

**Portada:** Hace cinco años, la Cumbre para la Tierra destacó los aspectos ecológicos de cómo el mundo se está desarrollando. La demanda mundial de energía forma parte importante de ese panorama, y aumenta rápidamente, sobre todo en regiones como Asia, donde existe una pujante expansión económica. Ahora bien, ¿cuán sostenible es nuestro modelo de uso de la energía ante el calentamiento de la Tierra y otras amenazas ambientales? Por otra parte, ¿qué función debe desempeñar la energía nuclear, que no emite dióxido de carbono ni gases contaminantes hacia la atmósfera como sucede con los combustibles fósiles? En un momento en que la Asamblea General de las Naciones Unidas vuelve a examinar los temas de la Cumbre para la Tierra, en la presente edición se analizan las necesidades de energía mundiales y las formas en que los países desarrollan la energía nucleoelectrica para la generación de electricidad y otras aplicaciones relacionadas con la energía.

*Diseño de portada: Hannelore Wilczek, OIEA; Stefan Brodek, Viena*

**Contraportada:** Niños de Etiopía, donde un proyecto apoyado por el OIEA ayuda a realizar estudios sobre los recursos hídricos viejos y nuevos.

*(Cortesía: D. Kinley/OIEA)*

## INDICE

**Crónicas** Desarrollo de la energía nucleoelectrica: Desafíos y estrategias globales  
*por Victor M. Mourogov / 2*

Comportamiento de las centrales nucleares: Apoyando iniciativas para el progreso  
*por Boris Gueorguiev y K.V. Mahadeva Rao / 9*

Centrales nucleares avanzadas: Aspectos sobresalientes de su desarrollo a nivel mundial  
*por Poong-Eil Juhn, Juergen Kupitz y John Cleveland / 13*

Aplicaciones de la energía nucleoelectrica: Suministro de calor a hogares e industrias  
*por Bela J. Csik y Juergen Kupitz / 21*

Aplicaciones de la energía nuclear: Desalación de agua de mar  
*por Toshio Konishi / 26*

Futuros sistemas de energía nuclear: Generar electricidad, quemando desechos  
*por Viktor Arkhipov / 30*

**Informe temático** Los gases de efecto de invernadero y el ciclo del combustible nuclear: ¿qué emisiones se generan?  
*por Martin Taylor / 34*

**Actualidades** *La cooperación técnica por dentro: La seguridad nuclear y radiológica*

**Secciones fijas** Resumen internacional de noticias/Datos estadísticos / **37**

Bases de datos en línea / **48**

Keep abreast with IAEA publications (Publicaciones del OIEA) / **50**

Posts announced by the IAEA (Anuncio de puestos del OIEA) / **52**

Conferencias y seminarios del OIEA/Programas coordinados de investigación / **56**

# Desarrollo de la energía nucleoelectrica: desafíos y estrategias globales

*El actual modelo mundial de suministro energético no es sostenible, y en el futuro se deberá utilizar una mezcla de combustibles por razones ambientales y de otra índole*

por Victor M. Mourogov

Cinco años después de la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, los progresos para el logro de los objetivos del desarrollo sostenible se examinaron en el período extraordinario de sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas que tuvo lugar en junio de 1997. El desarrollo sostenible está vinculado a la protección del medio ambiente y, por tanto, sin duda alguna, al suministro y uso de energía.

Con la combinación de la industrialización, el desarrollo económico y la duplicación proyectada de la población mundial en el siglo XXI, es seguro que el consumo de energía mundial continuará aumentando. El crecimiento se deberá fundamentalmente a la demanda de los países en desarrollo, que en la actualidad cuentan con el 75% de la población mundial aunque solo consumen el 31% de toda la energía producida a nivel mundial. La conservación y el mejoramiento de la eficiencia en el uso de la energía limitarán la demanda pero no la detendrán. El Consejo Mundial de Energía (CME) prevé un crecimiento de la demanda de energía entre el 50% y el 300% durante los próximos 50 años, en dependencia de los factores ambientales y económicos.

## La cuestión de la energía mundial

En vistas de la demanda de energía prevista, el actual modelo mundial de suministro de energía no es sostenible. Existe un firme consenso internacional respecto de la necesidad de controlar la excesiva dependencia de los combustibles fósiles, que hoy día representan casi el 90% del suministro total de energía. Su uso incide de manera negativa en la atmósfera debido a las emisiones de gases de invernadero y otros gases nocivos y contaminantes tóxicos.

Si bien no está exenta de problemas, se reconoce que la energía nucleoelectrica tiene una evidente ventaja que ayuda a lograr los objetivos del desarrollo sostenible, ya que toda su cadena energética, desde la producción del combustible hasta la eva-

cuación de los desechos, emite una limitada cantidad de gases de invernadero y otros contaminantes. En la actualidad, la energía nucleoelectrica suministra el 6% aproximadamente de la energía mundial y el 17% del suministro mundial de electricidad. Hay cerca de 480 centrales nucleares en funcionamiento o en construcción en 32 países.

A pesar de ello, no existe consenso internacional respecto de la futura función de la energía nucleoelectrica. Las políticas de unos cuantos países se oponen absolutamente a la energía nucleoelectrica. Si bien algunos países están decididamente a favor, la mayoría se muestra pasiva, en el mejor de los casos. Aunque la energía nucleoelectrica se ha estancado en Europa y América del Norte, sigue extendiéndose por Asia. Los países de Europa oriental y la antigua Unión Soviética, muy dependientes de la energía nucleoelectrica, afrontan serias dificultades debido a una falla en la infraestructura necesaria para mantener las centrales nucleares en funcionamiento.

En el futuro se utilizará una mezcla de fuentes energéticas. La composición de esta mezcla no puede definirse con precisión —dependerá no sólo de consideraciones ambientales, sino también de factores técnicos, políticos y de mercado. Se espera que durante muchos años los combustibles fósiles continúen desempeñando una importante función en la producción de energía. Con el respaldo adecuado, la participación de los nuevos suministros de energía renovable deberá incrementarse. El CME espera que en los próximos 25 años las fuentes de energía renovables tengan una participación entre el 5% y el 8% en la energía mundial. La participación de la energía hidroelectrica probablemente se mantenga en el orden actual del 6%.

## Las posibilidades de la energía nucleoelectrica

El desafío que enfrentan los círculos nucleares es asegurar que la energía nucleoelectrica siga siendo una opción viable para satisfacer las necesidades energéticas del próximo siglo. Esta podría ser el principal proveedor de electricidad para la

El Sr. Mourogov es Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Energía Nuclear.

carga básica y para el transporte urbano en las megalópolis. Asimismo, puede desempeñar una función en aplicaciones no eléctricas como la calefacción urbana, las industrias de transformación, el transporte marítimo, la desalación de agua de mar, la producción de hidrógeno, y en aplicaciones en zonas distantes. Puede contribuir de manera significativa a la seguridad del suministro energético y tiene posibilidades de convertirse en un recurso energético casi inagotable a largo plazo con el uso de reactores reproductores.

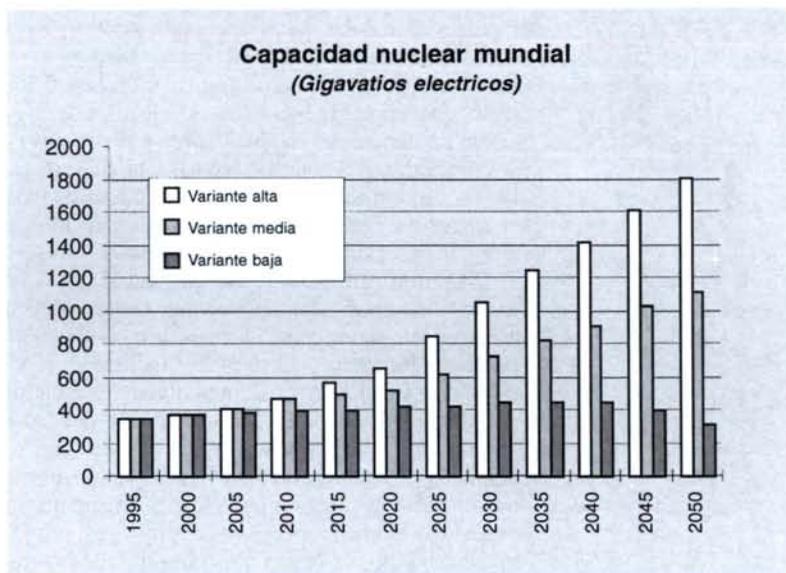
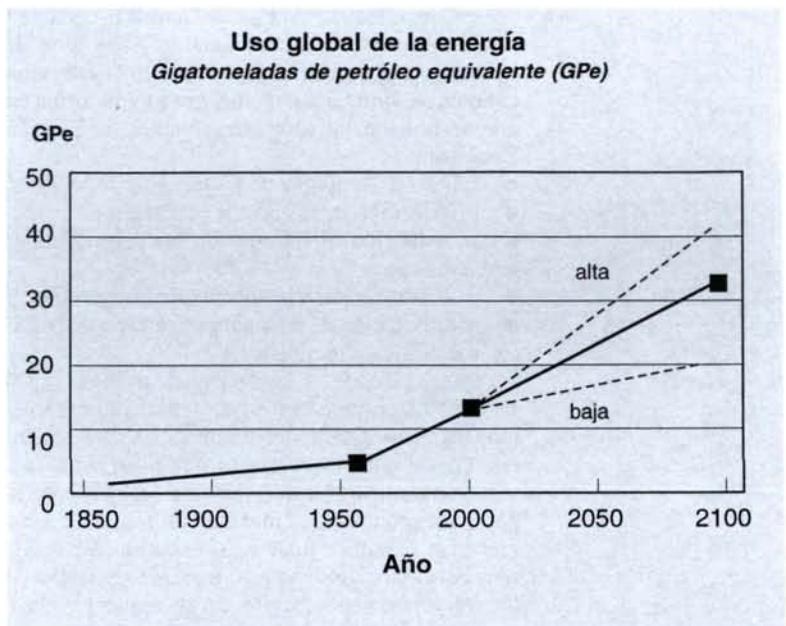
Sin embargo, no hay dudas de que la actual ausencia de respaldo público podría limitar la construcción de nuevas centrales. Será menester debatir abiertamente las inquietudes que han limitado la aceptación de la energía nucleoelectrica. Pero, las repercusiones en el medio ambiente y la salud conjuntamente con los graves accidentes y la evacuación de los desechos no deberán debatirse de forma aislada, como sucede con demasiada frecuencia. Como ninguna fuente de energía está exenta de riesgos, se deben examinar de manera exhaustiva las repercusiones comparativas de los diversos sistemas energéticos. Los estudios sobre las cadenas energéticas nucleares, fósiles y las fuentes renovables demuestran que hay problemas y repercusiones importantes en todas las opciones.

Las evaluaciones comparativas fidedignas ilustran las posibilidades de la energía nucleoelectrica de reducir el daño relacionado con la energía en la salud y el medio ambiente –puede demostrarse que es uno de los medios ecológicamente más aceptables para generar electricidad. Si en todos los análisis se incluyeran factores externos como los costos sociales del cambio climático, el daño ecológico y los efectos para la salud, se evidenciaría la clara ventaja de la energía nucleoelectrica sobre los combustibles fósiles, y aumentaría la competitividad económica de ésta en un entorno financiero radicalmente cambiante.

El presente artículo destaca los factores clave que determinarán las estrategias energéticas óptimas de hoy y de mañana. Aborda los métodos para utilizar el elevado contenido energético potencial del uranio. Se analiza el uso del plutonio como combustible en los reactores nucleares al igual que las posibilidades futuras del ciclo del combustible del torio. Se exponen diversas estrategias orientadas a incrementar la viabilidad económica de la energía nucleoelectrica. Se examinan medios tecnológicos que permiten minimizar aún más las repercusiones ambientales y aumentar la seguridad, ya que éstas constituyen un factor indispensable para la aceptación por el público. Asimismo, se abordan los avances previstos para mediados de siglo en las tecnologías de los reactores nucleares y del ciclo del combustible.

**Estrategias relacionadas con el ciclo del combustible y los reactores: Una mirada a factores clave**

Si a mediados del próximo siglo se espera un aporte significativo de la energía nucleoelectrica, se necesitaría aumentar mucho la capacidad insta-



lada, y un promedio de hasta 20 nuevas unidades anuales. Actualmente se deben abordar una serie de problemas relacionados con el ciclo del combustible y el tipo de reactor deseado a fin de crear las mejores condiciones para acrecentar la función de la energía nucleoelectrica.

El último Simposio del OIEA sobre estrategias relacionadas con el ciclo del combustible nuclear y los reactores –adaptación a las nuevas realidades (celebrado en Viena, Austria, del 2 al 6 de junio de 1997) abordó un amplio espectro de temas, entre ellos, los originados por la reducción en el crecimiento de la energía nucleoelectrica y las grandes cantidades de plutonio que se espera recuperar con el desmantelamiento de las ojivas nucleares. Uno de los documentos temáticos se centró en específico en las estrategias futuras relacionadas con el ciclo del combustible y los reactores.

En un mercado energético mundial cada vez más competitivo e internacional hay una serie de factores clave que influirán no sólo en la selección energética, sino también en el grado y la forma en que se utilicen las diferentes fuentes de energía. Estas son:

- la utilización óptima de los recursos disponibles;
- la reducción de los costos generales;
- la reducción al mínimo de las repercusiones ambientales;
- la demostración convincente de la seguridad; y
- la satisfacción de requisitos en materia de políticas nacionales y mundiales.

En el caso de la energía nuclear, estos cinco factores determinarán las estrategias futuras relacionadas con el ciclo del combustible y los reactores. Puesto que el objetivo es optimizar estos factores, se analizarán sucesivamente bajo los epígrafes correspondientes: máxima utilización de los recursos; máximos beneficios económicos; máximos beneficios ambientales; máxima seguridad de los reactores; y satisfacción de los requisitos clave en materia de política.

Si bien obtener la aceptación pública no se ha incluido como factor clave, en realidad es uno de los factores esenciales para la energía nuclear. Será necesario comunicar de una forma abierta y convincente al público y a las autoridades los beneficios reales que reporta la energía nucleoelectrica. La creciente renuencia del público, sobre todo en países desarrollados, a aceptar las nuevas y grandes instalaciones industriales repercute en la política de todo el sector energético e influye en la ejecución de todos los proyectos de centrales nucleares.

**Máxima utilización de los recursos.** Los recursos de uranio conocidos y por conocer deben asegurar un suministro adecuado de combustible nuclear a mediano y corto plazos incluso en reactores que funcionan fundamentalmente en ciclos del combustible abierto con evacuación del combustible gastado. Sin embargo, puesto que la demanda de uranio aumenta y las reservas disminuyen para satisfacer las necesidades de una mayor capacidad nuclear, se ejercerán presiones económicas para que se haga un uso óptimo del uranio, de manera que se emplee todo su contenido energético potencial por cantidad unitaria de mineral. Se dispone de diferentes medios para lograr esto durante el proceso de enriquecimiento y en la etapa de explotación. A más largo plazo, se necesitará el reciclaje del material fisionable generado en los reactores térmicos y la introducción de reactores reproductores rápidos, y el torio podría ser también un recurso energético valioso.

**Ciclo del combustible del uranio.** La tecnología de la separación isotópica permite reducir el contenido de uranio 235 en las colas de desecho del proceso de enriquecimiento. Ello trae como resultado la extracción de más del 0,7% de la proporción original de este isótopo fisionable que existe en el mineral de uranio natural compuesto principalmente por uranio 238 no fisionable. En la etapa de explotación, los ciclos con grados más elevados de quemado del combustible emplearán más cantidad del uranio 235

contenido en los elementos de combustibles del uranio enriquecido—con la consiguiente reducción de la cantidad de combustible gastado en relación con la energía producida.

Sin embargo, la reelaboración, y no la evacuación, del combustible gastado permitiría el reciclaje del plutonio generado mediante el combustible de óxidos mixtos en los reactores térmicos y en los reactores reproductores rápidos, y también obtener uranio con sus isótopos fisionables contenidos en el combustible gastado. La reelaboración aumentaría de manera considerable las posibilidades energéticas de los actuales recursos de uranio—en teoría, por un factor de aproximadamente 70—y también reduciría mucho la cantidad de molestos elementos radiactivos de período largo en los restantes desechos. Con mucho, el reciclaje permite utilizar mejor los recursos de uranio disponibles. La actual política de almacenamiento provisional del combustible gastado antes de la evacuación definitiva mantiene la posibilidad de una futura reelaboración con miras a extraer el material fisionable, en especial plutonio.

**Ciclo del combustible del torio.** Aunque es probable que el uranio siga siendo el principal recurso natural de los sistemas nucleoelectricos, es posible utilizar el torio fértil como material de alimentación a más largo plazo. El uranio contiene un isótopo fisionable, pero no así el torio. Para iniciar el ciclo del combustible, es necesario enriquecerlo con uranio 235 fisionable, o con plutonio. El uranio 233 que posteriormente se genera en el reactor a partir de la conversión del torio es fisionable. El ciclo del combustible del torio, con sus temperaturas más bajas de funcionamiento del combustible, presenta ventajas en el comportamiento físico de los elementos combustibles y también con respecto a las características de la física del núcleo.

La existencia de torio autóctono en una serie de países que poseen yacimientos de uranio limitados lo convertirá en una opción atractiva. Varios países han desarrollado ciclos del combustible basados en el torio, a saber, Estados Unidos, Alemania, India, Reino Unido, Japón y Canadá. Los tres primeros han logrado demostrar su utilización en reactores de potencia. El ciclo del combustible del torio puede emplearse en todos los tipos de sistemas existentes—en reactores de agua ligera y pesada y en reactores rápidos y de gas de alta temperatura—sin necesidad de introducir grandes cambios en el diseño del reactor ni en los conceptos de seguridad.

