

La opción nuclear

Las centrales nucleares “rápidas” e innovadoras podrían ser un imperativo estratégico

recobra fuerzas

Por Evgeny Adamov

La energía nucleoelectrica tardó 50 años en conquistar, en la producción de energía a escala mundial, la posición que la energía hidroeléctrica demoró siglos en alcanzar. Durante todos estos años, ocasionalmente surgieron propuestas de nuevos conceptos de reactores junto a las tecnologías de reactores convencionales. En los decenios de 1960 y 1970, caracterizados por el apoyo a la opción nuclear, algunos de esos conceptos “innovadores” llegaron incluso a convertirse en proyectos experimentales o de demostración.

Sin embargo, pese a la diversidad de nuevas ideas, la energía nucleoelectrica entró en el nuevo siglo aún estancada entre viejas tecnologías convencionales. La mayoría de ellas fueron concebidas en los albores de la ingeniería nuclear, cuando los reactores para la producción de isótopos aptos para la fabricación de armamentos y los reactores para los submarinos nucleares impulsaban el desarrollo.

A menos que comprendamos las razones por las que las tecnologías innovadoras no lograron entonces ningún avance considerable, no podremos responder al interrogante de si son necesarias ahora, o lo serán en el futuro previsible.

Tal vez sean pocos los que recuerden que el advenimiento de la energía nucleoelectrica no fue motivado por un déficit energético. Se debió a la Segunda Guerra Mundial, y a la apremiante necesidad de elevar la potencia de los armamentos. Una vez concluida la guerra, los programas nucleares fueron fomentados tanto por los diseñadores de armas (como el ruso I. Kurchatov, que inició la construcción de la primera central nuclear del mundo en Obninsk) como por los políticos estadounidenses en el marco de la Iniciativa “Átomos para la Paz” del Presidente Dwight Eisenhower, en 1953, encaminada a contrarrestar las acciones militares y promover el uso de la energía nuclear con fines pacíficos.

