseño de venenos consumibles gracias al empleo de varillas de $B_4C - Al_2O_3$ en vainas de Zircaloy.

Se manifiestan igualmente otras tendencias. Comprenden el empleo de zonas fértiles axiales de mezclas de uranio natural y óxidos (de 10 a 15 cm de espesor) en ambos extremos del conjunto de combustible, con lo cual se persigue disminuir el trabajo de separación necesario y por tanto reducir los costos del ciclo del combustible. En la actualidad se encuentran sometidas a irradiación en centrales de potencia de los Estados Unidos prototipos de subconjuntos provistos con zonas fértiles axiales.

Algunas de las memorias presentadas en la Conferencia tratan del rendimiento del combustible de reactores reproductores rápidos, especialmente de los reactores

La planta de reelaboración de La Hague (Francia). Si bien el plutonio recuperado mediante reelaboración del combustible irradiado se puede utilizar provechosamente en reactores reproductores rápidos, es probable que exista exceso de plutonio antes que los reactores reproductores rápidos comerciales entren en funcionamiento, y se podría reciclarlo en reactores de agua, según ciertas opiniones formuladas en la Conferencia.



franceses Rapsodie y Phénix: en el Rapsodie se ha llevado a cabo la irradiación de 30 000 agujas de combustible con grados de quemado de hasta el 25%, en tanto que en el Phénix se han irradiado más de 100 000 agujas de combustible. De estas últimas, casi el 6% eran agujas experimentales y quedó demostrado que se había logrado un máximo grado de quemado del 12%. Sobre la base de estos resultados, se ha aumentado el límite inicial del 5 al 10% (máximo grado de quemado de la pastilla).

Criterio de reelaboración

Los participantes en la Conferencia subrayaron la importancia de la reelaboración del combustible irradiado no solo como una manera de obtener una mejor utilización de los recursos energéticos mundiales, sino también con objeto de reducir el volumen de desechos de alta actividad que se deben almacenar. Según se informó en la conferencia, en los Estados Unidos el Gobierno actual está en favor de la reelaboración, aunque todavía queda por definir el papel exacto que corresponde a la industria y al Gobierno Federal en esta materia. La planta de Barnwell para la reelaboración de combustibles de reactores de agua ligera, podría entrar en funciones en 1987, aunque es necesario efectuar una nueva inversión de 730 millones de dólares para el tratamiento de desechos y el laboratorio de la fase final del plutonio. Se trabaja actualmente en un programa de investigaciones sobre la reelaboración del combustible de reactores reproductores rápidos, con miras a desarrollar hacia 1990 una instalación totalmente automática de reelaboración; se presta particular atención al desarrollo de una tecnología que permita el mantenimiento a distancia, así como a la utilización de reactivos exentos de sales.

En Francia la reelaboración del combustible de reactores de agua ligera ha alcanzado la etapa comercial y actualmente se procura adquirir experiencia industrial en la reelaboración del combustible de reactores reproductores. De ello ilustran los siguientes puntos: en las plantas de Marcoule y La Hague ya se han reelaborado

más de 11 toneladas de combustible de reactores reproductores rápidos; con respecto a los reactores Rapsodie y Phénix, se ha cerrado el ciclo del combustible; y es objeto de estudios una planta de reelaboración con capacidad de 130 toneladas por año de combustible de reactores reproductores rápidos,—que estaría en condiciones de reelaborar el combustible procedente de seis centrales de tipo Superphénix, así como del procedente de reactores Phénix y SNR 300. En la República Federal de Alemania el programa de investigación y desarrollo sobre la reelaboración se consagra al combustible del reactor reproductor rápido, en tanto que los programas industriales se limitan al combustible de reactores de agua ligera. La primera planta piloto para la reelaboración de reactores reproductores rápidos funciona en el Centro de Investigaciones Nucleares de Karlsruhe, y se está realizando un estudio teórico de una segunda unidad con una capacidad de 50 kg de metal pesado por día.

Si el Parlamento belga decide reabrirla, la planta Eurochemic podría servir para reelaborar combustible reciclado. Estudios realizados sobre la readaptación del diagrama de procesos industriales y del equipo han demostrado que no sería necesario introducir cambios fundamentales en la planta, con excepción de los sectores de la fase inicial y la fase final del plutonio. Las compañías de electricidad belgas tienen opiniones claras sobre la fase final del ciclo del combustible nuclear: consideran indispensable la reelaboración. Este parecer se manifestó en la Conferencia por medio de una descripción de la instalación de investigaciones *Hermes*, cuya finalidad es desarrollar la fase inicial de la reelaboración del combustible de óxidos de reactores reproductores.

Todas las operaciones de reelaboración presentadas en la Conferencia se basan en el procedimiento *Purex*, con excepción de la indicada en la memoria presentada por países del CAEM*, en la que se describe una nueva técnica para la reelaboración de combustibles de reproductores. Este proceso, que utiliza la fusión de la vaina de la aguja, seguida de la fluorinación en fase gaseosa

* Consejo de Asistencia Económica Mutua.

será en breve sometido a ensayos en una campaña de reelaboración del combustible irradiado de un reactor BOR-60.