Sin embargo, el conocimiento actual sobre la extensión de los recursos de torio en el mundo es limitado, aunque se han encontrado grandes yacimientos con mineral de alta ley. La extracción de torio de los minerales es un proceso un tanto difícil, y su economía no se ha establecido. También hay dificultades para separar el uranio 233 del combustible gastado. Sin embargo, el desecho restante es mucho más fácil de tratar que el desecho procedente del actual ciclo del combustible basado en el uranio sin reelaboración.

**Máximos beneficios económicos.** Como los costos del combustible son relativamente bajos, la

reducción de los costos generales mediante la reducción de los gastos de desarrollo, la selección del emplazamiento, la construcción, la explotación y la financiación inicial es esencial para la viabilidad económica global de la energía nuclear. La eliminación de las incertidumbres y la variabilidad en los requisitos para la concesión de licencias, en especial antes de la puesta en servicio, permitiría elaborar estrategias inversionistas y financieras más predecibles.

**Gastos de desarrollo.** Es probable que los elevados gastos propios del desarrollo de nuevos diseños traigan como resultado el mejoramiento evolutivo, a más bajo costo, de los actuales sistemas de reactores y no la introducción, más costosa, de nuevos diseños y tecnologías revolucionarias. La financiación oficial para el desarrollo ha disminuido de manera sustancial con el decursar de los años y, al igual que sucede con todas las tecnologías de eficacia comprobada, la fuente de financiación se desplazará por completo hacia el sector privado.

**Gastos de capital.** La necesidad de reducir los elevados gastos de capital iniciales alentará a que se hagan economías en la selección del emplazamiento y la construcción. Ello se traducirá en emplazamientos de unidades múltiples en las ubicaciones existentes, que también harán que se aprovechen al máximo las inversiones de infraestructura. Se pondrá más énfasis en las centrales con sistemas y componentes estandarizados como los empleados con éxito en Francia. El tamaño de las centrales y los niveles de potencia unitaria se equiparán con las necesidades regionales y la selección de los proveedores se fundamentará en la economía a largo plazo y no en las ventajas a corto plazo.

**Explotación.** En la esfera de la explotación, la reducción de los costos exigirá una disponibilidad y factores de carga elevados mediante sistemas de alta calidad, largos períodos del ciclo del combustible del núcleo, tiempos de parada cortos y la capacidad para restablecer rápidamente la potencia. Las organizaciones independientes que ofrecen diversos servicios para las centrales y el ciclo del combustible evolucionarán continuamente, sobre todo a nivel regional.

**Concesión de licencias.** Algunos de los elevados gastos de capital de las nuevas instalaciones y los prolongados períodos de construcción se deben a las incertidumbres y las exigencias en los requisitos para la concesión de licencias. Los inciertos requisitos y los gastos relacionados con la gestión de desechos y el cierre definitivo desalientan las inversiones. Estos factores pueden llevar a la racionalización del proceso de concesión de licencias, a una mayor certidumbre en la reglamentación y a la consiguiente reducción del tiempo que media entre la selección del emplazamiento y la explotación. Los requisitos relacionados con los desechos y el cierre definitivo basados en las evaluaciones comparativas de otras prácticas industriales pueden conducir a un enfoque más práctico respecto del material radiactivo sin comprometer la seguridad.

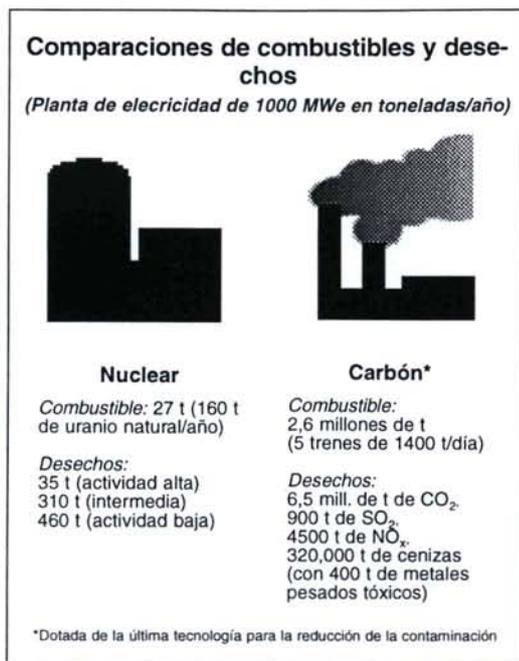
**Financiación.** Se necesitará aplicar estrategias de inversión nuevas e innovadoras para cumplir los objetivos inversionistas en evolución. En el marco de los acuerdos de financiación multinacionales podría resultar más fácil obtener las grandes cantidades de capital inicial requeridas para los proyectos nucleoelectricos. Los acuerdos de construcción, explotación y transferencia se pueden utilizar en los países en desarrollo que prevean la obtención de rendimientos adecuados sobre inversiones no nacionales antes del cambio de propiedad. Las estrategias de incremento de inversiones mediante sistemas energéticos modulares también reducirían las necesidades de financiación iniciales.

**Máximos beneficios ambientales.** Si bien la energía nuclear tiene ventajas evidentes respecto de los actuales sistemas de quemado de fósiles —en cuanto al combustible consumido, los contaminantes emitidos y los desechos generados— seguir reduciendo las preocupaciones ambientales puede influir de manera significativa en la actitud del público.

Como la repercusión global del ciclo del combustible nuclear sobre la salud y el medio ambiente es insignificante, la atención se deberá concentrar en el mejoramiento de las técnicas para el tratamiento de desechos radiactivos. Ello ayudaría al logro de los objetivos internacionales del desarrollo sostenible y, al mismo tiempo, aumentaría la competitividad respecto de otras fuentes energéticas que se necesitarán para tratar adecuadamente sus desechos. Los sistemas de reactores y los ciclos del combustible pueden ajustarse a fin de minimizar la generación de desechos. Se establecerán requisitos de diseño para reducir las cantidades de desechos y se usarán técnicas para la reducción del volumen como la ultracompactación.

Ya se están desarrollando tecnologías avanzadas para contener e inmovilizar los desechos de actividad alta. Pero lo que es más importante aún, actualmente se cuenta con programas para demostrar la conveniencia de la evacuación subterránea profunda de los desechos de actividad alta. La construcción y explotación de un repositorio geológico en el siguiente decenio podría reducir las inquietudes del público respecto de la seguridad y los gastos de evacuación. De ser necesario, los isótopos de período largo (actínidos) que son radiactivos durante muchos miles de años se pueden transmutar en reactores quemadores de actínidos. Ya existe la tecnología necesaria para estos reactores y para sus plantas de separación química conexas. Como ya se ha señalado, el ciclo del combustible del torio produce menos isótopos de período largo y exige menos requisitos para la evacuación.

**Máxima seguridad de los reactores.** Con más de 430 reactores en explotación durante un promedio de más de 20 años, la energía nucleoelectrica, en términos generales, tiene un excelente historial en materia de seguridad. Sin embargo, el accidente de Chernobil, ocurrido en 1986, demostró que un accidente nuclear muy grave puede provocar la contaminación radiactiva nacional y regional. Si bien la seguridad y las repercu-



siones en el medio ambiente se han convertido en un tema fundamental para todas las fuentes energéticas, muchos sectores del público en general consideran que la energía nucleoelectrica es particular e intrínsecamente peligrosa. Las preocupaciones por la seguridad unidas a los requisitos de reglamentación conexos, seguirán a corto plazo, influyendo poderosamente en el desarrollo de la energía nucleoelectrica. Para reducir la magnitud de los accidentes reales y posibles, en las nuevas instalaciones se aplicará una serie de enfoques.

Las barreras de extraordinaria eficacia (como las de doble contención) reducirán la probabilidad de las consecuencias de accidentes radiológicos significativos fuera del emplazamiento a niveles extremadamente bajos, eliminando la necesidad de adoptar planes de acción de emergencia. Asimismo, el mejoramiento de la integridad de la vasija del reactor y de los sistemas del reactor reducirán la probabilidad de consecuencias in situ.

La colaboración internacional proveerá diseños de reactores y sistemas que incorporarán las normas de ingeniería y seguridad internacionalmente aceptadas. Contribuirá a garantizar la seguridad a nivel mundial y fomentará la concesión de licencias en el país de origen como base aceptable para la concesión de licencias nacionales a reactores importados. Los procesos y diseños de las centrales son más intrínsecamente seguros al incorporarles características de la seguridad pasiva y no sistemas de protección activa. Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas que utilizan combustible de cerámica de grafito recubierto de cerámica pueden limitar las posibilidades de liberación de material radiactivo y convertirse en una opción viable.

El desarrollo permanente de una sólida cultura mundial de la seguridad nuclear que sea resultado de actividades de colaboración internacional enca-

minadas a fortalecer la seguridad mundial contribuiría a crear una conciencia pública sobre el decidido compromiso internacional de garantizar la seguridad. En el contexto de lo que en la actualidad evidentemente se considera un régimen de seguridad nuclear internacional ya existe una amplia gama de acuerdos internacionales, normas de seguridad no vinculantes y servicios internacionales de consultoría y revisión. Componentes muy evidentes son la Convención sobre Seguridad Nuclear, que entró en vigor en octubre de 1996, y cuyas Partes Contratantes acordaron recientemente el proceso de revisión para la aplicación de la Convención; y la Convención mixta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, que se espera sea aprobada en la conferencia diplomática del año en curso.

Es indiscutible que la prueba más convincente de seguridad se tendrá mediante el comportamiento seguro de las centrales existentes y la prevención de cualquier incidente de envergadura en el futuro.

**Satisfacción de los requisitos clave en materia de política.** La independencia energética juntamente con las preocupaciones sobre la no proliferación y el excedente de plutonio del sector militar son prioridades que figuran en los primeros lugares de la lista de factores normativos a nivel nacional e internacional que influyen mucho en la opción nuclear.

En un mundo político, la independencia energética mediante la seguridad del suministro energético y la mezcla balanceada de fuentes de energía son intereses nacionales esenciales. Con la energía nucleoelectrica, las preocupaciones por la seguridad del suministro se reducen ya que los inventarios estratégicos adecuados se pueden establecer con relativa facilidad y con bajos costos financieros. La actual mezcla energética mundial tiene un componente fósil casi del 90%. Evidentemente, donde haya carencia de recursos de combustibles fósiles autóctonos, la energía nuclear puede contribuir de manera sustancial a la mezcla energética al igual que sucede en Francia, la República de Corea y el Japón.

La posibilidad de que los materiales y tecnologías nucleares sean desviados para la fabricación de armas nucleares es una preocupación válida. La comunidad internacional ha reconocido los riesgos de la proliferación y se dispone de instrumentos para evitar la desviación de materiales fisionables, como, por ejemplo, el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares y los acuerdos de salvaguardias conexos concertados con el OIEA, así como varios otros acuerdos multilaterales. Para reducir aún más los riesgos de la proliferación, se están realizando actividades en materia de diseño de reactores resistentes a la desviación y de ciclos del combustible que generan materiales fisionables no aptos para armamentos.

Respecto de los actuales silos de plutonio del sector militar, existen propuestas de que se utilicen en combustibles de óxidos mixtos en la actual generación de reactores de agua. La aplicación de una

estrategia de utilización de un reactor reproductor rápido reduciría el silo de plutonio que ahora existe en el combustible gastado y, a largo plazo, podría eliminar finalmente su acumulación.

### **Dirección de los programas del OIEA relacionados con el desarrollo de la energía nucleoelectrónica**

Teniendo en cuenta la actual situación de la energía nuclear en el mundo, es menester adoptar una iniciativa más eficaz a nivel internacional a fin de obtener los beneficios potenciales de la tecnología. El Organismo continúa desempeñando una función catalizadora en la coordinación de las acciones, con un amplio espectro de cuestiones relacionadas con la energía, que llevan a cabo los Estados Miembros y diferentes organizaciones internacionales o especializadas. Los programas y actividades del OIEA se describirán bajo los siguientes epígrafes: energía nucleoelectrónica, ciclo del combustible nuclear, tecnología para la gestión de desechos y evaluación comparativa de las fuentes energéticas.

Un aspecto que se subraya en el trabajo futuro es el fortalecimiento del compromiso internacional con las operaciones nucleares seguras mediante acuerdos jurídicos, normas de seguridad y servicios de expertos conexos. (*Véase el recuadro.*) En la Declaración de la Cumbre de Moscú, celebrada en abril de 1996, se reiteró que la seguridad es la principal prioridad en las actividades de la esfera nuclear. Además, se espera que los objetivos de seguridad continuarán aumentando y ello exigirá un esfuerzo y vigilancia permanentes de parte del OIEA y sus Estados Miembros a fin de asegurar que se mantengan los niveles adecuados.

**Energía nucleoelectrónica.** Los esfuerzos del OIEA en materia de energía nucleoelectrónica se centrarán en la contribución de la energía nuclear al desarrollo sostenible y se pondrá énfasis en:

- la promoción de la adopción de las medidas para el diseño y la explotación necesarias para lograr un desarrollo seguro de la energía nucleoelectrónica;
- la prestación de asistencia a los Estados Miembros en desarrollo en la planificación y aplicación de programas nucleoelectrónicos y en el mejoramiento de la gestión de proyectos nucleoelectrónicos y centrales en explotación;
- el mejoramiento del comportamiento y la fiabilidad de las operaciones de centrales nucleares mediante el intercambio de experiencia operacional e información a nivel mundial en todas las esferas, incluida la capacitación y cualificación del personal.

Uno de los mecanismos utilizados por el OIEA para mantenerse al tanto de los adelantos tecnológicos en una esfera específica es la constitución de los grupos internacionales de trabajo (GIT) de la esfera de que se trate. (*Véase el recuadro.*) Estos grupos están compuestos por expertos superiores de diferentes Estados Miembros. Los GIT se reúnen periódicamente para examinar la situación actual y

### **Marco mundial de seguridad nuclear**

Se han aprobado acuerdos y convenciones internacionales de fuerza obligatoria que abarcan una gama de temas, a saber:

- *Responsabilidad civil por daños nucleares*
- *Protección física del material nuclear*
- *Pronta notificación de accidentes nucleares*
- *Asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica*
- *Seguridad nuclear*
- *Seguridad de la gestión del combustible gastado y seguridad de la gestión de desechos radiactivos*

Entre las normas comunes de seguridad nuclear y radiológica sin fuerza obligatoria figuran:

- *Normas básicas de seguridad*
- *Nociones fundamentales de seguridad*
- *Programa de normas de seguridad nuclear*
- *Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*
- *Normas de seguridad para la gestión de desechos radiactivos*
- *Guías y prácticas de seguridad*

### **Grupos internacionales de trabajo en esferas de la energía nucleoelectrónica**

- *Tecnologías avanzadas para reactores refrigerados por agua ligera*
- *Tecnologías avanzadas para reactores refrigerados por agua pesada*
- *Reactores rápidos*
- *Reactores de alta temperatura refrigerados por gas*
- *Gestión de la vida útil de las centrales nucleares*
- *Control e instrumentación de las centrales nucleares*
- *Capacitación y cualificación del personal de centrales nucleares*
- *Comportamiento y tecnología del combustible de reactores de agua*

las direcciones futuras de las actividades en la esfera de que se trate y asesoran al Organismo respecto de los programas de actividades necesarias para satisfacer las necesidades de los Estados Miembros.

Mediante los GIT sobre tecnologías avanzadas de reactores, el Organismo fomentará el intercambio de información internacional sobre tecnología no comercial e investigación cooperativa. Otra importante función será ayudar a los países en la preservación de datos tecnológicos clave sobre sistemas de energía nucleoelectrónica avanzados. El Organismo también continuará sirviendo de foro para el examen de la información sobre el desarrollo de sistemas innovadores de energía nuclear como:

- reactores nucleares avanzados con características de seguridad pasiva;
- reactores alimentados con torio;
- reactores rápidos refrigerados con plomo o plomo/bismuto;
- conceptos de aceleradores y de fusión/fisión híbrida.

Una nueva esfera de actividades se relaciona con la actual necesidad de examinar la posibilidad

del uso con fines civiles de las tecnologías nucleares militares desarrolladas para aplicaciones navales y espaciales. Otra esfera se refiere a la desalación. Un acontecimiento importante fue el Simposio internacional sobre desalación de agua de mar mediante la energía nuclear celebrado en mayo de 1997 en la República de Corea, en que se examinó la experiencia al respecto. Los resultados de este simposio se utilizarán para definir con más precisión el trabajo del OIEA en esta esfera.

**Ciclo del combustible nuclear.** Entre los temas cruciales abordados en el recién celebrado simposio sobre el ciclo del combustible nuclear del OIEA se incluyó la evaluación comparativa de diferentes opciones para el desarrollo del ciclo del combustible, la gestión del combustible gastado y el plutonio, y la evacuación de desechos radiactivos. El volumen de combustible gastado en almacenamiento provisional aumenta tanto en reactores de potencia como de investigación, y el almacenamiento a largo plazo del combustible gastado en instalaciones de envejecimiento se convertirá en un tema cada vez más importante independientemente de la opción de gestión que se seleccione. Se destacará la identificación y reducción de las vulnerabilidades del medio ambiente, la salud y la seguridad del combustible gastado en envejecimiento, y se ampliarán las actividades relacionadas con el intercambio de información, la experiencia y el asesoramiento sobre las soluciones técnicas en esta esfera.

Respecto de la gestión del plutonio procedente del combustible gastado y las ojivas desmanteladas, crece cada vez más el interés por la adopción de nuevas medidas a nivel internacional para abordar las cuestiones relacionadas con su producción, transporte, almacenamiento y evacuación.