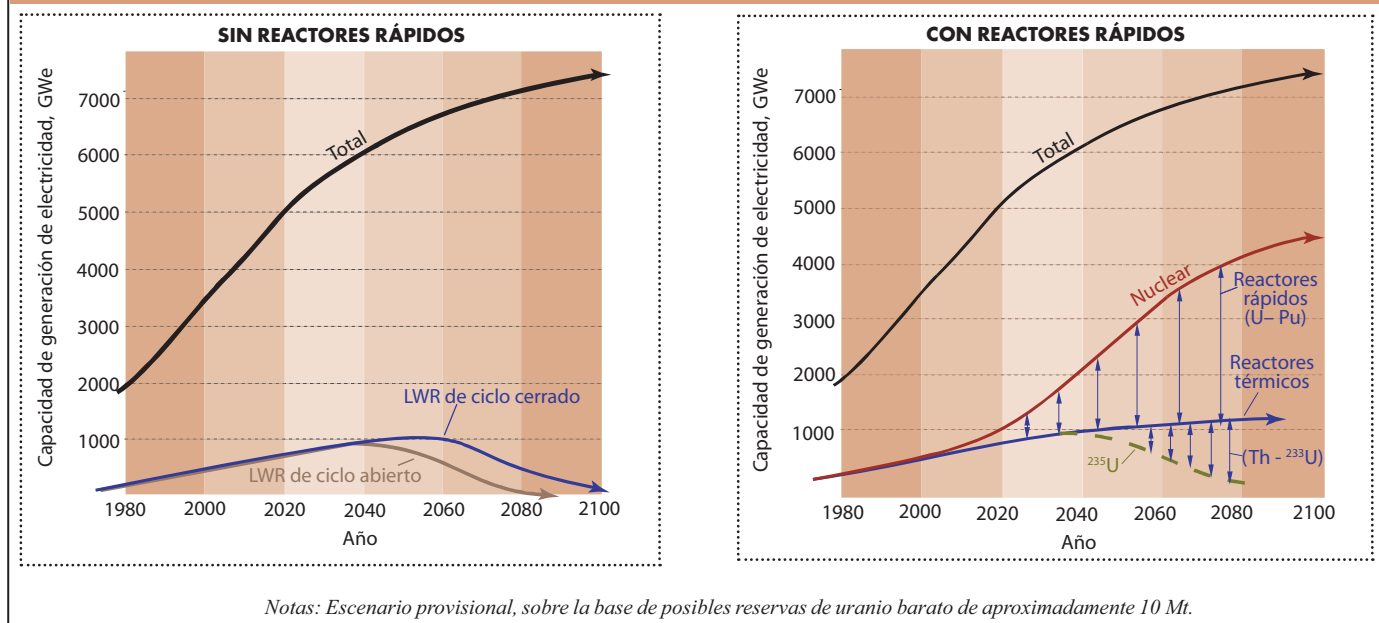
Un contexto en evolución

En la actualidad, la demanda energética se satisface aún en gran medida con los combustibles fósiles, como en los albores del desarrollo nuclear. En los últimos decenios, los defensores fervientes de la energía nucleoelectrica han mencionado repetidas veces la inminente escasez de combustibles fósiles, si bien esta sombría perspectiva no amenazará a la humanidad en los próximos cien años. Esto significa que ese posible déficit no es el único factor, ni el más importante, que impulsa una búsqueda activa de otras fuentes de energía.

Otros factores han comenzado a tener mayor influencia. Uno es el de los cambios del medio ambiente. A finales del siglo pasado, la profunda preocupación por el medio ambiente hizo que se prestara más atención a la búsqueda de opciones energéticas “verdes”. La energía nucleoelectrica fue objeto de análisis y se demostraron sus ventajas en cuanto a la protección del medio ambiente frente a la mayoría de las otras tecnologías energéticas. Sin embargo, el entusiasmo político de los promotores del Protocolo de Kyoto ha decaído tanto últimamente que, pese a las pruebas cada vez más convincentes del peligro del efecto invernadero, todavía se pueden encontrar razones para suprimir el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero de la lista de prioridades. Dado que la participación de la energía nuclear en el balance energético total representa hoy el 6%, cabe prever con toda razón que la contribución total de las llamadas fuentes sustitutivas (eólica, solar, mareomotriz, de la biomasa, geotérmica y otras formas de energía) podría acabar con la opción nuclear sin pérdidas notables para el suministro mundial de energía.

Otro factor es el de los cambios en el marco político. En los inicios de la energía nucleoelectrica, se supuso que la industria comercial se desarrollaría en el contexto bipolar de la posesión de armas

Figura 1: Crecimiento proyectado de la capacidad nuclear



nucleares (con la OTAN, encabezada por los Estados Unidos de América, frente al Tratado de Varsovia, dirigido por la URSS). Como se comprobaría más tarde, las tecnologías relacionadas con la producción de armamentos no quedaron confinadas al círculo de los cinco Estados miembros del club nuclear, y el tema de la no proliferación adquirió una importancia muy superior a la de los hechos que podían influir en el desarrollo de las tecnologías energéticas. Ello quedó de manifiesto particularmente en el contexto de los esfuerzos por ahorrar energía, y de los yacimientos de petróleo y gas recién descubiertos –incluidos los marinos– que hicieron bajar los precios de los combustibles fósiles a niveles sin precedentes.

Queda aún mucho trabajo de análisis que hacer para entender no sólo por qué la energía nucleoelectrica no logró ni con mucho alcanzar los niveles de generación previstos en los años setenta, sino también por qué es muy probable que su participación en el mercado energético siga disminuyendo en los próximos 10 a 15 años. Ese análisis se ha hecho en Rusia y otros países. Desde esa perspectiva, los requisitos que debe cumplir la energía nucleoelectrica no dependen de las consideraciones normales del mercado únicamente, y la energía nucleoelectrica no debería tratarse como una esfera convencional de actividad comercial (como se dijo insistentemente en el decenio pasado).