Almacenamiento de combustible irradiado

El almacenamiento provisional de combustible irradiado es actualmente una parte esencial de la gestión del mismo como consecuencia de la demora de reelaboración ante la inexistencia de una política bien definida con respecto a la fase final del ciclo del combustible. Desde hace algunos años, se han consagrado considerables esfuerzos a la optimización de la solución del almacenamiento. Si bien el acondicionamiento de combustible irradiado en cisternas es una tecnología bien probada, de uso general en las centrales nucleoelectricas y plantas de reelaboración, las técnicas de almacenamiento en seco ofrecerían ventajas técnicas y económicas de importancia con respecto a los sistemas de refrigeración pasivos, el diseño modular, etc. El almacenamiento en piscinas es viable y seguro por un período de varios decenios por lo menos; antes de proceder al almacenamiento en seco a largo plazo, sería necesario un almacenamiento preliminar para permitir un período de enfriamiento y de desintegración. La posibilidad de disponer de una instalación de almacenamiento fuera de la central es una solución más económica que la de habilitar nuevas piscinas de almacenamiento en la propia central, con excepción de los emplazamientos que cuentan con seis reactores o más. En Suecia, por ejemplo, se encuentra en construcción una instalación subterránea de almacenamiento intermedio con una capacidad de 3000 toneladas de uranio y con la posibilidad de ampliarla más tarde a 9000 toneladas. La consolidación de las varillas de combustible permite reducir al 50% el espacio de almacenamiento, así como las operaciones de manipulación de los cofres de transporte. El aumento del grado de quemado tiene consecuencias favorables para el almacenamiento de combustible irradiado ya que reduce el volumen de este último; además, no se prevé que afecte el comportamiento del combustible durante el almacenamiento en piscina. El almacenamiento definitivo de combustible agotado sin reelaborar es técnicamente viable, aunque todavía falta demostrar su efectividad.

Tratamiento y evacuación de desechos

La política de la República Federal de Alemania en relación con el tratamiento y evacuación de desechos establece la reelaboración como medida de carácter obligatorio. Sin embargo, el Estado de Baja Sajonia ha solicitado que se analice otra posibilidad: el almacenamiento del combustible irradiado. Entretanto, se construye en Gorleben una gran piscina de almacenamiento para combustible irradiado y se estudian otros tres posibles emplazamientos para la reelaboración. Los trabajos han demostrado que los estratos de sal gema constituyen el medio más prometedor para la evacuación de desechos. En Bélgica, el tratamiento y evacuación de desechos radiactivos está encaminado a lograr la máxima reducción posible del volumen, la estabilización de los concentrados, la selección del medio más adecuado en el que evacuar esos concentrados, y la obtención de esos objetivos a un coste razonable. El acondicionamiento químico y físico de desechos radi-

activos ha merecido particular atención. Ya se encuentran hoy en aplicación procesos para revestir los desechos con betún, así como métodos para concentrar e inmovilizar los efluentes de reactores.

El Reino Unido considera que la reelaboración constituye una parte esencial de la estrategia global del tratamiento y evacuación de desechos y ha continuado su planificación de la instalación THORP. Entretanto, se ha construido en Windscale una gran piscina de almacenamiento. En lo que se refiere a los desechos de baja intensidad, se considera que el vertimiento en los fondos oceánicos es una buena solución. Los desechos de intensidad media se almacenan en trincheras de 30 a 40 metros de profundidad. Para los desechos de alta actividad y emisores alfa, se prevé la evacuación en formaciones geológicas, y el Gobierno del Reino Unido considera que ya ha quedado demostrada su viabilidad, de manera que es poco probable que se prosigan otros trabajos en esta esfera en un futuro próximo.

En Francia el combustible es objeto de reelaboración. Los desechos de baja actividad se almacenan en la instalación de La Manche; los de actividad intermedia se almacenarán en un nuevo emplazamiento; y los de alta actividad en formaciones de granito. Suiza ha examinado muy seriamente la posibilidad de utilizar formaciones graníticas para almacenar desechos de actividad alta e intermedia. En Dinamarca, se han llevado a cabo estudios de viabilidad con relación al almacenamiento de desechos de actividad alta e intermedia en domos salinos. La Comisión de Comunidades Europeas ha confirmado que continuará respaldando programas generales de investigación y desarrollo en la esfera del tratamiento y evacuación de desechos.

El acondicionamiento por vitrificación de desechos de alta actividad se ha convertido en un método aceptado. Pero también se han señalado los progresos logrados en las investigaciones de nuevos materiales matriciales para la retención de desechos de alta actividad durante la evacuación a largo plazo en formaciones geológicas profundas: la matriz de sulfato de níquel/grafito, o la roca sintética que contiene minerales pueden en el porvenir constituir alternativas al procedimiento de vitrificación.

Cierre definitivo de instalaciones del ciclo del combustible nuclear

Se ha efectuado un estudio de todos los aspectos relacionados con el cierre definitivo de instalaciones nucleares: técnicas, análisis de seguridad, reglamentación, costo, limpieza del emplazamiento y necesidades de futuros trabajos de investigación y desarrollo. En la Conferencia se presentaron ejemplos de actividades de descontaminación y de cierre definitivo de instalaciones: descontaminación, desmantelamiento y embalaje de equipo de tratamiento contaminado con plutonio y uranio enriquecido en una instalación de los Estados Unidos especializada en la fabricación de combustibles de óxidos y de carburos para reactores de agua ligera y reactores reproductores rápidos; y un programa de descontaminación y clausura parcial de la planta de reelaboración de Eurochemic, Bélgica, que exigió 150 000 horas-hombre de trabajo. Tras las operaciones de descontaminación, resultó posible acceder a todas las células y equipos de tratamiento.