**Tecnología para la gestión de desechos.** Las actividades relacionadas con la gestión de desechos radiactivos se centrarán en los siguientes aspectos:

- recopilación, evaluación e intercambio de información sobre las estrategias y tecnologías para la gestión de desechos;
- orientación técnica general, asistencia en la transferencia de tecnología, y promoción de la colaboración internacional;
- examen de las perspectivas a largo plazo de las instalaciones regionales para la gestión de desechos a fin de ofrecer nuevas oportunidades a los países en desarrollo para que resuelvan sus problemas de gestión de desechos de una forma eficaz en función de los costos.

**Evaluación comparativa de las distintas fuentes energéticas.** El programa del OIEA sobre evaluación comparativa de las fuentes energéticas se centrará en:

- la evaluación comparativa de los aspectos económicos, sanitarios y ambientales de los sistemas energéticos y la introducción de los resultados en el proceso de formulación de una política energética y en la planificación de la ampliación del sistema de electricidad;
- la ampliación de la capacidad de los Estados Miembros para incorporar consideraciones sanita-

rias y ambientales en el proceso de adopción de decisiones en el sector energético;

- el establecimiento de una base que defina las estrategias óptimas para el desarrollo del sector energético, en correspondencia con los objetivos del desarrollo sostenible.

Un factor clave es el desarrollo y la difusión de las bases de datos y las metodologías para la evaluación comparativa de las fuentes energéticas atendiendo a su repercusión económica, sanitaria y ambiental. Se examinará también la forma de abordar las cuestiones relativas a la demanda y la oferta de energía fuera del sector de la electricidad.

### Logro de los objetivos ambientales

Los antecedentes sobre la utilización de la energía en el mundo indican que la actual dependencia de los combustibles fósiles no es sostenible. La energía nucleoelectrica puede mitigar las repercusiones perjudiciales para el medio ambiente del uso de la energía. Con una función cada vez mayor en la esfera nuclear, los tipos de reactores que predominarán a mediados de siglo serán los reactores de agua ligera y de agua pesada, que tienen mejores sistemas de rentabilidad y seguridad. Los reactores de alta temperatura refrigerados por gas pueden acrecentar su función, en especial en aplicaciones especializadas. Los reactores alimentados con torio tendrían una función marginal, ya que es poco probable que se desarrolle la infraestructura de apoyo para su uso. Continuarán desplegándose esfuerzos para preservar las posibilidades de los reactores reproductores rápidos y podrán introducirse gradualmente a mediados de siglo.

Será menester desarrollar nuevos métodos financieros a fin de hacer que la energía nuclear sea más competitiva desde el punto de vista económico. Además, habrá que tomar medidas para conquistar la aceptación pública. La idoneidad de las políticas de gestión de desechos y la evacuación de desechos de actividad alta se demostrará mediante la selección y el uso de repositorios geológicamente aceptables. Para mantener y mejorar la seguridad y el historial de comportamiento de la energía nucleoelectrica, será necesario continuar la vigilancia para aumentar la seguridad mediante el diseño, y aplicar acuerdos eficaces en materia de cultura de la seguridad operacional y la seguridad internacional.

El OIEA tendrá que desempeñar una función cada vez más importante en la coordinación de las actividades de los Estados Miembros y otras organizaciones internacionales a fin de obtener los beneficios potenciales de la energía nuclear para el desarrollo sostenible del mundo. Un elemento importante de los programas será mejorar la cooperación regional e internacional y compartir las instalaciones de infraestructura, los gastos de desarrollo, y la experiencia operacional con el objetivo de mantener el desarrollo de la tecnología nuclear de forma segura, fiable y económica.

# Comportamiento de las centrales nucleares: Apoyando iniciativas para el progreso

*El comportamiento de las centrales nucleares ha venido mejorando de manera sostenida y los países ponen en práctica iniciativas para garantizar que el avance no se detenga*

La energía nucleoelectrica es en la actualidad, en muchos países, un avanzado componente de la mezcla energética. Para fortalecer su papel, las autoridades nucleares nacionales hacen más hincapié en perfeccionar todos los aspectos del comportamiento de las centrales, lo que no sólo redundará en el aumento de la eficiencia en la producción de electricidad, sino también inspirará más confianza en la seguridad, la competitividad económica y las ventajas de las centrales nucleares desde el punto de vista ambiental.

Uno de los indicadores básicos del comportamiento técnico y económico de una central eléctrica es el que se conoce como factor de disponibilidad de energía (FDE). Este factor es el coeficiente de la generación neta de energía de una central en un período dado, expresado como el porcentaje de la energía máxima que se habría podido producir si la central hubiese estado funcionando ininterrumpidamente durante ese período. Según los datos notificados al Sistema de Información sobre Reactores de Potencia (SIRP) del OIEA, en el último decenio, ha habido una mejora sostenida del FDE de las centrales nucleares del mundo, el que aumentó del 70,1%, en 1989, al 76,8%, en 1995. (Véase el gráfico de la página 10).

Otro indicador del comportamiento es el relacionado con las denominadas pérdidas de energía. El grado en que éstas puedan reducirse al mínimo es un indicador de la eficiencia del comportamiento de la central. Las pérdidas de energía pueden ser planeadas (es decir, controladas por la dirección de la central), o no planeadas, y, por lo general, tienen que ver, por ejemplo, con las paradas de reabastecimiento de combustible, el mantenimiento, o los ensayos. En los últimos tres años las pérdidas de energía han venido disminuyendo en las centrales nucleares

de todo el mundo, evidencia del continuo perfeccionamiento de las actividades de mantenimiento y gestión de las centrales.

En general, estas mejoras en el comportamiento y la gestión pueden atribuirse, en gran medida, al enriquecimiento de la experiencia de las compañías eléctricas, aunque también han desempeñado un papel importante diversas iniciativas emprendidas por algunos países que colaboran asiduamente mediante programas técnicos del OIEA.

## Iniciativas nacionales para mejorar el comportamiento y la seguridad

Muchas iniciativas de los Estados Miembros del Organismo se han centrado en mejorar la explotación, el mantenimiento y la gestión de las centrales nucleares, mejoras que también se traducen en el aumento de los niveles de seguridad de esas centrales. Las iniciativas pueden dividirse en cinco esferas, que se describen a continuación:

**Aumento de la producción.** Adopción de medidas para mantener la central en buenas condiciones materiales mediante la creación de elevadas expectativas y una actitud de cero tolerancia con los defectos que pueden corregirse de inmediato; la reducción del tiempo de las paradas programadas mediante una planificación más eficaz; la realización del mantenimiento en línea, cuando proceda, a fin de disminuir la duración y el costo de las paradas programadas; y la reducción de la frecuencia de las paradas forzadas, con la ayuda de medidas como programas de modificación/mejoramiento de gran alcance, el uso de equipo de observación moderno, la capacitación del personal de la central, y el aprovechamiento de la experiencia de otras unidades similares.

**Reducción del volumen de trabajo.** Adopción de medidas destinadas a evitar cargas reglamentarias innecesarias modificando o eliminando los requisitos superfluos; la supervisión del estado del equipo de la central como base para optimizar el mantenimiento preventivo; la supervisión del mantenimiento y la aplicación de técnicas de análisis

por Boris  
Gueorguiev y  
K.V. Mahadeva  
Rao

El Sr. Gueorguiev es Jefe de la Sección de Ingeniería Nucleoelectrica, División de Energía Nucleoelectrica y Ciclo del Combustible del OIEA, y el Sr. Rao es funcionario de la Sección. También hicieron contribuciones al artículo los señores Fausto Calori, Nestor Pieroni, Thomas Mazour, Vladimir Neboyan y la Sra. Rejane de Spiegelberg Planer.

### Factores de disponibilidad de energía de las centrales nucleares del mundo

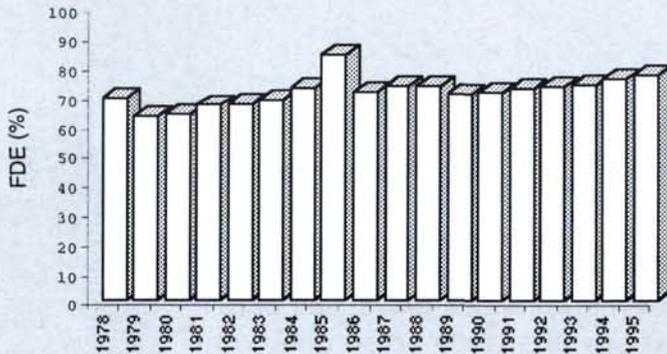


Foto: Las centrales nucleares proporcionan alrededor del 17 % de toda la electricidad mundial. (Cortesía: Gundremmingen, Alemania)

que permitan identificar las necesidades del equipo de acuerdo con las consecuencias de las fallas para la seguridad y las operaciones, así como el mecanismo de degradación que las provoca.

**Mejoramiento de los procesos de trabajo.** Mejor planificación y programación a corto, mediano y largo plazos; uso de sistemas computarizados de gestión de la información para apoyar la planificación del trabajo y conservación de datos sobre el expediente del equipo, los controles de costos y la contabilidad, incluida la gestión de las piezas de repuesto; aplicación de controles de trabajo progresivos que permitan adaptar el proceso de control del trabajo a la importancia y complejidad de cada actividad; y ensayos posteriores a la labor de mantenimiento para verificar si el comportamiento del equipo y los sistemas cumplen con el objetivo de diseño.

**Aumento de la productividad.** Aspecto relacionado con la actuación humana en lo tocante a la adopción de medidas tales como mejorar la competencia del personal, ajustar los procesos de trabajo para facilitar el desempeño del personal y el ejercicio de un liderazgo eficaz; perfeccionar el trabajo de equipo mediante la creación de grupos multidisciplinarios dentro de una estructura orgánica diseñada específicamente para reducir las interfaces y aumentar la satisfacción en el empleo y mejorar el estado de ánimo de los empleados; compartir diversos recursos humanos entre distintas dependencias y emplazamientos; intercambiar información y experiencia; compartir equipo costoso e inventarios de piezas de repuesto; compartir programas e instalaciones de capacitación; buscar de fuentes externas y contratar de servicios de apoyo necesarios para realizar labores de mantenimiento y explotación de las instalaciones, excluidas las operaciones y tareas de mantenimiento principales de una compañía eléctrica; mejorar la gestión para reducir las dosis de radiación ocupacional del personal, y minimizar la contaminación, así como el volumen de desechos radiactivos derivados de los trabajos de mantenimiento.

**Medición del comportamiento.** Establecimiento de parámetros de comportamiento objetivos, que puedan cumplirse y medirse, y que ten-



gan en cuenta los resultados y no los esfuerzos; el uso de procedimientos de referencia, incluidas la comparación del comportamiento del trabajo con el de la mejor compañía eléctrica, la identificación de las mejores prácticas y la aplicación de un programa dirigido a perfeccionar de manera continua el comportamiento.

Cabe destacar que estas esferas no se refieren de manera explícita a la seguridad y la garantía de calidad de las centrales, que, con toda razón, han sido objeto de atención considerable en las compañías nucleoelectricas. Se ha reconocido que la seguridad y la calidad son requisitos fundamentales de la utilización con éxito de la energía nucleoelectrica y son inseparables de todas y cada una de las actividades que realice el personal de las centrales nucleares. La experiencia ha demostrado que los esfuerzos dirigidos a aumentar la eficiencia y mejorar la eficacia de los programas de explotación y mantenimiento de las centrales nucleares, así como a elevar la calidad de su aplicación, también han redundado en el aumento de la seguridad y fiabilidad de los sistemas de las centrales.

### Foco de atención de las actividades del OIEA

En el plano internacional, el OIEA ha venido participando activamente en una serie de actividades en esferas clave relacionadas con el perfeccionamiento de las operaciones de las centrales nucleares, que incluyen las siguientes:

**Creación de programas de garantía de calidad eficaces.** La implantación de un programa de garantía de calidad (GC) eficaz es un instrumento esencial para lograr el mejoramiento sostenido del comportamiento de una central. El Organismo ha actualizado sus normas de seguridad, de manera que reflejen el concepto moderno de garantía de calidad basada en el comportamiento. Este trabajo se realizó en cinco años, en cooperación con los Estados Miembros y su resultado específico fue la versión revisada de las Normas de Seguridad Nuclear, Código de garantía de calidad y sus catorce Guías de seguridad conexas.

Durante el proceso de revisión, el OIEA se valió de la experiencia más reciente y de considerables recursos de países y de tres organizaciones, a saber, la Comisión Europea, el Foro Atómico Europeo y la Organización Internacional de Normalización. Todos los documentos fueron objeto de la revisión crítica de los Estados Miembros del OIEA antes de ser aprobados en marzo de 1996.

**Gestión de las actividades de adquisición en una instalación nuclear.** La gestión de los servicios y suministros de contratistas exige la aplicación de controles eficaces que garanticen calidad y seguridad. La experiencia ha demostrado que de otro modo pueden surgir dificultades. Este tema se ha analizado en el marco de los proyectos regionales de cooperación técnica que el OIEA ejecuta en América Latina, Asia y el Pacífico, y en Europa oriental, y se ha puesto de relieve en varias misiones realizadas en virtud del programa del Grupo de examen de la seguridad operacional (OSART) del OIEA.

Para responder a las necesidades existentes, el Organismo ha formulado una guía sobre las prácticas de gestión para controlar la calidad y la seguridad cuando se empleen proveedores y contratistas. También ha publicado un documento técnico sobre el tema destinado a directores superiores, directores de línea y supervisores de línea de las instalaciones nucleares.

**Gestión de la vida útil de la central.** A medida que el equipo y los principales sistemas de las centrales envejecen, la gestión y prolongación de la vida útil de una planta nuclear pasan a ser esferas de interés cada vez más importantes. Las actividades del OIEA tienen como objetivo facilitar el intercambio de información y experiencia para conocer y supervisar los mecanismos de envejecimiento que afectan a los sistemas y componentes principales, así como proporcionar orientación técnica.

En 1996, concluyó un amplio proyecto coordinado de investigación sobre la gestión de la vida útil de la tobera primaria de la vasija de presión del reactor. El trabajo incluyó un análisis del proceso de envejecimiento, los métodos de vigilancia del proceso, las medidas para mitigar sus consecuencias y la identificación de lagunas en los conocimientos de éste. Los resultados de los estudios permitieron determinar diferentes factores que afectan el comportamiento de los componentes. Ya se comenzó a trabajar en la creación de una base de datos internacional sobre gestión de la vida útil de las centrales nucleares y sus componentes principales. La primera parte se refiere a los materiales de las vasijas de presión de los reactores, y el primer conjunto de datos incluye unos 1500 registros sobre las propiedades de los materiales de esas vasijas.

**Gestión de la interfaz compañía eléctrica-órgano regulador.** La gestión de esta interfaz puede presentar dificultades, y, en muchos casos, es preciso perfeccionarla. No se ha dispuesto de una guía específica. Como el tema está relacionado con la seguridad de las centrales, el OIEA

convocó a un grupo asesor de expertos formado por directores de compañías nucleoelectricas y funcionarios de órganos reguladores. El grupo identificó un conjunto genérico de dificultades, prácticas satisfactorias y posibilidades de mejoramiento. Las buenas prácticas se refieren a la independencia del órgano regulador y la clara definición del papel y las funciones de este órgano; el empleo de un método de reglamentación no normativo; la adecuada determinación de procedimientos de comunicación; la celebración de frecuentes reuniones de las compañías eléctricas con los órganos reguladores; las actividades conjuntas en esferas como la capacitación y el examen de los resultados de los trabajos de investigación y desarrollo; y el establecimiento de normas para la prestación de los servicios de reglamentación.

**Garantía de calidad en la gestión de las funciones de reglamentación.** La aplicación de requisitos formales de garantía de calidad a las funciones de reglamentación es una esfera delicada que debe atenderse para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares. Paulatinamente este aspecto está recibiendo más atención y fue tema de una reunión de especialistas organizada por el Organismo en 1996.

Las principales conclusiones son las siguientes: las dificultades clásicas que se tienen para cumplir las funciones de reglamentación (como, por ejemplo, la falta de procedimientos y normas para el trabajo, la ausencia de un sistema de documentación y las deficientes prácticas de comunicación) denotan la necesidad de aplicar un programa de garantía de calidad. Se identificó una serie de limitaciones en la aplicación de la garantía de calidad a las funciones de reglamentación, que incluyen la normal resistencia al cambio; las necesidades de recursos adicionales (humanos y financieros) para la introducción de la garantía de calidad; y la errónea impresión de que el funcionamiento sistemático limitaría las capacidades creadoras y de discernimiento y la eficiencia. Los especialistas participantes en la reunión convinieron además en la necesidad de formular una guía específica sobre el tema.

**Apoyo técnico a las operaciones.** Un factor clave para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares es la calidad y organización de los servicios de apoyo técnico a la entidad explotadora. Para proporcionar una guía sobre el tema, el OIEA ha preparado un documento técnico en el que se exponen prácticas satisfactorias que se aplican en varios países. Las funciones básicas del apoyo técnico son el examen periódico de los procedimientos de las centrales nucleares para comprobar su conformidad con las directrices en materia de gestión, las modificaciones permanentes y los cambios en el estado de las centrales. Los exámenes deben incluir la verificación y validación de procedimientos nuevos o modificados, así como de los registros y sistemas de información. El apoyo técnico debe servir además como programa eficaz para detectar deficiencias, determinar sus causas profundas, e identificar acciones correctivas para evitar que

éstas se repitan. También debería ser parte de la preparación de la documentación para la concesión de licencias, incluidas las revisiones derivadas de modificaciones.

Además de su participación en el trabajo cotidiano, el personal de apoyo técnico debe abordar problemas a largo plazo, como los relacionados con la optimización de las operaciones de las centrales; la retroalimentación de la experiencia operacional para poder aprender de sucesos ocurridos en la central y en centrales similares de otros lugares; la vigilancia de los programas de cualificación del equipo; y la supervisión del programa de prolongación de la vida útil de la central.