La opción nuclear recobra fuerzas

Lo importante es que la necesidad de tecnologías nucleares innovadoras debe evaluarse a la luz de las nuevas situaciones. Es fundamental analizar las condiciones que podrían provocar una demanda de energía nucleoelectrica, así como las circunstancias en las que esta tecnología podría “recobrar fuerzas”. Para algunos países, como Francia y el Japón, el hecho de no disponer de petróleo o gas propios es por sí solo motivo suficiente para mantener la energía nucleoelectrica entre las fuentes de energía utilizadas. Otros tal vez asignen alta prioridad a la diversificación o a la autosuficiencia en el sector energético.

La energía nucleoelectrica segura puede también producir hidrógeno, por ejemplo, y hacerlo de forma rentable. Esta aplicación permitiría reducir en el futuro el consumo de combustibles fósiles para generar electricidad, y reservar así estos recursos para otras aplicaciones más convenientes en el transporte y en las industrias de alto consumo energético. Esta podría ser una opción atractiva, incluso hoy, para algunas economías sólidas.

Es fundamental analizar las condiciones que podrían provocar una demanda de energía nucleoelectrica, así como las circunstancias en las que esta tecnología podría “recobrar fuerzas”.

Por paradójico que parezca, la reactivación de la opción nuclear podría impulsarse aumentando los costos y la preocupación por la proliferación de los armamentos y la forma de controlar los riesgos. Mientras no se logre la prohibición total y la eliminación de las armas nucleares, la proliferación continuará siendo un riesgo que exige un férreo control para evitar que los materiales y tecnologías nucleares caigan en las manos equivocadas. En estos momentos, la labor de mantener y desarrollar las tecnologías nucleares, así como los conocimientos especializados y las instalaciones industriales conexas, sólo con fines de producir armas nucleares representa en términos de gasto público una carga económica y social mucho mayor que si esos conocimientos técnicos se utilizaran y compartieran para producir energía.

En Rusia, por ejemplo, el costo de las actividades necesarias para corregir las consecuencias de los programas de armas nucleares se calcula en decenas de miles de millones de dólares, un dinero con el que el presupuesto nacional no cuenta. Entretanto, la aplicación razonable de la estrategia para el desarrollo dinámico de la energía

nucleoeléctrica hasta el año 2050, ya aprobada por el Gobierno de Rusia, es una manera de evitar que los fondos para las actividades relacionadas con los armamentos se desvíen de otros sectores de demanda social.

En mi opinión, la solución es construir centrales nucleares de diseño avanzado, empleando tecnologías que ayuden a frenar la difusión de las armas nucleares. La energía nucleoeléctrica a gran escala debería desarrollarse sobre la base de diseños de reactores y procesos de combustible innovadores, que puedan prestar apoyo tecnológico al régimen de no proliferación nuclear, y que al mismo tiempo contribuyan a satisfacer la demanda de electricidad en el mundo.

Centrales nucleares “rápidas”

Por razones relacionadas con la no proliferación y por otros motivos, el diseño de reactores de fisión rápida representa la opción más prometedora. (Véase el recuadro titulado *Reactores rápidos*). Estos reactores quemarían sólo uranio 238 y, por tanto, permitirían eliminar el enriquecimiento del uranio y la separación del plutonio apto para armamentos del grupo de tecnologías del ciclo del combustible que ahora se utilizan para la producción de energía nuclear. A diferencia de los reactores anteriores, estos reactores rápidos no dispondrían de capa fértil en la que se pudiera producir plutonio apto para armamentos.

Esta opción permite que el desarrollo de la energía nucleoeléctrica se desvincule aún más, desde el punto de vista tecnológico, de la producción de materiales que pueden utilizarse en la fabricación de armas. Además, respaldaría otros elementos del régimen de no proliferación, incluidos los arreglos políticos y jurídicos, como las inspecciones. Éstas podrían facilitarse considerablemente mediante el uso, por ejemplo, de sistemas satelitales para vigilar la configuración de las instalaciones del ciclo del combustible.