**Sistemas computadorizados y conexos.** En el pasado decenio, se observó la creciente necesidad de resolver el problema de la obsolescencia de los sistemas de instrumentación y control, perfeccionar la actuación humana y cumplir con requisitos de reglamentación cada vez más estrictos. Como resultado de ello, las centrales nucleares han sustituido los obsoletos sistemas analógicos por sistemas digitales e introducido sistemas de bases de datos y de gestión amplios y asequibles. Estos sistemas apoyan las operaciones y las actividades de mantenimiento para lograr aumentar en general la garantía de calidad y la productividad. Los avances que se han registrado en la tecnología de la información y la comunicación han contribuido a que las compañías eléctricas exploten las centrales nucleares con más eficiencia integrando medios informáticos y aumentando la disponibilidad de información para satisfacer las necesidades del personal de las centrales y de la estrategia comercial de las empresas. En respuesta a las necesidades actuales de modernizar los sistemas de instrumentación y control, en 1996 el Organismo inició un proyecto destinado a analizar de manera integral los problemas de la modernización.

El principal objetivo de emplear computadoras en la explotación y el mantenimiento de las centrales nucleares es aumentar la seguridad y reducir el riesgo para las inversiones de capital; disminuir el costo de las operaciones y del mantenimiento; aumentar la producción de energía; y elevar la productividad de los empleados. Las computadoras ofrecen una serie de ventajas, como la fácil introducción de funciones complejas de protección y bloqueo; el control automático del estado de la central, que, de otro modo, no podría realizarse con facilidad; su empleo para cálculos complejos y rápidos que permiten evaluar en línea el estado del reactor, aumentando la seguridad y el ahorro; y la disponibilidad de unidades de vídeo que muestran en pantalla el estado de la planta, lo que permite reducir las dimensiones del panel de control y aumentar la eficacia operacional.

Para ayudar a los operadores de la sala de control, se utilizan varios sistemas de apoyo computadorizados, como instrumentos de lectura que muestran gráficamente parámetros críticos o datos operacionales para las actividades de vigilancia. En la esfera del mantenimiento, se han creado siste-

mas computadorizados de apoyo para reducir las fallas del equipo, los que permiten detectar la falla y hacer un diagnóstico más rápido, y proporcionan la capacidad para mejorar el mantenimiento planificado del equipo. Se han creado otros tipos de sistemas para ayudar, por ejemplo, a planificar el reabastecimiento de combustible y analizar las causas profundas de los sucesos.

En 1995, el OIEA creó una base de datos mundial con sistemas de apoyo informatizados. En 1996, también se concluyó la primera versión de una base de datos con sistemas de apoyo al operador, que se distribuyó a centrales nucleares, entidades de diseño, y otras instituciones nacionales interesadas.

### Direcciones y desafíos futuros

El desarrollo de la energía nucleoelectrica y el mejoramiento del comportamiento de las centrales precisan del apoyo de iniciativas aún más vigorosas a nivel mundial. A corto plazo, el OIEA planifica hacer hincapié en cuestiones importantes para adoptar decisiones respecto del papel de la energía nuclear en los planes de energía nacionales. Las actividades entrañarán la participación de las autoridades nacionales y la realización de esfuerzos para fortalecer la cooperación regional con miras a utilizar con eficacia los conocimientos especializados y los recursos existentes.

Uno de los aspectos más importantes será apoyar el continuo perfeccionamiento del comportamiento operacional y la fiabilidad de las centrales nucleares. Ello entrañará mejorar todavía más las prácticas de gestión y aumentar el intercambio de experiencia operacional e información a escala mundial. Por su parte, el OIEA trabaja para ampliar sus bases de datos sobre operaciones con reactores de potencia y gestión de la vida útil de la central.

Mediante un programa coordinado de investigaciones, el Organismo también se centrará en actividades para asegurar la integridad estructural de las vasijas de presión de los reactores. Ese programa incluirá la elaboración de un procedimiento uniforme para el ensayo de pequeños especímenes, a fin de obtener datos que permitan analizar la posibilidad de fracturas. Otras actividades tendrán como finalidad la capacitación del personal de las centrales nucleares, a la luz de los avances tecnológicos y la reestructuración y reorganización asociadas a la privatización y la racionalización.

En los últimos años, el OIEA y las compañías nucleoelectricas de sus Estados Miembros han dado una serie de pasos positivos, con buenos resultados, para mejorar el comportamiento de las centrales nucleares. En los próximos años, un desafío importante será asegurar que se mantengan estas mejoras y se emprendan nuevas iniciativas para seguir avanzando en la competitividad económica, la fiabilidad y la seguridad de las centrales nucleares de todo el mundo.

## Centrales nucleares avanzadas: Aspectos sobresalientes de su desarrollo a nivel mundial

*En muchos países se están diseñando e introduciendo nuevas centrales nucleares aprovechando las mejores características operacionales y de seguridad actuales*

En todo el mundo se realizan ingentes esfuerzos por desarrollar centrales nucleares avanzadas. En ese empeño participan diversas organizaciones, incluidos gobiernos, industrias, compañías eléctricas, universidades, laboratorios nacionales e institutos de investigaciones. Se estima que anualmente los gastos por concepto de desarrollo de nuevos diseños, innovaciones tecnológicas e investigaciones conexas relacionadas con los principales tipos de reactores superan los 1,5 millardos de dólares de los EE.UU.

Por conducto de las actividades que realiza en el marco de su programa nucleoelectrico, el OIEA actúa de fuente internacional de información de referencia objetiva sobre los diferentes conceptos que se están desarrollando y la situación de los proyectos, así como sobre las tendencias de desarrollo características en todo el mundo.

Todo el espectro de diseños o conceptos de centrales nucleares avanzadas abarca diferentes tipos de diseño, a saber, los evolutivos, así como los innovadores que requieren una labor de desarrollo sustancial. Estas dos categorías están divididas por una línea divisoria natural debida a la necesidad de construir y poner en funcionamiento una central prototipo o central de demostración para que un concepto muy innovador alcance su madurez comercial, ya que ese tipo de central reclama la mayor parte de los recursos necesarios. Los diseños de ambas categorías requieren tecnología, y tal vez también actividades de investigación y desarrollo (IyD) y pruebas confirmatorias antes de congelar el diseño, ya sea de la primera central de una línea dada en la categoría evolutiva, o de la central prototipo y/o central de demostración

de la segunda categoría. El volumen de IyD y de pruebas confirmatorias depende del grado de la innovación que se haya de introducir y de la labor conexas ya realizada, o de la experiencia que se pueda aprovechar. Ello es particularmente válido en el caso de los diseños de la segunda categoría, en que es muy posible que todo lo que requiera un concepto sea una central de demostración, en caso de haberse terminado en lo fundamental el proceso de desarrollo y de pruebas confirmatorias. En el otro extremo, además de la tecnología, se requiere una labor de IyD, pruebas de factibilidad, pruebas confirmatorias, y una central prototipo y/o central de demostración. (Véase el cuadro de la página 20) Es preciso realizar distintas tareas, y sus costos correspondientes en términos cualitativos son una función del grado en que se diferencian de los diseños existentes. En particular, los costos se elevan enormemente debido a la necesidad de construir un reactor como parte del programa de desarrollo.

### **Reseña de los programas de desarrollo de reactores refrigerados por agua.**

En varios países industrializados la labor de desarrollo gira fundamentalmente en torno al diseño de grandes unidades de reactores refrigerados con agua ligera (LWR), con potencias muy superiores a los 1000 megavatios eléctricos (MWe). Por lo general, el objetivo es lograr ciertas mejoras con respecto a los diseños existentes, y hacer la menor cantidad posible de reformas y modificaciones al diseño específico con miras a aprovechar al máximo las características y componentes de diseño que hayan dado buen resultado, tomando en cuenta a la vez la retroalimentación de la experiencia en materia de concesión de licencias, construcción, puesta en servicio y funcionamiento de las centrales con reactores refrigerados con agua ligera que se encuentran en explotación.

por  
**Poong Eil Juhn,**  
**Juergen Kupitz**  
y  
**John Cleveland**

El Sr. Juhn es Director de la División de Energía Nucleoelectrica y del Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA. El Sr. Kupitz es Jefe de la Sección de Desarrollo de la Energía Nucleoelectrica de esa División. El Sr. Cleveland es funcionario de categoría superior de la Sección. El Sr. Tor Pedersen, que también aportó información al artículo, fue funcionario de la División.

En general, las mejoras de diseño son muy diversas. Los objetivos comunes que se persiguen con los nuevos diseños son: más fiabilidad, características más inocuas, más rentabilidad y el aumento de la seguridad.

**Reactores avanzados refrigerados con agua ligera (ALWR).** En algunos países se están desarrollando diseños de grandes reactores ALWR. También se están desarrollando centrales avanzadas de mediano tamaño, en la mayoría de los casos con gran hincapié en el uso de sistemas de seguridad pasiva y dispositivos de seguridad propios.

**Estados Unidos.** A mediados del decenio de 1980 se iniciaron en los Estados Unidos importantes programas de desarrollo de ALWR. En 1984, Electric Power Research Institute (EPRI), en colaboración con el Departamento de Energía de los Estados Unidos y con la participación de diseñadores estadounidenses de centrales nucleares, inició un programa para establecer los requisitos de las compañías eléctricas respecto de los ALWR a fin de orientar su diseño y desarrollo. En el programa también participaron varias compañías eléctricas extranjeras que contribuyeron a su financiación. Se establecieron los requisitos de las compañías eléctricas respecto de grandes reactores de agua en ebullición (BWR) y reactores de agua a presión (PWR) con potencias nominales de 1200 a 1300 MWe, y respecto de los BWR y PWR de mediano tamaño con potencias nominales de unos 600 MWe.

En 1986, el Departamento de Energía de los Estados Unidos, en colaboración con el EPRI y organizaciones de diseño de reactores, inició un programa de certificación de diseños para centrales evolutivas sobre la base de un nuevo proceso de concesión de licencias, a este programa siguió, en 1990, otro para centrales de mediano tamaño con sistemas de seguridad pasiva. El nuevo proceso de concesión de licencias permite que los diseñadores de centrales nucleares presenten sus diseños a la Comisión Reglamentadora Nuclear de los Estados Unidos (NRC) para su certificación. Una vez certificado el diseño, las unidades normalizadas podrán ponerse en venta, y la compañía eléctrica podrá ordenar una central con la seguridad de que se han resuelto los problemas genéricos de diseño y seguridad. El proceso de concesión de licencias permitirá a la compañía de electricidad solicitar una licencia combinada para construir y explotar una nueva central, y siempre que la central se construya según especificaciones aprobadas previamente, la compañía podrá poner en marcha la central cuando se complete su construcción, suponiendo que no hayan surgido nuevos problemas de seguridad.

Cuatro diseños de reactores avanzados desarrollados en los Estados Unidos han sido presentados a la NRC para su certificación conforme al programa de ALWR del Departamento de Energía de ese país. Dos grandes centrales evolutivas —la System 80+ de ABB-Combustion Engineering y la ABWR de General Electric— recibieron la aproba-

ción de diseño final en 1994 y la certificación de diseño en mayo de 1997. La NRC está examinando la AP-600 de 600 MWe de Westinghouse, y se espera su aprobación de diseño final para marzo de 1998. Hasta mediados de 1996, el BWR simplificado de 600 MWe creado por General Electric también estuvo sometido a examen, pero la compañía dejó de trabajar en la versión de 600 MWe y se dedicó a una unidad de más potencia. El programa tecnológico "primero de su tipo" (FOAKE, diseño detallado necesario para verificar los costos y el calendario de construcción) autorizado en virtud de la Ley de Política Energética de 1992, para el ABWR terminó en septiembre de 1996; respecto del AP-600 se realiza un trabajo similar que debe concluir en 1998. En Taiwan, China, la compañía de electricidad seleccionó recientemente el diseño de ABWR de General Electric para dos nuevas unidades cuya entrada en funcionamiento está prevista para el 2004.

**Francia y Alemania.** En Europa, Framatone y Siemens han formado una empresa mixta, Nuclear Power International, que está desarrollando un nuevo reactor avanzado, el reactor de agua a presión (PWR) europeo, central de 1500 MWe con mejores características de seguridad. Para mediados de 1997 estará a punto el diseño básico que será sometido al análisis conjunto de las autoridades de seguridad de Francia y Alemania. Este procedimiento favorecerá muchísimo la armonización práctica de los requisitos de seguridad de dos importantes países, que más tarde podrían extenderse sobre una base más amplia. Siemens también trabaja, conjuntamente con compañías eléctricas alemanas, en el desarrollo de un diseño de BWR avanzado, el SWR-1000, que incorporará una serie de características de seguridad pasiva para activar las funciones de seguridad, eliminar el calor residual y eliminar el calor de contención.

**Suecia y Finlandia.** En Suecia, ABB Atom, con la participación de la compañía eléctrica Teollisuuden Voima Oy (TVO) de Finlandia, está desarrollando el BWR-90 que es una versión perfeccionada de los BWR en funcionamiento en ambos países.

**República de Corea.** En 1992, la República de Corea comenzó a desarrollar un diseño avanzado conocido como reactor coreano de la próxima generación (KNGR), diseño de PWR de 4000 MWt. En la actualidad, Korea Electric Power Corporation (KEPCO) está desarrollando el diseño básico con el apoyo de la industria nuclear coreana. El objetivo es terminar un diseño tipo detallado en el año 2000.

**Federación de Rusia.** En la Federación de Rusia se está trabajando en el diseño del V-392 evolutivo, versión perfeccionada del VVER-1000, y se está desarrollando otra versión de diseño en cooperación con la empresa finlandesa Imatran Voima Oy (IVO). También se están desarrollando una central de mediano tamaño, el VVER-640 (V-407), diseño evolutivo que incorpora sistemas de seguridad pasiva, y el VPBER-600, que es un

diseño integral más innovador. Se prevé que la construcción de la primera unidad del VVER-640 comience en Sosnovy Bor en 1997. Se está analizando con la República Popular de China la construcción de dos VVER de 1000 MWe.

**Japón.** En el Japón, el Ministerio de Comercio e Industria está llevando a cabo un programa de "modernización tecnológica del LWR" centrado en el desarrollo de los LWR futuros y que incluye requisitos y objetivos de diseño. Las compañías eléctricas japonesas, conjuntamente con proveedores nucleares, están desarrollando un diseño evolutivo de PWR avanzado de 1350 MWe de gran tamaño, y se prevé la construcción de una unidad gemela en el emplazamiento de Tsuruga. Además, en 1991 se inició un estudio sobre el mejoramiento y la evolución del BWR avanzado, que incluye el desarrollo de un BWR de referencia de 1500 MWe que refleja la experiencia acumulada en el funcionamiento y mantenimiento de los BWR. También se encuentran en marcha programas de desarrollo de un BWR (JSBWR) y un PWR (JSPWR) japoneses simplificados, proyectos en los que participan proveedores y compañías eléctricas. El Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica (JAERI) ha venido investigando diseños conceptuales de reactores refrigerados por agua avanzados que hacen hincapié en los sistemas de seguridad pasiva, a saber, el Reactor de Seguridad Pasiva (JPSR) y el PWR de Sistema Integrado (SPWR) del JAERI.

**China.** El Instituto de Energía Nuclear (Chengdu) de China está desarrollando el PWR avanzado AC-600, que incorpora sistemas de seguridad pasiva para la eliminación de calor.

En todos estos países, los LWR avanzados que se están desarrollando incorporan importantes simplificaciones de diseño, aumentan los márgenes de diseño, e introducen diversas mejoras de procedimiento técnico y operacional. Entre ellas cabe mencionar un mejor comportamiento del combustible y mejor quemado, mejor interfaz hombre-máquina con el empleo de computadoras y mejores medios de visualización de la información, mejor normalización de las centrales, y mejores posibilidades de construcción y mantenimiento, así como una más alta calificación de los operadores y el perfeccionamiento de la capacitación de éstos mediante simuladores.

**Reactores refrigerados por agua pesada (HWR).** Además de los reactores refrigerados por agua ligera, la tecnología de los HWR también ha demostrado ser económica, segura y fiable. Aproximadamente el 7% de todas las centrales en explotación son HWR. Se ha establecido una base de infraestructura y reglamentación de eficacia comprobada en varios países, sobre todo en el Canadá, pionero del desarrollo del concepto HWR. Se han desarrollado dos tipos de HWR comerciales, a saber, la versión de tubos de presión y la de vasijas de presión, y ambas han quedado plenamente comprobadas. Existen HWR con potencias nominales que oscilan entre

unos cuantos cientos de MWe hasta aproximadamente 900 MWe. La moderación del agua pesada hace que se logre una buena economía de neutrones y ha permitido utilizar uranio natural como combustible, lo que reduce los costos por ese concepto en comparación con los LWR. Con todo, la cantidad de material fisionable es bastante limitada y, por ende, los diseños de tubos de presión están utilizando la recarga en servicio a fin de lograr una correcta reactividad de la explotación de la central. Se ha demostrado satisfactoriamente la efectividad de esta recarga en servicio. Los factores de carga anuales y de vida útil de la mayoría de los HWR de tubos de presión han figurado entre los mejores de todos los tipos de reactores comerciales. Su comportamiento en materia de seguridad también ha demostrado ser muy bueno.

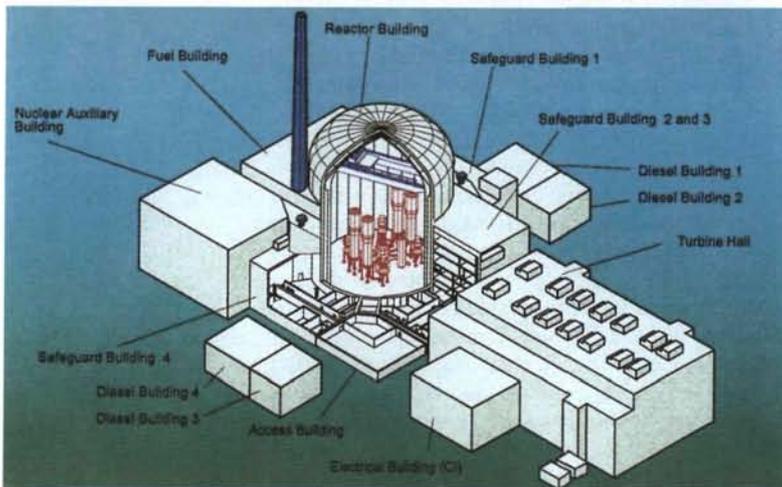
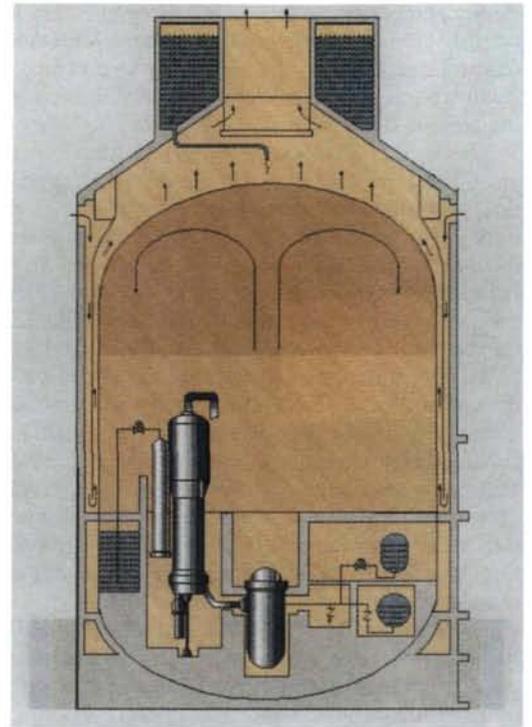
**Canadá.** El diseño continuo y el programa de desarrollo de los HWR en el Canadá están dirigidos fundamentalmente a la disminución de los costos de las centrales y al mejoramiento evolutivo del comportamiento y la seguridad de éstas. En Qinshan, China, se están construyendo dos nuevas unidades CANDU-6 de 715 MWe que incluyen mejoras con respecto a versiones anteriores de este modelo. Se sigue trabajando en la tecnología básica inicial del reactor CANDU-9 de 935 MWe, una adaptación de una sola unidad de las unidades de reactor en funcionamiento en Darlington, Canadá. En enero de 1997, la Comisión de Seguridad Nuclear del Canadá terminó el examen de dos años de duración de las posibilidades de concesión de licencias, y llegó a la conclusión de que el CANDU-9 reúne los requisitos para la concesión de licencias establecidos en el país. Se siguen estudiando versiones avanzadas de esos modelos de reactor con miras a incorporar nuevas mejoras evolutivas y aumentar hasta 1300 MWe la potencia del reactor más grande.

**India.** En la India también se está desarrollando un HWR de 500 MWe avanzado, y se prevé la construcción de ese tipo de unidades. Este diseño de HWR aprovecha las experiencias de las centrales HWR de 220 MWe de diseño autóctono que funcionan en el país.

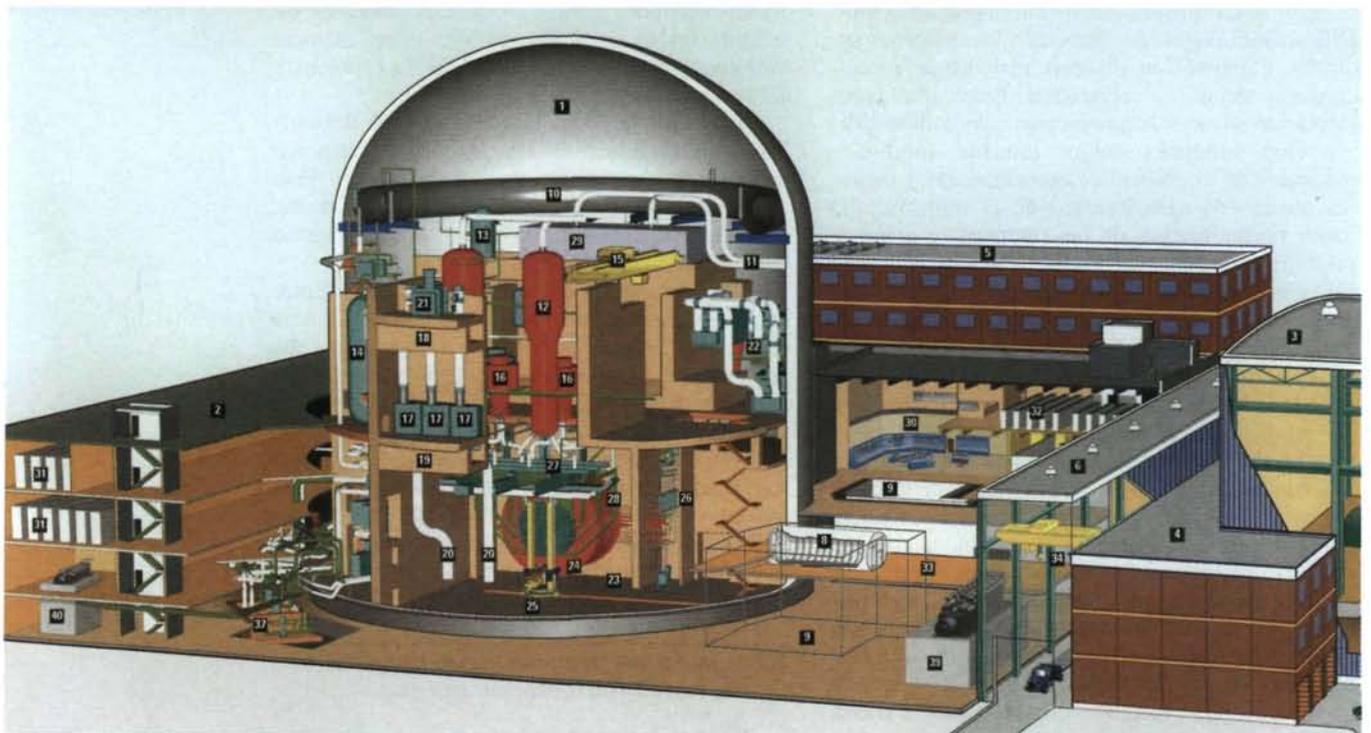
**Últimos acontecimientos importantes.** Entre los acontecimientos importantes de 1996 en la esfera de los reactores refrigerados por agua cabe mencionar la puesta en marcha de nuevas centrales en varios países: el PWR Genkai-4 de 1130 MWe, y los primeros dos reactores de agua en ebullición (ABWR) avanzados de 1315 MWe en Kashiwazaki Kariwa, Japón; el primer PWR N4 de 1455 MWe en Chooz, Francia; el HWR Cernavoda-1 de 650 MWe en Rumania; y el PWR Watts Bar-1 de 1165 MWe en los Estados Unidos.

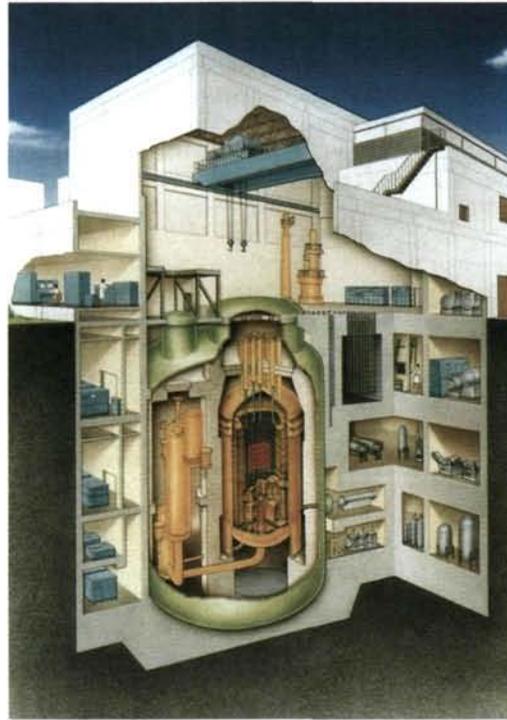
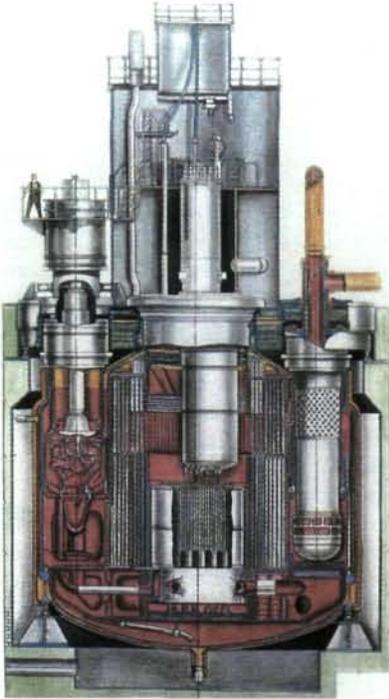
#### Reseña de los programas de desarrollo de reactores refrigerados por gas

Importantes actividades están teniendo lugar



En esta página: Entre los reactores avanzados que se están desarrollando en el mundo se encuentran (a partir del margen izquierdo superior y en el sentido de las manecillas del reloj) el reactor avanzado de agua en ebullición (Japón); el AP-600 (Estados Unidos); el reactor de agua pesada CANDU-9 (Canadá); y el reactor de agua a presión europeo, desarrollado conjuntamente por Francia y Alemania. En la siguiente página: Diagrama del reactor reproductor rápido BN-600 (Rusia); diagrama del HTTR del Japón; y foto de los trabajos en el HTR-10 de China. (Cortesía: TEPCO; Westinghouse; AECL; NPI; Minatom; JAERI; INET)





en el proceso de desarrollo de los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR), en particular con respecto a la utilización del reactor refrigerado por gas para lograr una elevada eficiencia en la generación de electricidad y las aplicaciones del calor para procesos industriales. Los adelantos tecnológicos en materia de procesos y diseño de componentes –unidos a la capacidad internacional para fabricar, ensayar y adquirir los

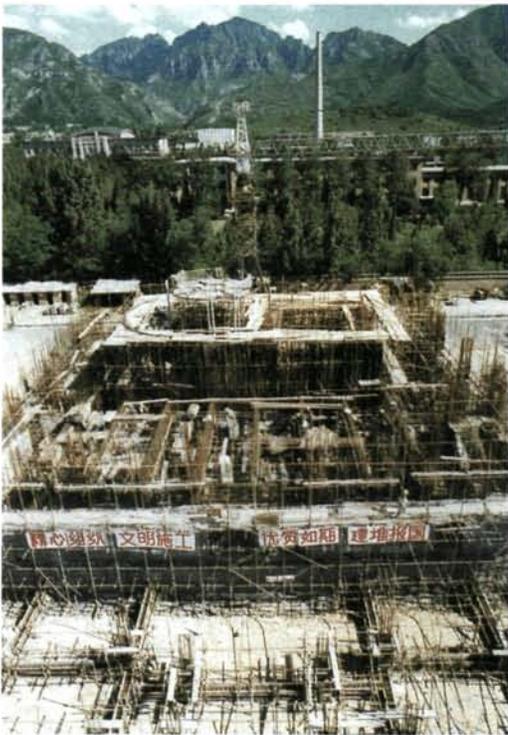
componentes– proporcionan una excelente oportunidad para lograr la comercialización del HTGR.

**Reino Unido, Alemania y Estados Unidos.** Los reactores refrigerados por gas llevan muchos años en explotación. En el Reino Unido, la electricidad nuclear se genera mayormente en reactores magnox enfriados por  $\text{CO}_2$  y en reactores avanzados refrigerados por gas (AGR). Otros países también han tratado de desarrollar reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR), utilizando helio como refrigerante y grafito como moderador. El reactor AVR de 13 MWe ha funcionado satisfactoriamente en Alemania durante 21 años, con lo que ha quedado demostrada la aplicación de la tecnología de los HTGR para la producción de electricidad.

Entre otros reactores refrigerados por helio y moderados con grafito, cabe mencionar el reactor de torio de alta temperatura de 300 MWe, en Alemania, y las centrales Peach Bottom de 40 MWe y Fort St. Vrain de 330 MWe en los Estados Unidos.

**Sudáfrica.** En Sudáfrica, la gran compañía eléctrica nacional Eskom, con una potencia de generación instalada de alrededor de 38 000 MWe, está llevando a cabo una evaluación técnica y económica de un reactor modular de lecho de bolas refrigerado por helio que se acoplaría directamente a un sistema de conversión energética por turbina de gas, con miras a estudiar la posibilidad de aumentar la capacidad del sistema eléctrico de la compañía.

**China y Japón.** En China y el Japón se están construyendo reactores de prueba que tendrán la capacidad de lograr temperaturas de salida del núcleo de  $950^\circ\text{C}$  para la evaluación de las aplicaciones del calor nuclear para procesos industriales. Continúa la construcción del reactor de alta



temperatura (HTR-10) de China en el Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear (INET) y su criticidad inicial se prevé para 1999. Este reactor de lecho de bolas de 10 MWt se utilizará para ensayar y demostrar la tecnología y las características de seguridad del HTGR. El INET está trabajando en el desarrollo del HTGR con miras a evaluar una amplia gama de aplicaciones, entre ellas, la generación de electricidad, la producción de vapor y calefacción urbana, el funcionamiento del ciclo combinado de turbina de gas y de vapor, y la generación de calor para procesos industriales con vistas al tratamiento del metano. El HTR-10 será el primer HTGR que recibe licencia y se construye en China.

El objetivo primordial del programa japonés de I+D sobre el HTGR es la terminación del reactor de ensayo técnico de alta temperatura (HTTR) en el emplazamiento del Instituto Japonés de Investigaciones de la Energía Atómica (JAERI), en Oarai, Japón. Este reactor refrigerado por helio de 30 MWt se utilizará para establecer y perfeccionar la tecnología para el desarrollo de HTGR avanzados, así como para demostrar la eficiencia de sistemas seleccionados de utilización del calor en régimen de alta temperatura. Se prevé que en 1997 se comience la carga de combustible del HTTR, y que alcance su criticidad inicial para finales de año. El programa de pruebas físicas de la puesta en marcha del HTTR continuará después durante todo 1998.

### Reseña de los programas de desarrollo de reactores refrigerados por metal líquido

Durante muchos años se han venido desarrollando los reactores rápidos refrigerados por metal líquido (LMFR) en varios países. Se han construido y están en funcionamiento 20 LMFR, incluidos cinco prototipos con una potencia eléctrica de entre 250 y 1200 MWe, que han acumulado unos 280 años-reactor de experiencia operacional.

En la mayoría de los casos la experiencia general ha sido muy satisfactoria. La nueva puesta en marcha y el funcionamiento estable del primer gran reactor rápido de demostración Superphenix (1200 MWe) en Francia es un importante logro en la tecnología de los LMFR. El reactor rápido de demostración BN-600 en Rusia, con una potencia de 600 MWe ha funcionado satisfactoriamente durante 16 años con un factor de carga medio del 77%. En los últimos años se han realizado considerables esfuerzos en Francia, la Federación de Rusia, el Japón, los Estados Unidos y la India por reducir los costos de inversión de los LMFR avanzados. Los diseños más modernos del LMFR, como el proyecto del reactor rápido europeo (EFR), están a punto de ser económicamente competitivos con respecto a otros tipos de reactores.

Varios países ejecutan importantes programas de desarrollo tecnológico de LMFR, en particular

Francia (en colaboración con una labor menos intensa de Alemania, el Reino Unido, y otros países europeos), y la Federación de Rusia, el Japón y la India. Se siguen realizando actividades en menor escala en algunos otros países.

A corto y mediano plazos, puede utilizarse la flexibilidad de los LMFR para la gestión del plutonio y de los desechos radiactivos, así como para el logro de otros objetivos futuros. En dependencia de la geometría y composición de sus núcleos, los reactores rápidos a determinada potencia nominal y con un núcleo de determinado tamaño pueden aumentar, mantener o disminuir el inventario de transuránicos. Aprovechando esta flexibilidad, las cargas de los reactores rápidos se pueden configurar/componer de diversas formas para producir coeficientes de conversión transuránicos de menos o más de uno. Si el coeficiente de conversión es mayor que uno, el sistema del reactor se convertiría en reproductor y generaría materiales fisionables como resultado del aumento de la demanda de combustible nuclear (potencia). Si es menor que uno, el reactor rápido se convertiría en quemador y podría reducir las existencias de materiales fisionables (así como de actínidos).

**China.** En China, la labor de investigación básica sobre los LMFR comenzó en 1964. Desde entonces, y hasta 1987, se ha trabajado fundamentalmente en la neutrónica, la termohidráulica y la tecnología del sodio. Durante 1991-1992 se terminó el diseño conceptual del reactor rápido experimental chino (CEFR) de 15 MWe, y durante 1992-1993 se confirmó el diseño conceptual y se realizaron estudios de optimización. A partir de 1993, se ha venido trabajando intensamente en la preparación de un diseño detallado.

**Francia.** En Francia se está aplazando la introducción a escala comercial de los LMFR. Entretanto, se está desarrollando la aplicación de otro importante aspecto de estos reactores, a saber, la transmutación de los desechos nucleares de período largo y la quema de plutonio. Los programas actuales sobre el funcionamiento del Superphenix (SPX) de 1200 MWe y el Phenix de 350 MWt reflejan esos requisitos. Uno de los objetivos de extender la vida útil del reactor Phenix en diez años más es realizar los experimentos de irradiación necesarios.