Así, los Estados que ahora cargan con los costos de la proliferación nuclear podrían orientar sus esfuerzos hacia otras direcciones. Podrían definir las condiciones óptimas para compartir los beneficios de las tecnologías de energía nuclear innovadoras con

países que no poseen armas nucleares y que, al mismo tiempo, tienen una apremiante necesidad de desarrollar sus propios sistemas de producción de energía.

De esta manera, por ejemplo, aun proporcionando un acceso máximo a las tecnologías nucleares, los Estados poseedores de armas nucleares podrían abordar el problema de la no proliferación, al principio, organizando a sus expensas la producción de energía en las regiones necesitadas de Asia y África. El uso de la energía nuclear, subvencionada en la fase inicial de desarrollo en estas regiones, sería esencialmente no comercial y se basaría en la asistencia internacional. De este modo, la iniciativa podría convertirse en un factor decisivo de estabilización política en zonas de conflictos internacionales, tanto en las que ya existen como en las que pudieran surgir en el futuro. A su vez, esta iniciativa encajaría perfectamente en los actuales enfoques de “diseño-construcción-explotación” y podría convertirse fácilmente en una importante actividad comercial para empresas estatales o internacionales, a medida que se desarrollasen los mercados energéticos.

En mi opinión, la solución es construir centrales nucleares de diseño avanzado, empleando tecnologías que ayuden a frenar la difusión de las armas nucleares.

¿Puede la opción nuclear satisfacer las necesidades?

Si la energía nucleoeléctrica ha de considerarse un imperativo estratégico para la economía y la seguridad mundiales, es preciso tener una idea clara de las posibilidades que ofrece. Con los actuales reactores y empleando un ciclo del combustible abierto (sin reprocesamiento), la energía nucleoeléctrica habrá consumido para finales del presente siglo las reservas disponibles de uranio cotizado a precios razonables. La capacidad total de las centrales

Reactores rápidos

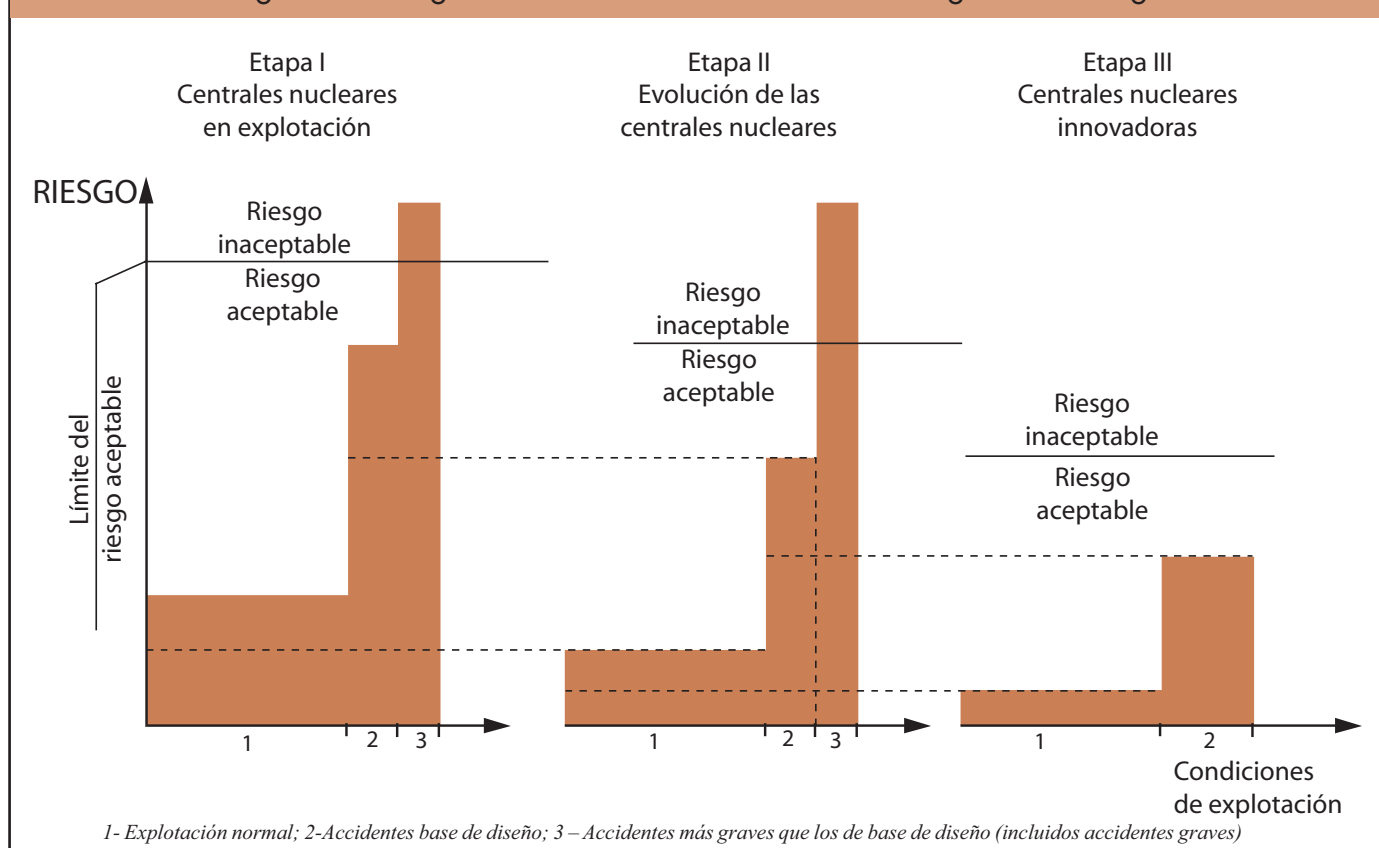
Los reactores rápidos no son nuevos, pero su desarrollo está tomando nuevos derroteros. Inicialmente fueron diseñados y configurados para consumir y producir combustible. Estos reactores “reproductores” queman combustibles de uranio y producen plutonio que puede ser reprocesado y reciclado para volver a abastecer a los reactores. Francia, Rusia, el Japón y otros países desarrollaron reactores reproductores rápidos, aunque en la actualidad sólo unos pocos de ellos generan electricidad con fines comerciales. El BN-600 de Rusia, por ejemplo, suministra electricidad a la red desde 1981.

Las centrales nucleares comerciales de hoy son principalmente reactores “térmicos” que pueden incluir o no el reprocesamiento del combustible. Los términos

“rápido” y “térmico” describen en esencia lo que sucede en el núcleo del reactor. En todos los tipos de reactores, la fisión –o reacción en cadena– que genera calor se mantiene mediante la colisión energética de neutrones con el combustible. En un reactor térmico, la velocidad de los neutrones se reduce a lo que los físicos denominan “baja energía” mediante un moderador, como el grafito o el agua. En un reactor rápido, los neutrones de la reacción en cadena no se desaceleran y se mantienen a “alta energía”.

Para obtener más información técnica sobre los reactores rápidos y las actividades de los países al respecto, pueden consultarse las páginas web del OIEA sobre energía nuclear, en www.iaea.org

Figura 2: La seguridad nuclear en función de las categorías de riesgo



nucleares no sería muy superior a los actuales niveles de alrededor de 350 GWe. Al reprocesar y volver a utilizar el combustible en los reactores térmicos, como se hace en algunos países, se podría aumentar la energía total generada entre el 15% y el 20%. Si se utilizara el torio como combustible, además del uranio natural, se podría como máximo duplicar la posible contribución de la opción nuclear.

Las proyecciones varían significativamente si se utilizan reactores rápidos y se aplica un ciclo del combustible cerrado, en el que el combustible nuclear gastado se reprocesa y utilice nuevamente para generar energía. En este caso, la opción nuclear podría satisfacer todo el aumento de la generación de electricidad previsto para los próximos decenios por el Congreso Mundial de la Energía (CME). En una etapa posterior, la opción nuclear permitiría incluso eliminar las limitaciones de los recursos de combustible. En tal caso, se cumplirían automáticamente los requisitos establecidos en el Protocolo de Kyoto y las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria energética podrían fijarse en cualquier nivel predeterminado.