**India.** En la India está funcionando el reactor reproductor rápido de prueba (FBTR). Los principales programas técnicos son el desarrollo del combustible, la irradiación de materiales y la tecnología del sodio. La introducción de los FBR está vinculada a su aceptabilidad económica. Ya se han seleccionado las características de diseño básicas del reactor-prototipo reproductor rápido (PFBR) de 500 MWe. En 1997-1998 se hará hincapié en el diseño detallado, el desarrollo tecnológico, la tecnología del sodio, y la tecnología de los materiales. Un objetivo importante es reducir el tiempo de construcción.

**Japón.** En el Japón, el prototipo LMFR "Monju" con una potencia de 280 MWe alcanzó su cri-

tividad inicial en abril de 1994 y fue conectado a la red en agosto de 1995. En diciembre de 1995 se interrumpió el funcionamiento del reactor debido a una fuga en el sistema de refrigeración secundario no radiactivo. Se está trabajando en el diseño de un reactor reproductor rápido de demostración (DFBR) de 660 MWe, que previsiblemente se construirá a principios del próximo siglo. Además de esta línea principal de trabajo de desarrollo, se están llevando a cabo estudios relativos al desarrollo de una tecnología que pueda satisfacer las diversas necesidades de la sociedad futura, entre las que cabe mencionar la disminución de los efectos ambientales y la garantía de la no proliferación nuclear, exigencias éstas que amplían las opciones tecnológicas.

**República de Corea.** La República de Corea tiene previsto desarrollar para el año 2001 el diseño conceptual de su primer reactor reproductor rápido, la central Kalimer de 330 MWe. Su construcción está planificada de modo que alcance su criticidad durante el 2011.

**Federación de Rusia.** La experiencia de Rusia en la explotación de reactores rápidos experimentales y prototipo (BR-10, BOR-60 y BN-600) ha sido muy buena. La labor ahora está encaminada a mejorar la seguridad y la fiabilidad, y a lograr que los LMFR sean económicamente competitivos respecto de otras fuentes de energía. Aunque esta labor llevaría cierto tiempo, se prevé el uso de los LMFR a corto plazo para quemar plutonio y actínidos menores.

**Estados Unidos.** En 1993, el gobierno de los Estados Unidos expresó que se autorizaba financiación federal para el desarrollo de reactores sólo en caso de proyectos con posibilidades de aplicación comercial a corto plazo. Como consecuencia, se detuvieron los programas de los LMFR y del reactor rápido de intercambiador integrado (IFR) avanzados. Así y todo, General Electric Company sigue adelante con su importante programa de diseño y desarrollo basado en las tecnologías del LMFR y el IFR avanzados, en colaboración con asociados de ultramar.

### Actividades del OIEA en apoyo al desarrollo de la tecnología nucleoelectrónica

Como foro internacional para el intercambio de información científica y técnica, el OIEA se encarga de reunir a expertos en aras de un intercambio de información mundial sobre los programas nacionales, las tendencias en materia de requisitos de seguridad y de los usuarios, el efecto de los objetivos de seguridad en el diseño de las centrales, y de la coordinación de programas de investigación sobre la tecnología de reactores avanzados.

Las actividades en las esferas del desarrollo de la tecnología nucleoelectrónica se basan en las recomendaciones de los Grupos internacionales de trabajo (GIT). Comités integrados por representantes prominentes de programas nacionales y organizaciones internacionales para cada tipo principal de reactor.

Para apoyar su función en el intercambio de información, el OIEA preparó recientemente dos documentos técnicos –*Status of Advanced Light Water Reactor Designs* y *Fast Reactor Database*. Entre los temas que se analizarán en 1997 se encuentran el perfeccionamiento de los componentes y las tecnologías de los sistemas de reactores con miras a mejorar la disponibilidad y fiabilidad de los reactores actuales y futuros.

**Mejoramiento de la comunicación.** Términos como diseños evolutivos, diseños pasivos y diseños innovadores se han empleado ampliamente para describir las centrales nucleares avanzadas, por lo general sin definirlos y a veces con usos incompatibles entre sí. Habida cuenta de la importancia de la comunicación para el público y los círculos técnicos en general, es conveniente lograr una coherencia y un consenso internacional respecto de los términos que se empleen para describir las diversas categorías de diseños avanzados.

En 1991, con el asesoramiento de organizaciones de diseño de reactores, institutos de investigaciones y organizaciones gubernamentales, el OIEA publicó un documento titulado *Safety Related Terms for Advanced Nuclear Power Plants*, que se está utilizando mucho. Más recientemente, aplicando el mismo enfoque de obtener asesoramiento de las partes pertinentes, el OIEA publicó *Terms for Describing New Advanced Nuclear Power Plants*. El documento tiene el propósito concreto de aclarar el significado de los términos estableciendo distinciones entre las fases de diseño que reflejan el grado de madurez de éstos; por ejemplo, si se trata de diseños innovadores con algunas características aún por probar, o si son evolutivos en el sentido de que conservan muchas características probadas de las centrales existentes.

**Investigaciones en cooperación.** Los GIT recomiendan al OIEA que establezca programas de cooperación internacionales para las investigaciones en esferas de interés común. Estas actividades de cooperación se llevan a cabo por conducto de los Programas coordinados de investigaciones (PCI), que por lo general duran de tres a seis años y suelen incluir actividades experimentales. Esos PCI permiten trabajar de consuno a nivel internacional y aprovechar la experiencia y los conocimientos especializados de los investigadores de los institutos participantes.

Por ejemplo, el OIEA ha coordinado la labor encaminada a reunir y sistematizar una base de datos, que luego se publicó, sobre las propiedades termofísicas de una gran diversidad de materiales para reactores de agua ligera y pesada en una amplia gama de temperaturas. En el caso de los reactores refrigerados por metal líquido, también se han publicado recientemente los resultados de las actividades de cooperación sobre el comportamiento de los materiales. En otros programas de cooperación, el OIEA está estableciendo conjuntos de relaciones termohidráulicas para reactores refrigerados por

### Diseño avanzado

En estos momentos se están desarrollando diferentes tipos de nuevas centrales nucleares a las que suele denominárseles reactores avanzados. En términos generales, el diseño de una central avanzada es un diseño de interés actual que debe introducir mejoras con respecto a sus predecesores y/o a los diseños existentes. Los diseños avanzados consisten en diseños evolutivos y diseños que exigen una labor sustancial de desarrollo. En el caso de estos últimos, puede tratarse desde modificaciones moderadas de diseños existentes hasta conceptos de diseño totalmente nuevos. Se distinguen de los diseños evolutivos en que se requiere una central prototipo o central de demostración, o en que el trabajo realizado resulta insuficiente para determinar si se requiere o no esa central.

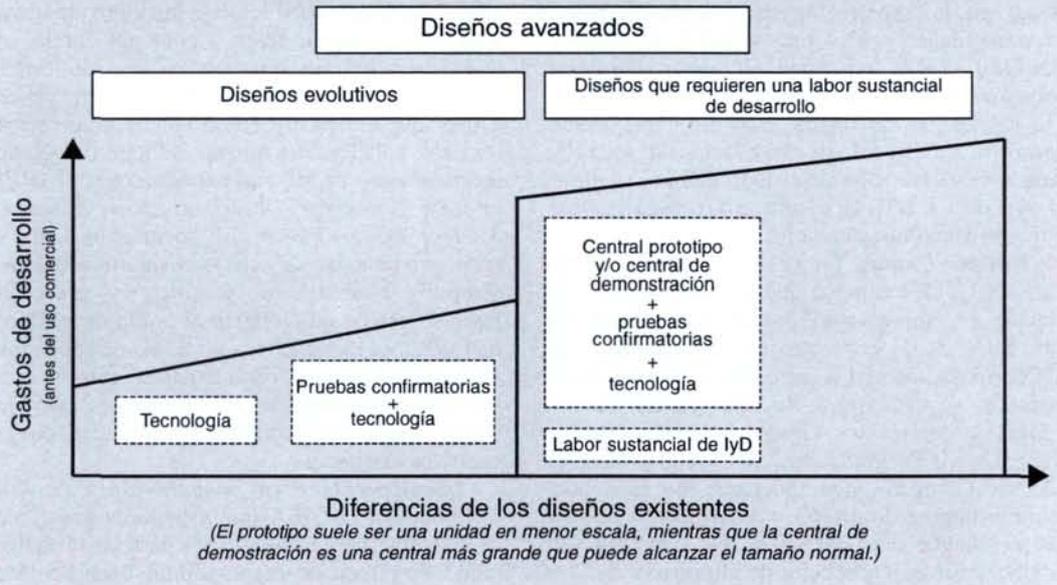
### Diseño evolutivo

El diseño evolutivo es un diseño avanzado cuyas mejoras en relación con los reactores existentes las logra con modificaciones pequeñas o moderadas y sobre todo manteniendo características de diseño comprobadas que minimicen los riesgos tecnológicos. El desarrollo de un diseño evolutivo requiere a lo sumo pruebas tecnológicas y confirmatorias.

### Diseño innovador

El diseño innovador es un diseño avanzado que incorpora cambios conceptuales radicales en los enfoques de diseño o la configuración del sistema en comparación con la práctica existente. Probablemente se requiera un buen volumen de IyD, pruebas de factibilidad y una central prototipo o central de demostración.

**Actividades y gastos de desarrollo de los diseños avanzados contra diseños con algunas diferencias de los existentes**



agua y reactores refrigerados por metal líquido que resultan útiles para el análisis de la seguridad y el comportamiento de los reactores. En la esfera de los reactores refrigerados por gas, la atención se ha centrado en las cuatro esferas técnicas específicas que si bien se prevé que doten al HTGR avanzado de un elevado grado de seguridad, aún deben ser comprobadas. Estas esferas técnicas son: comportamiento físico neutrónico seguro del núcleo del reactor; fiabilidad de las partículas de combustible de revestimiento de cerámica para retener los productos de fisión incluso en condiciones de accidente extremas; capacidad de los diseños para disipar el calor de desintegración mediante mecanismos naturales de transferencia del calor, y comportamiento seguro del combustible y del núcleo del reactor bajo ataque químico (por aire o por agua). Las actividades relacionadas con las aplicaciones de

HTGR se centran en el diseño y la evaluación de los sistemas de utilización del calor de los HTTR japoneses.

Todas estas actividades apuntan a la cooperación a nivel mundial para el desarrollo de tipos avanzados de reactores nucleares. En la medida en que los países avancen con sus planes y se introduzcan nuevas centrales, cabe esperar un ulterior perfeccionamiento en esferas de la economía, la fiabilidad y la seguridad de las centrales. Por conducto de sus grupos internacionales de trabajo sobre reactores avanzados, el OIEA fomentará el intercambio internacional de información sobre tecnología comercial y las investigaciones no en cooperación. También ayudará a los países a conciliar las necesidades de los usuarios, y a conservar la información tecnológica fundamental sobre los sistemas nucleoelectrónicos avanzados.

# Aplicaciones de la energía nucleoelectrica: Suministro de calor a hogares e industrias

*Más países se interesan en utilizar reactores nucleares más pequeños para ayudar a satisfacer las necesidades de calor urbanas e industriales*

Cuando en octubre de 1956 se inició la explotación comercial del primer reactor nuclear en Calder Hall, Reino Unido, éste suministraba electricidad a la red y calor a una cercana planta de reelaboración de combustible. Después de más de 40 años, las cuatro unidades de 50 megavatios eléctricos (MWe) de Calder Hall siguen funcionando. En Suecia, durante diez años a partir de 1963, el reactor Agesta suministró agua caliente para la calefacción urbana de un suburbio de Estocolmo.

Estos ejemplos demuestran un aspecto de la energía nuclear que muchos desconocen —su capacidad de producir calor para procesos industriales y necesidades urbanas. Esas aplicaciones comenzaron en fecha muy temprana, prácticamente cuando los reactores nucleares de potencia se utilizaron por primera vez para generar electricidad.

Desde aquellos primeros días del desarrollo de la energía nucleoelectrica, el uso directo del calor generado por los reactores ha venido ampliándose. Países como Alemania, Bulgaria, Canadá, China, Eslovaquia, Hungría, India, Japón, Kazajstán, República Checa, Rusia, Suecia, Suiza y Ucrania han considerado conveniente utilizar el calor nuclear para la calefacción urbana o para procesos industriales, o para ambos fines, además de la generación de electricidad. Si bien en la actualidad menos del 1% del calor generado en los reactores nucleares en todo el mundo se emplea para la calefacción urbana y el calor industrial, hay señales de que está aumentando el interés en estas aplicaciones.

El uso directo del calor nuclear no es nada nuevo. Después de todo, el resultado del proceso de la fisión nuclear es la generación de calor dentro del reactor. Ese calor se extrae mediante el refrigerante que circula a través del núcleo, y luego puede utilizarse para la generación de electricidad o el suministro de agua caliente o vapor para la calefacción de interiores o fines industriales. Sin embargo, existen grandes diferencias entre las propiedades y las aplicaciones de la electricidad y

las del calor, así como entre los mercados para estas formas diferentes de energía. Estas diferencias, así como las características intrínsecas de los reactores nucleares explican el porqué la energía nucleoelectrica se ha introducido de forma predominante en el mercado de la electricidad y ha tenido aplicaciones relativamente menores como fuente de calor directa.

## El mercado de la energía

Alrededor del 33% del consumo total mundial de energía se utiliza actualmente para la generación de electricidad. Esta participación aumenta sostenidamente y se espera que llegue al 40% en el año 2015. Del resto, el calor consumido para fines residenciales e industriales y el sector del transporte constituyen los principales componentes, y los sectores residencial e industrial tienen una participación algo mayor. El quemado de carbón, petróleo, gas o leña abastece prácticamente a todo el mercado del calor.

El consumo general de energía está aumentando de manera sostenida y se espera que esta tendencia continúe hasta bien avanzado el siguiente siglo. En términos generales, las medidas de conservación y de mejoramiento de la eficiencia han reducido la tasa de aumento del consumo energético, pero el efecto de estas medidas no llega a ser suficiente para estabilizar el consumo en los valores actuales.

Durante los próximos dos decenios se espera que ocurra un ligero aumento de la generación de electricidad de origen nuclear. En el sector del transporte, no se prevé prácticamente ninguna aplicación de la energía nuclear, salvo indirectamente con el aumento del uso de la electricidad.

El mercado del calor constituye un reto abierto. Si bien se ha usado la energía nuclear para satisfacer una parte de la demanda de calor, ella no ha logrado todavía penetrar de manera significativa ese mercado. La rapidez con que pudiera apoderarse de parte de este mercado, y hasta dónde podría hacerlo, dependerá fundamentalmente de cómo puedan equipararse las características de los reactores nucleares con las del mercado del calor para competir satisfactoriamente con otras fuentes de energía.

por **Bela J. Csik** y  
**Juergen Kupitz**

El Sr. Csik es funcionario de categoría superior de la Sección de Desarrollo de la Energía Nucleoelectrica del OIEA. El Sr. Kupitz es Jefe de la Sección.

### Características del mercado del calor

Transportar el calor resulta difícil y costoso. La necesidad de gasoductos, aislamiento térmico, bombeo y las inversiones correspondientes, las pérdidas de calor, el mantenimiento y la necesidades de energía de bombeo, hacen que el transporte del calor a unos cuantos kilómetros o, cuando más, a algunas decenas de kilómetros, sea poco práctico. El factor tamaño influye mucho, pues los gastos específicos del transporte del calor aumentan marcadamente a medida que disminuye la cantidad de calor que se ha de transportar. En comparación con el calor, el transporte de electricidad desde donde se genera hasta el usuario final es fácil y barato, incluso a grandes distancias de cientos de kilómetros.

Los sectores residencial e industrial son los dos componentes principales del mercado general del calor. Dentro del sector residencial, si bien el calor para cocinar tiene que producirse directamente donde se utiliza, la demanda de calefacción de interiores puede y suele suministrarse desde una distancia razonable mediante un sistema de calefacción centralizado por conducto de una red territorial de transmisión y distribución de calefacción que presta servicio a un número relativamente grande de consumidores.

**Calefacción urbana.** Por lo general, las redes de calefacción urbana tienen capacidades instaladas que oscilan entre 600 y 1200 megavatios térmicos (MWt) en las grandes ciudades, que se reducen a unos 10 a 50 MWt en pueblos y pequeñas comunidades. De manera excepcional, pueden encontrarse potencias de 3000 a 4000 MWt. Es evidente que sólo surge un posible mercado para la calefacción urbana en zonas climáticas con inviernos relativamente largos y fríos. Por ejemplo, en Europa occidental, Finlandia, Suecia y Dinamarca son países donde se utiliza ampliamente la calefacción urbana, y lo mismo se aplica a Alemania, Austria, Bélgica, Francia, Italia, Noruega, Países Bajos y Suiza, aunque en un grado mucho menor. Los factores de carga anuales de los sistemas de calefacción urbana dependen de la duración de la temporada de invierno que es cuando la calefacción de interiores es necesaria, y puede alcanzar hasta el 50% aproximadamente, cifra que aún está muy por debajo de lo que se requiere para la operación de carga básica de las centrales. Asimismo, para garantizar un suministro seguro de calor a las residencias que se abastecen de la red de calefacción urbana, es preciso disponer de suficiente capacidad auxiliar de generación de calor. Ello entraña la necesidad de redundancia y tamaños de las unidades generadoras que correspondan a sólo una fracción de la carga máxima general. Las temperaturas que requieren los sistemas de calefacción urbana oscilan entre unos 100° y 150°C.

En general, se espera que el mercado de la calefacción urbana se amplíe de manera considerable, no sólo porque puede competir desde el punto de vista económico en zonas densamente pobladas con la producción individual de calefacción, sino también porque ofrece la posibilidad de reducir la contaminación atmosférica en zonas urbanas. Si bien las emisiones provenientes del quemado de combustible pueden

controlarse y reducirse hasta cierto punto en plantas centralizadas relativamente grandes, esto no es práctico en pequeñas instalaciones individuales de calefacción alimentadas con gas, petróleo, carbón o leña.