Para que la energía nucleoelectrica en gran escala llegue a ser una opción realista, será imprescindible que la base de la industria esté constituida por reactores rápidos.

En los últimos años, el pesimismo de los años noventa ha cedido el paso a algunas tendencias que promueven la reinserción de

la energía nucleoelectrica en las prioridades de las estrategias energéticas de varios países grandes como China, la India, el Irán y Rusia. La política energética nacional de los Estados Unidos de América también resulta bastante sintomática en este sentido. Con todo, cualesquiera que sean las razones para la reactivación de la energía nuclear, la primacía de la no proliferación continuará siendo una prioridad inalterable de la política internacional. Para que la energía nucleoelectrica en gran escala llegue a ser una opción realista, será imprescindible que la base de la industria esté constituida por reactores rápidos. Más adelante, la solución al problema de la fusión termonuclear controlada podría contribuir a aumentar la capacidad de la energía nuclear para satisfacer una demanda energética cada vez mayor a escala mundial.

La seguridad y los desechos

Más allá de la preocupación por la energía y la proliferación, es importante analizar los temas relacionados con la seguridad de las centrales nucleares y la disposición final de los desechos radiactivos.

En lo que se refiere a los desechos, los conocimientos de ingeniería nuclear adquiridos a lo largo de los años han permitido encontrar maneras muy eficientes de llevar a cabo la disposición final de los desechos radiactivos, entre las que figuran diferentes métodos de aislamiento del medio ambiente y su enterramiento en formaciones geológicas cuidadosamente seleccionadas. Sin embargo, siempre es un problema demostrar la seguridad de cualquier instalación de almacenamiento — y no digamos de un repositorio de combustible gastado — durante un período geológicamente significativo. Esto indica la necesidad de desarrollar un ciclo del combustible que no

auge los problemas de los desechos, sino que los reduzca al mínimo.

Un sistema de producción de electricidad de origen nuclear basado en reactores rápidos y en un ciclo del combustible cerrado permitiría alcanzar lo que se ha denominado gestión de los materiales nucleares a niveles equivalentes a la radiación natural. Dicha gestión incluye un proceso conocido como “transmutación” de actínidos de menor importancia y productos de fisión, que se está desarrollando como estrategia alternativa para la reducción y gestión de los desechos radiactivos de período largo. Con un ciclo del combustible cerrado para reactores rápidos, por ejemplo, la actividad total de los desechos nucleares se aproximaría a la que se genera en la extracción de minerales en no más de 150 a 200 años. Sin duda, ello modificaría las ideas del público sobre la gestión de los desechos.

En cuanto a la seguridad tecnológica de las centrales, no es posible desconocer las impresionantes mejoras logradas en las actuales centrales mediante el empleo de evaluaciones probabilísticas de la seguridad y otras medidas. Sin embargo, si aplicamos las tecnologías nucleares innovadoras apropiadas, podemos construir reactores cuyo diseño, comportamiento físico y materiales eliminen toda posibilidad de un accidente grave. Las ventajas de este tipo de instalaciones podrían resultar decisivas a los ojos del público.

Estos reactores han sido denominados recientemente “instalaciones de seguridad natural”. Su seguridad descansaría en las leyes de la naturaleza y no en nuevas barreras de seguridad artificiales y una mayor cantidad de personal. Los reactores rápidos, por ejemplo, se pueden diseñar de manera que su comportamiento físico excluya la posibilidad de accidentes graves como el de Chernóbil en 1986 o el de Three Mile Island, en 1979. *(Las diferencias se ilustran en la Figura 2.)*

La cooperación y el apoyo mundiales

Así pues, por diversas razones, los reactores rápidos podrían ofrecer nuevas oportunidades de garantizar la competitividad de la energía nucleoelectrica. En este nuevo capítulo del desarrollo de la energía nucleoelectrica se requerirá apoyo nacional e internacional para atender los intereses estratégicos en materia de energía y no proliferación.