**Procesos industriales.** Dentro del sector industrial, el calor industrial se utiliza en toda una serie de aplicaciones con diferentes necesidades de calor y amplios rangos de temperatura. Si bien en las industrias de alto consumo energético el insumo de energía representa una parte importante del costo del producto final, en la mayoría de los otros procesos solamente representa un reducido porcentaje. Sin embargo, el suministro de energía es decisivo, pues sin energía, la producción se detendría. Ello significa que una característica común a casi todos los usuarios industriales es la necesidad de asegurar el suministro de energía con un grado muy elevado de fiabilidad y disponibilidad, que se acerque al 100% sobre todo en el caso de las grandes instalaciones industriales y los procesos de alto consumo energético.

Respecto de los rangos de potencia de las fuentes de calor requeridas, en la mayoría de los países industrializados se pueden encontrar pautas similares. En términos generales, aproximadamente la mitad de los usuarios requieren menos de 10 MWt y otro 40% entre 10 MWt y 50 MWt. El número de usuarios disminuye de manera sostenida a medida que aumentan las necesidades de energía. Alrededor del 99% de los usuarios se incluyen en el rango de 1 MWt a 300 MWt, lo que representa un 80% de la energía total consumida. Cada uno de los grandes usuarios con procesos industriales de alto consumo energético representan la parte restante del mercado del calor para procesos industriales con necesidades de hasta 1000 MWt y, de manera excepcional, incluso más. Ello muestra el carácter tan fragmentado del mercado del calor para procesos industriales.

La posibilidad de introducir en gran escala sistemas de distribución de calor alimentado por una fuente de calor centralizada —que abastecería a varios usuarios concentrados en los llamados parques industriales— parece un tanto remota en la actualidad, pero, a largo plazo, podría convertirse en una tendencia. A diferencia de la calefacción urbana, los factores de carga de los usuarios industriales no dependen de las condiciones climáticas. Por lo general, las demandas de los grandes usuarios industriales tienen cargas básicas características.

Los requisitos de temperatura dependen del tipo de industria, con un amplio rango que puede alcanzar hasta unos 1500°C. En el rango superior domina la industria siderúrgica, por encima de los 1000°C. El rango inferior de hasta unos 200°C a 300°C incluye industrias como la de la desalación de agua de mar, la de la pulpa y el papel, o la textil. La industria química, el refinado del petróleo, el tratamiento de los esquistos bituminosos y las arenas alquitranadas, y la gasificación del carbón son ejemplos de industrias con requisitos de temperatura de hasta 500°C a 600°C. Los metales no ferrosos, el refinado del carbón y el lignito, y la producción de hidrógeno mediante la separación del agua se

encuentran entre las aplicaciones que requieren temperaturas de 600°C a 1000°C.

Todos los usuarios industriales que requieren calor también consumen electricidad. Las proporciones varían en dependencia del tipo de proceso, donde puede predominar el calor o la electricidad. La demanda de electricidad puede satisfacerse desde una red eléctrica, o mediante una central generadora de electricidad dedicada sólo a ese fin. La cogeneración de electricidad y calor es una opción atractiva. Aumenta el rendimiento energético general y proporciona los correlativos beneficios económicos. Las centrales cogeneradoras, cuando forman parte de grandes complejos industriales, pueden integrarse fácilmente en un sistema de redes eléctricas al que suministran cualquier excedente de electricidad generada. A su vez, ellas funcionarían como instalaciones auxiliares para asegurar el suministro de electricidad. Estos arreglos resultan a menudo convenientes.

### **Características de las fuentes de calor nuclear**

Desde el punto de vista técnico, los reactores nucleares son básicamente dispositivos generadores de calor. Existe vasta experiencia en la utilización del calor nuclear tanto en la calefacción urbana como en los procesos industriales, de modo que cabe considerar que los aspectos técnicos han quedado bien demostrados. No existe ningún impedimento técnico para la utilización de los reactores nucleares como fuentes de calor para la calefacción urbana o los procesos industriales. En principio, cualquier tipo y tamaño de reactor nuclear puede servir para estos fines.

La posible contaminación radiactiva de las redes de calefacción urbana o de los productos obtenidos mediante procesos industriales se evita adoptando medidas adecuadas, como los circuitos intercambiadores de calor intermedios con gradientes de presión que sirven de barreras eficaces. Jamás se ha notificado un incidente de contaminación radiactiva por la utilización de cualquier reactor para estos fines.

Respecto de los rangos de temperatura, se obtienen hasta unos 300°C en reactores de agua ligera y agua pesada, hasta 540°C en reactores rápidos refrigerados por metal líquido, hasta 650°C en reactores avanzados refrigerados por gas, y hasta 1000°C en reactores de alta temperatura refrigerados por gas.

En cuanto a las aplicaciones para la calefacción urbana o el calor para procesos industriales, existen básicamente dos opciones, a saber, la cogeneración de electricidad y calor, y los reactores productores de calor solamente. La cogeneración se ha aplicado ampliamente, pero no hay mucha experiencia en los reactores que sólo producen calor. En principio, puede extraerse cualquier cantidad de calor de los reactores de cogeneración, en dependencia de las limitaciones de diseño. El calor no necesario para satisfacer la demanda de calor puede utilizarse para la generación de electricidad, lo que representa

un alto grado de flexibilidad. Por otra parte, estos reactores tienen un solo objetivo, ya que no están destinados a producir electricidad.

La disponibilidad de reactores nucleares es, por lo general, similar a la de las centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles. Como la experiencia demuestra, pueden alcanzarse factores de disponibilidad del 70% al 80% e incluso del 90%. La frecuencia y duración de las paradas no programadas pueden mantenerse en niveles muy bajos con un buen mantenimiento preventivo y de predicción. Sin embargo, la disponibilidad y la fiabilidad de un reactor nunca pueden alcanzar los niveles próximos al 100% que requiere la mayoría de los grandes consumidores de calor. Por consiguiente, en lo que respecta a las fuentes de calor alimentadas con combustibles fósiles, la redundancia es necesaria. Las centrales eléctricas de cogeneración múltiples, los diseños modulares, o las fuentes de calor auxiliares son soluciones apropiadas.

Los reactores nucleares requieren gran densidad de capital. La influencia del componente de costo fijo predomina en el costo final de la energía. Por ende, para competir con otras fuentes de energía es necesario lograr operar con factores de carga tan elevados como sea posible. Ello sólo puede hacerse cuando las características de la demanda del mercado del calor que se ha de abastecer sean las de carga básica, o cuando el mercado combinado del calor y la electricidad permite el funcionamiento general de carga básica de las centrales de cogeneración.

Los reactores nucleares pueden ser fuentes de energía técnicamente probadas, seguras, fiables y poco contaminantes, pero para su uso con fines comerciales han de ser también económicamente competitivos respecto de otras fuentes de energía. En comparación con las fuentes alimentadas con combustibles fósiles, los reactores nucleares se caracterizan por costos de inversión más elevados que se compensan con gastos de combustible más bajos. La energía nucleoelectrónica no habría podido penetrar el mercado de la electricidad de no haber cumplido el requisito de la competitividad económica. Incluso con los bajos niveles generalizados de los precios de los combustibles fósiles, la energía nucleoelectrónica ha conservado su posición competitiva en casi todo el mundo. De elevarse los precios de los combustibles fósiles, como se espera que suceda, la posición competitiva desde el punto de vista económico de la energía nucleoelectrónica, tanto para la generación de electricidad como para el suministro de calor, mejorará.

Debido al factor tamaño, por lo general la economía nuclear es mejor en el caso de las unidades más grandes. Ello ha dado lugar al desarrollo y emplazamiento de reactores mayoritariamente de gran potencia en países industrializados con sistemas de redes eléctricas interconectadas muy grandes. Sin embargo, ha habido y sigue habiendo mercado para los reactores de potencia pequeña y mediana (SMR). Los SMR de diseño actual no son versiones reducidas de grandes reactores comerciales, y con ellos se procura ser económicamente competitivos.

La selección del emplazamiento de las centrales nucleares se ha convertido en un tema importante, incluso en aquellos países que siguen llevando adelante sus programas nucleares con la puesta en marcha de nuevos proyectos. Últimamente, la construcción de nuevas unidades en los actuales emplazamientos nucleares se ha convertido en una práctica común, y es rara la apertura de nuevos emplazamientos para centrales nucleares. Los factores económicos favorecen la selección del emplazamiento lo más cerca posible de los centros de carga, incluso para centrales nucleares generadoras de electricidad. En el caso de los reactores de cogeneración o productores sólo de calor, ésta es prácticamente una condición necesaria que hay que cumplir. Sin embargo, el síndrome de "no en mi casa" es un factor importante que incide en la selección del emplazamiento y fomenta la tendencia de seleccionar lugares accesibles pero distantes con miras a evitar posibles conflictos y objeciones. La selección de emplazamientos distantes de las zonas densamente pobladas también facilita el cumplimiento de los requisitos regulatorios, que son cada vez más exigentes. Los diseños de reactores avanzados, en especial de la gama de los SMR con mejores características de seguridad, podrían ser considerados por el público aceptables para su emplazamiento cercano. También podrían cumplir más fácilmente los requisitos regulatorios y mantener los costos de la transmisión de calor a niveles razonables.

En la energía nucleoelectrónica, a diferencia de muchas actividades industriales, predomina el criterio a largo plazo. Tarda años terminar la planificación, el diseño, las actividades preparatorias de los proyectos y la obtención de licencia de cualquier reactor nuclear. Los reactores se diseñan y construyen para que duren unos 40 años o más, y para alcanzar los beneficios económicos esperados tienen que ser explotados con factores de carga elevados durante su vida útil económica. También están los requisitos de infraestructura que, de no existir ésta, exigen tiempo y actividades de desarrollo considerables. Estos esfuerzos sólo pueden justificarse con una perspectiva a largo plazo dirigida a un programa nuclear.

### **Perspectivas de las aplicaciones del calor nuclear**

La utilización de fuentes de calor nuclear para la calefacción urbana o los procesos industriales ha sido técnicamente viable desde el inicio mismo del desarrollo nuclear. Sin embargo, aún no se ha producido una penetración sustancial del mercado del calor. Las perspectivas dependerán fundamentalmente de dónde y cómo puedan equipararse las características de la demanda del mercado del calor con lo que pueden ofrecer los reactores nucleares.

**El mercado de la calefacción urbana.** Las centrales nucleares de cogeneración constituyen una de las opciones de suministro para el mercado de la calefacción urbana. En el caso de los reactores de potencia

mediana y grande, debido a los limitados requisitos de potencia del mercado del calor y los factores de carga relativamente bajos, la electricidad sería el producto principal, y la calefacción urbana representaría sólo una pequeña parte del total de energía producida. Estos reactores, incluida la selección de sus emplazamientos, se mejorarían lo más posible para responder a las condiciones del mercado de la electricidad, y la calefacción urbana sería, en la práctica, un subproducto. Si esas centrales eléctricas se situaran suficientemente cerca de los centros de población de regiones climáticas frías, también podrían atender a las necesidades de calefacción urbana. Tal es la experiencia de Rusia, Ucrania, la República Checa, Eslovaquia, Hungría, Bulgaria y Suiza, que utilizan hasta unos 100 MWt por central eléctrica. Cabe esperar aplicaciones similares en el futuro donde existan condiciones fronterizas similares.

En el caso de los reactores de cogeneración pequeños con rangos de potencia de hasta 300 MWe y 150 MWe, la participación de la energía térmica para la calefacción urbana sería mayor. Pero aun así se seguiría esperando que la electricidad constituya el producto principal, dando por sentada la carga básica, por razones económicas. La esfera de aplicación de estos reactores sería similar a la de los reactores de cogeneración medianos o grandes. Sin embargo, por otra parte, también podrían satisfacer objetivos específicos, como el suministro de energía de cargas concentradas en regiones del mundo frías y distantes.

Otra opción son los reactores productores de calor solamente con destino a la calefacción urbana. Esas aplicaciones se han puesto en práctica en muy pequeña escala (unos cuantos MWt) como proyectos experimentales o de demostración. En 1983-1985 Rusia inició la construcción de dos unidades de 500 MWt, pero posteriormente la interrumpió. Son diversos los diseños en proceso, y se prevé comenzar pronto la construcción de una unidad de 200 MWt en China. Es evidente que las posibles aplicaciones de los reactores productores de calor solamente para la calefacción urbana se limitan a reactores muy pequeños. Estos reactores están diseñados para emplazamientos dentro, o muy cerca, de los centros de población, de manera que los costos de transmisión del calor puedan ser mínimos. Aun así, es difícil lograr su competitividad económica debido a los factores de carga relativamente bajos que se requieren, salvo en determinados lugares distantes donde los costos de los combustibles fósiles son muy elevados y el invierno es muy frío y prolongado.

En resumen, las perspectivas que tiene la calefacción urbana de origen nuclear son reales, pero se limitan a las aplicaciones en que pueden cumplirse eficazmente condiciones concretas relacionadas con el mercado de la calefacción urbana y los reactores nucleares. Las perspectivas que ofrecen los reactores de cogeneración, sobre todo en la gama de los SMR, parecen ser mejores que en el caso de los reactores productores de calor solamente sobre todo por razones económicas.

**Calor para procesos industriales.** Las características del mercado del calor para procesos

industriales son muy diferentes de las del de la calefacción urbana, aunque hay algunos rasgos comunes, en especial en relación con la necesidad de distancias mínimas para el transporte del calor. Sin embargo, los usuarios del calor para procesos industriales no tienen que estar ubicados dentro de zonas densamente pobladas, las que, por definición, constituyen el mercado de la calefacción urbana. Muchos de esos usuarios, en particular los grandes, pueden y suelen encontrarse fuera de las zonas urbanas, con frecuencia a distancias considerables. Ello hace que la selección del emplazamiento de los reactores nucleares junto a los usuarios del calor para procesos industriales no sólo sea viable, sino además conveniente para reducir de manera drástica, o incluso eliminar, los costos del transporte del calor.

El método que se sigue habitualmente en el caso de los reactores de gran tamaño es construir centrales de unidades múltiples. Si se les explota en la modalidad de cogeneración, la electricidad siempre constituiría el producto principal. Por ende, esas centrales tienen que estar integradas en el sistema de la red eléctrica y optimizadas con vistas a la producción de electricidad. En lo que respecta a los reactores SMR y, en particular, los reactores pequeños y muy pequeños, la participación de la generación de calor para procesos industriales sería mayor, e incluso el calor podría ser el producto principal. Ello influiría sobre los criterios de optimización de la central, y podría ofrecer condiciones mucho más atractivas para el posible usuario de calor para procesos industriales. Por consiguiente, las perspectivas que brindan los SMR como centrales cogeneradoras para el suministro de electricidad y calor para procesos industriales son mucho mejores que las de los grandes reactores.

Varias centrales nucleares cogeneradoras en explotación suministran ya calor para procesos industriales a usuarios de ese sector. Los proyectos de más envergadura se ejecutan en el Canadá (Bruce, producción de agua pesada y otros usuarios industriales/agrícolas) y Kazajstán (Aktau, desalación). Otros reactores de potencia que actualmente sólo producen electricidad, podrían convertirse en cogeneradores. De existir cerca de la central un gran usuario de calor para procesos industriales interesado en recibir este producto, la correspondiente conversión a la cogeneración sería técnicamente factible. No obstante, entrañaría costos adicionales que tendrían que justificarse mediante un análisis costo/beneficio. Algunos de esos proyectos de conversión podrían ponerse en práctica pero, en términos generales, esta opción parece tener muy pocas perspectivas.

La instalación de una nueva central nuclear cogeneradora cerca de un usuario industrial ya existente e interesado presenta mejores perspectivas. Incluso mejor sería un proyecto conjunto mediante el cual se pueda planificar, diseñar, construir y, por último, explotar conjuntamente la central nuclear cogeneradora y la instalación industrial que necesita el calor para sus procesos como un complejo integrado.

Los reactores actuales y avanzados de agua ligera o agua pesada ofrecen calor en un régimen de bajas temperaturas, lo que corresponde a los requisitos de varios procesos industriales. Entre éstos, se considera que la desalación de agua de mar es en la actualidad la aplicación más atractiva. Otros tipos de reactores, como los reactores rápidos refrigerados por metal líquido y los reactores de alta temperatura refrigerados por gas, también pueden ofrecer calor para procesos industriales en régimen de bajas temperaturas, pero además, pueden abarcar un régimen de temperaturas más elevadas. Ello amplía su posible ámbito de aplicación. Estos reactores deben seguir sometidos a un importante proceso de desarrollo a fin de alcanzar su madurez comercial. Si llegan a ser, como se espera, económicamente competitivos, sus perspectivas parecen prometedoras a mediano y largo plazos, sobre todo en lo que se refiere a las aplicaciones industriales en régimen de altas temperaturas.

Los reactores solamente productores de calor no se han aplicado aún a escala industrial/comercial para el suministro de calor para procesos industriales. Se han desarrollado varios diseños y se han construido algunos reactores de demostración. De acuerdo con muchos estudios realizados, la competitividad económica parece ser un objetivo alcanzable, pero ello es algo que todavía deberá quedar demostrado en la práctica. El mercado potencial para el tipo de reactores productores de calor solamente estaría limitado a la gama de los muy pequeños, es decir, por debajo de unos 500 MWt.

Las perspectivas que presenta la aplicación de la energía nuclear para la calefacción urbana y el suministro de calor para procesos industriales están muy vinculadas a las perspectivas de empleo de los SMR. Un reciente estudio de mercado de los SMR reveló que está prevista la construcción de 70 a 80 nuevas unidades en unos 30 países hasta el año 2015. También se determinó que se espera que alrededor de una tercera parte de esas unidades se dediquen concretamente a la desalación nuclear. Del resto, un buen número de ellas muy bien podría suministrar calor además de energía eléctrica, mientras que se espera que unas cuantas sean reactores productores de calor solamente.