En muchos estudios se han examinado y definido los requisitos básicos de seguridad y economía y otros requisitos conexos de las tecnologías de reactores innovadoras. Estos requisitos son fundamentalmente diferentes de los de los decenios de 1960 y 1970. Los nuevos requisitos se plasmaron en los principios clave establecidos en la Estrategia para el desarrollo de la energía nucleoelectrica en Rusia en la primera mitad del siglo XXI, y fueron citados por el Presidente de Rusia en su Iniciativa para la cooperación internacional, anunciada durante la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas que se celebró en Nueva York en septiembre de 2000.

Por otra parte, en la Conferencia General del OIEA celebrada en 2000 se estableció el denominado programa INPRO (Proyecto Internacional sobre ciclos del combustible y reactores nucleares innovadores), que sirve de marco para la cooperación entre muchos países (véase el artículo “Impulso de la innovación”, en el presente número del Boletín). Las declaraciones recientes del

Director General del OIEA, Dr. ElBaradei, coinciden en muchos aspectos con la iniciativa mundial del Presidente Putin.

Paralelamente, los cambios en la actitud política hacia la energía nuclear, que se reflejan en la política energética nacional de los Estados Unidos, indujeron a varios países a unar sus esfuerzos en el Foro Internacional de la Generación IV (GIF) con el fin de desarrollar reactores nucleares avanzados. Se han seleccionado seis conceptos de reactores, incluidos los reactores rápidos, para realizar un análisis más detallado antes de tomar una decisión final.

En este nuevo capítulo del desarrollo de la energía nucleoelectrica se requerirá apoyo nacional e internacional para atender los intereses estratégicos en materia de energía y no proliferación.

Por cierto, ese trabajo se realizó ya en Rusia en el último decenio y llevó a la selección de un reactor rápido refrigerado por plomo, cuyo diseño técnico se está elaborando ahora en detalle. El proyecto se encuentra en una fase muy avanzada y ya se ha seleccionado un emplazamiento en los Urales para la posible construcción de una central de demostración. Durante ese mismo período se terminaron las actividades de investigación y desarrollo en apoyo del enfoque de la gestión de materiales nucleares a niveles equivalentes a la radiación natural. Los resultados de los estudios podrían servir de base para una comparación con otros conceptos de reactores y enfoques para lograr los objetivos del ciclo del combustible.

El análisis de los progresos alcanzados mediante el INPRO y el GIF ha demostrado que las dos iniciativas podrían coordinarse, siempre que el objetivo final se armonizara y se definiera como el desarrollo de una energía nucleoelectrica en gran escala y económicamente competitiva, mediante el empleo de un ciclo del combustible cerrado y tecnologías que impidan la proliferación. En vista del creciente interés por los nuevos enfoques relativos a la energía nucleoelectrica, podría resultar conveniente combinar las actividades del INPRO y el GIF a fin de alcanzar sus objetivos comunes mediante la cooperación internacional. La lograda aplicación del proyecto de fusión del Reactor termonuclear experimental internacional (ITER), aunque se adelanta a una necesidad real respecto de esas instalaciones, es un excelente ejemplo de cooperación eficiente para llevar a buen puerto las más difíciles tareas de ingeniería.

La electricidad barata generada por centrales nucleares innovadoras es un punto de partida atractivo para el desarrollo económico futuro. Puede ayudar a eliminar la agobiante disparidad en los niveles de vida regionales y, a la larga, a resolver las causas fundamentales de las tensiones políticas y los conflictos internacionales.

Evgeny Adamov fue Ministro de Energía Atómica de la Federación de Rusia entre 1998 y 2001, y trabaja como asesor del Presidente del Gobierno de ese país desde 2002. Pueden obtenerse referencias completas y más detalles técnicos solicitándolos al autor. Correo electrónico: avde@nikiet.ru