## Aplicaciones de la energía nuclear: Desalación de agua de mar

*Mediante estudios apoyados por el OIEA, se han definido opciones para demostrar el uso práctico de los sistemas nucleares de desalación*

por Toshio  
Konishi

Los recursos hídricos de diversas regiones del mundo no son suficientes para satisfacer las necesidades de sus habitantes. En muchos casos, la contaminación y la creciente salinidad constituyen una amenaza para las fuentes naturales de abastecimiento de agua dulce. Al mismo tiempo, la demanda de agua salubre y potable aumenta, sobre todo en zonas de rápido crecimiento de la población.

Parte de la solución a esos apremiantes problemas relacionados con el agua puede encontrarse en los abundantes recursos del mar. La desalación es una de las opciones más prometedoras para el abastecimiento de agua potable, y las centrales nucleares pueden desempeñar un importante papel en tal sentido. La capacidad de desalación colectiva del mundo ha aumentado de manera ininterrumpida en los últimos decenios, tendencia que se espera continúe en el siglo siguiente, y cada vez son más los países interesados en utilizar la energía nuclear para desalar el agua de mar.

Las razones por las que se emplea la energía nucleoelectrónica para la generación de electricidad son también válidas para la desalación de agua de mar. Entre estas razones figuran, por ejemplo, la competitividad económica en zonas que carecen de recursos de energía hidroeléctrica o de combustibles fósiles de bajo costo; la diversificación del suministro energético; la conservación de los recursos de combustibles fósiles; el fomento del desarrollo tecnológico; y la protección ambiental, evitando las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero.

Ya en los decenios de 1960 y 1970, el OIEA había estudiado la viabilidad de utilizar la energía nuclear en la desalación de agua de mar. Sin embargo, en aquellos momentos el interés se centró fundamentalmente en el uso de ésta para la generación de electricidad, la calefacción urbana y el calor para procesos industriales. No obstante,

desde 1989, los Estados Miembros del OIEA han mostrado un renovado interés en la desalación nuclear y aprobado algunas resoluciones sobre este tema. Con este apoyo, un creciente número de Estados Miembros del OIEA y organizaciones internacionales han participado en reuniones y ofrecido los conocimientos especializados y la ayuda pertinentes. La asistencia y el apoyo, en que participan más de 20 Estados Miembros, ha incluido la provisión de servicios de expertos y fondos. Además, el Organismo ha realizado estudios para evaluar las posibilidades técnicas y económicas de los reactores nucleares para desalar el agua de mar.

Uno de los estudios, *The Potential for Nuclear Desalination as a Source of Low Cost Potable Water in North Africa*, se terminó en 1996 y fue publicado como documento técnico (IAEA-TECDOC-917). En este estudio se analizó la demanda de electricidad y agua potable, y la disponibilidad de recursos energéticos e hídricos en cinco países, a saber, Argelia, Egipto, la Jamahiriya Arabe Libia, Marruecos y Túnez. El estudio abarcó la selección de emplazamientos representativos, el análisis de diversas combinaciones de fuentes energéticas y procedimientos de desalación apropiados para cada emplazamiento, los factores económicos, los aspectos financieros, la participación nacional, las necesidades de infraestructura y las cuestiones institucionales y ecológicas. En otros estudios genéricos descritos en otra publicación del OIEA (TECDOC-666) se examinaron los costos de diferentes tipos de aplicaciones. Estas evaluaciones han demostrado que la desalación nuclear de agua de mar puede ser técnica y económicamente viable.

\* El Sr. Konishi es funcionario de la Sección de Desarrollo de la Energía Nucleoelectrónica, perteneciente a la División de Energía Nucleoelectrónica y del Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA.

\* En este contexto se entiende por desalación nuclear la producción de agua potable a partir de agua de mar en un complejo integrado en que tanto el reactor nuclear como el sistema de desalación se encuentran en un emplazamiento común, las instalaciones y servicios pertinentes se comparten, y el reactor nuclear produce la energía que se utiliza para el proceso de desalación.



La extracción de la sal del agua de mar requiere energía.

### Evaluación de la experiencia mundial

En las últimas actividades del OIEA la atención se ha concentrado en ayudar a los países a que evalúen la viabilidad económica de emplear las centrales nucleares para la desalación. Se han elaborado métodos que permiten realizar evaluaciones económicas adaptadas a las características específicas del emplazamiento. Los países tienen a su disposición un programa de computadora para utilizarlo en esos análisis, y algunos expertos ya se han capacitado en el uso de dicho programa. Ahora está prevista la elaboración de un programa de computadora más detallado para imputar los costos de plantas de doble finalidad y determinar la forma de combinación óptima.

En 1995, el OIEA reunió a un grupo consultivo de expertos a fin de examinar la experiencia mundial en la combinación de las centrales nucleares con los sistemas de aplicación del calor, como las redes de calefacción urbana y los procesos de desalación. Actualmente, doce países han acumulado unos 500 años-reactor de experiencia operacional en lo que respecta a la cogeneración nuclear y los reactores productores de calor solamente.

La energía nuclear se ha utilizado en la desalación de agua de mar en lugares del Japón y Kazajstán. Si bien en el Japón la mayor parte de las plantas de desalación se dedican fundamentalmente al abastecimiento de agua in situ, en Kazajstán el complejo de desalación de Aktau abastece de agua a un centro de población aledaño.

Aunque la mayoría de los países industrializados prefieren las grandes centrales nucleares para las aplicaciones nacionales, en varios Estados Miembros crece el interés por los reactores más

pequeños (SMR). Estas centrales se acoplarían mejor a las redes eléctricas más pequeñas y débiles, y satisfacerían más el ritmo de crecimiento previsto en la demanda de energía. Para las redes de la mayoría de los países que enfrentan escasez de agua potable, los SMR podrían ser una opción apropiada para la generación de electricidad y la desalación de agua de mar. En un estudio de los SMR, publicado por el OIEA en un documento técnico (TECDOC-881), se llegó a la conclusión de que se han diseñado muchos tipos diferentes de SMR de centrales. Los vendedores han ofrecido estos reactores como posibles opciones para el acoplamiento con los procesos de desalación.

### Definición de opciones

De conformidad con las resoluciones de la Conferencia General del OIEA, el Organismo ha prestado atención especial también a las actividades relacionadas con la definición de opciones para la desalación nuclear y la demostración de la tecnología. El objetivo de un programa de demostración sería crear confianza, mediante el diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento de instalaciones apropiadas, en que es posible realizar con éxito, tanto en el aspecto técnico como en el económico, la desalación nuclear, satisfaciendo, al mismo tiempo, los criterios de seguridad y fiabilidad establecidos al respecto. A tales efectos, se inició el "Programa de definición de opciones" (PDO), por un plazo de dos años, con la participación de representantes de los Estados Miembros interesados.

La finalidad del PDO es seleccionar, de una amplia gama de posibles opciones en cuanto a tecnologías de desalación y tipos de reactores, las que sean más prácticas para la demostración\*. Las opciones de demostración se basan en tecnologías de reactores y desalación existentes, que no requieran ulterior desarrollo en el momento de la demostración.

Al definir las opciones prácticas de demostración, se pasó revista al catálogo de reactores disponibles y se determinaron varios que se consideraron los más apropiados. Se aplicó un conjunto de criterios de selección basados en su diseño y su situación en materia de concesión de licencia. En función de estos criterios se determinaron las tecnologías de reactor ya asequibles o que pudieran estar disponibles en un plazo aproximado de diez años, a contar desde ahora. Después se consideraron otros criterios de selección que resultaron en la exclusión de algunas opciones. Entre ellas figuraban diversos diseños de reactores que no están comercialmente disponibles; refrigerados por metal líquido y reactores de alta temperatura refrigerados por gas, que es poco probable que se distribuyan comercialmente a corto plazo; grandes reactores, que no es probable que se adapten a las redes eléctricas de la mayoría de los países con escasez de agua; reactores pequeños que actualmente parecen ser menos competitivos desde el punto de vista económico (sin embargo, quizás sean prácticos en lugares con poca demanda de agua y donde también resulten costosos otros sistemas de producción de agua potable); y los reactores de agua en ebullición, que probablemente requieran la instalación de sistemas adicionales a fin de evitar liberaciones radiactivas en los sistemas receptores de calor.

Además, se estudiaron las tecnologías de desalación adecuadas para su combinación con un reactor nuclear. Los procedimientos de ósmosis inversa (OI) y destilación de efecto múltiple (MED) de desalación de agua de mar parecen ser los más prometedores, a causa de su consumo de energía y gastos de inversión relativamente bajos, así como de su alta fiabilidad. En un principio, se consideró la posibilidad de aplicar el procedimiento de evaporación instantánea en etapas múltiples (MSF). Sin embargo, el procedimiento MED consume menos energía y parece ser menos sensible a la corrosión y formación de incrustaciones que el MSF. Además, su operabilidad de carga parcial es más flexible. Así pues, el MSF se descartó, pues no presenta ninguna ventaja intrínseca sobre el MED.

\* Para que una opción sea "práctica", se consideró que se deberán cumplir las siguientes condiciones: que no haya obstáculos técnicos a su aplicación y se disponga de un emplazamiento adecuado; que sea técnicamente viable para aplicarla en un plazo previsto; y que los gastos de inversión puedan estimarse en un intervalo aceptable. Las tecnologías nuclear y de desalación tienen perspectivas halagüeñas para aplicaciones comerciales futuras.

A los fines de la demostración, no es necesario aplicar los procesos de desalación al nivel de producción comercial en gran escala. Dos o tres conjuntos o unidades pueden proporcionar las características de diseño y comportamiento operacional que sean completamente representativas de las instalaciones de producción en mayor escala, toda vez que las centrales más grandes son sencillamente conjuntos o unidades múltiples que funcionan en paralelo.

Cuando se combina un reactor nuclear y un procedimiento de desalación para crear un complejo integrado, se toma en cuenta la compatibilidad en el proceso de selección. Además, se consideraron las necesidades de programación, infraestructura e inversión, dada su importancia para determinar las opciones prácticas de demostración.

Como resultado de este proceso de selección, se definieron tres opciones que se recomiendan como fórmulas prácticas aceptables para la demostración de la desalación nuclear. Estas opciones usan reactores refrigerados por agua y tecnologías de desalación ya bien probados.

**Opción 1: Desalación OI combinada con un reactor nucleoelectrónico que esté en construcción, o bien en fase de diseño avanzada y su construcción se prevea en breve plazo.** Se daría preferencia a un reactor de tamaño mediano. Dos o tres conjuntos OI, de hasta 10 000 metros cúbicos diarios cada uno, permitirían una demostración adecuada. Un reactor recién construido ofrecería las mayores posibilidades de integrar plenamente el sistema OI y el del reactor, incluidos el precalentamiento del agua de alimentación y la optimización del diseño del sistema. Esta demostración podría extrapolarse fácilmente a instalaciones mayores de producción con fines comerciales.

**Opción 2: Desalación OI, como la anterior, combinada con un reactor ya en funcionamiento.** Quizás sea necesario hacer algunas ligeras modificaciones en la periferia del sistema nuclear ya establecido. Entre sus ventajas se encuentran un período de aplicación corto, una amplia gama de tamaños de reactores y la disponibilidad de infraestructuras nucleares. Se preferiría un reactor de tamaño mediano, pues posee un sistema similar al que muy probablemente se utilizaría en las instalaciones de producción con fines comerciales.

**Opción 3: Desalación MED combinada con un reactor pequeño.** A los efectos de la demostración de la desalación nuclear, esta opción sería adecuada para una capacidad de hasta 80 000 metros cúbicos diarios.

Se ha llegado a la conclusión de que estas opciones de demostración podrían aplicarse, de haber interés por parte de los inversores. Habría que hacer una inversión del orden de los 25 a 50 millones de dólares de los Estados Unidos para las opciones OI y de los 200 a 300 millones de dólares de los Estados Unidos para la opción MED, incluido en ésta el costo del reactor.

En el proceso de definición y caracterización de opciones de demostración en el marco del PDO hubo que examinar numerosas cuestiones que deben

abordarse para la demostración de la desalación nuclear y la implantación comercial. El objetivo del programa de demostración es crear confianza y confirmar determinadas características o parámetros considerados importantes en el diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento de una instalación de desalación nuclear. Se determinaron varios temas que requieren un examen y una evaluación más a fondo, en lo relativo a aspectos técnicos, de seguridad y económicos. Entre esos temas de investigación específicos cabe citar la interacción entre los reactores nucleares y los sistemas de desalación; los requisitos de seguridad nuclear específicos de los sistemas de desalación nuclear, y los efectos del precalentamiento del agua de alimentación en el comportamiento de los sistemas OI.

Se reconoce que la cuestión de las necesidades de infraestructura de las plantas de desalación nuclear reviste especial importancia, sobre todo para los Estados Miembros que carecen de experiencia en la esfera nucleoelectrónica. Si en uno de esos Estados se ejecutase un proyecto de demostración, constituiría una base muy eficaz y práctica para el desarrollo de su infraestructura nuclear, en particular la de reglamentación de este tipo de energía.

En Kazajstán y en el Japón, hay instalaciones de desalación conectadas a centrales nucleares que producen agua desalada desde hace años. Además de estas experiencias acumuladas en las plantas de desalación nuclear, numerosos Estados Miembros ha mostrado interés en esta opción. Los proyectos nacionales y bilaterales en curso o previstos harán aportes a la experiencia internacional en la desalación nuclear. Estos proyectos deberían ser útiles para la implantación comercial y contribuir a resolver los problemas relativos al abastecimiento de agua potable en el próximo siglo; entre ellos figuran programas y actividades en marcha en China, la India, la República de Corea, Marruecos y la Federación de Rusia. Dichos proyectos, así como los estudios y las actividades de investigación y desarrollo que se llevan a cabo en algunos otros Estados Miembros interesados, pueden propiciar el establecimiento de un programa de demostración universal. Puede considerarse que sirven de base para la cooperación y el apoyo internacionales, y también benefician a otros países interesados. Será importante aprovechar la experiencia acumulada en esos programas y no duplicar las actividades.

Debido al creciente interés mundial en la desalación nuclear, el OIEA organizó un simposio internacional sobre "Desalación de agua de mar mediante la energía nuclear" que tuvo lugar en mayo de 1997, en Taejon, República de Corea. Este simposio se convocó en cooperación con otras organizaciones internacionales y sirvió de foro para el examen de las últimas experiencias tecnológicas, tanto sobre el diseño y desarrollo de los sistemas nucleares de desalación, como sobre sus perspectivas.

## Direcciones futuras

Los estudios realizados hasta la fecha demuestran que la desalación de agua de mar mediante la energía nuclear es una opción práctica para muchos países. La continua expansión de las instalaciones de desalación de agua de mar ofrece un posible mercado para la introducción y la implantación comercial de los sistemas nucleares de desalación. El PDO del OIEA, de dos años de duración, ha definido algunas opciones técnicas prácticas para la demostración de la desalación nuclear. El programa de demostración tiene que concentrar la atención en las cuestiones pertinentes a los proyectos comerciales. Algunas cuestiones, en particular las características técnicas, que tienen un efecto importante sobre la competitividad económica y sobre los aspectos económicos generales de la desalación nuclear, sí necesitan de una demostración a fin de confirmar hipótesis y estimaciones. Como varios países desarrollan actividades en la esfera de la desalación nuclear, se ha propuesto un programa coordinado de investigaciones para 1997.

En los años venideros, será importante proseguir y profundizar en los estudios al respecto, y ayudar a los Estados Miembros interesados a establecer sus infraestructuras nucleares, por ejemplo, mediante la ejecución de programas de demostración. El OIEA continuará apoyando actividades que estimulen la activa participación de los países y que hagan hincapié en el intercambio de conocimientos técnicos y el empleo eficaz de los recursos financieros disponibles. A fin de facilitar el intercambio de conocimientos y experiencias, se está constituyendo un Grupo Asesor Internacional sobre desalación nuclear (INDAG) con la participación de los Estados Miembros que están explotando, desarrollando, diseñando y proyectando plantas de desalación nuclear, o que están interesados en ellas.

Hasta el presente, los resultados de esta cooperación internacional señalan que existen opciones prácticas para la aplicación de la energía nuclear para la desalación de agua de mar. Sin embargo, para hacerlas efectivas será importante educar al público y ganarse la confianza de los inversores. Entre los medios para lograr tal fin figuran la explotación continua, segura y fiable de las centrales nucleares, la información exacta sobre los riesgos y beneficios comparativos de las fuentes de energía nuclear y de otro tipo, y las estimaciones de gastos conservadoras de las instalaciones de desalación nuclear. Ello proporcionará una base sólida para llevar adelante el desarrollo eficaz, las demostraciones y las aplicaciones en gran escala que ayuden a resolver el creciente problema del abastecimiento de agua en el mundo.

## Futuros sistemas de energía nuclear: Generar electricidad, quemando desechos

*La fusión de la tecnología de aceleradores con reactores ofrece perspectivas para producir energía y quemar el plutonio y los desechos radiactivos*

por Viktor  
Arkipov

Los desechos de alta radiactividad que se generan durante la producción de energía constituyen uno de los mayores problemas que emanan del uso de la energía nuclear, y que debe resolverse de manera eficiente y segura. Si bien existen soluciones técnicas, como los repositorios geológicos profundos, la idea que tiene el público sobre la seguridad de la tecnología ha afectado, y, en muchos casos, demorado, el avance en materia de evacuación de desechos radiactivos. Ello se debe fundamentalmente, entre otras razones, a que muchos de los radisótopos generados por la fisión son de período largo y su período de semidesintegración es del orden de 100 000 a 1 millón de años. Los problemas de percepción podrían reducirse considerablemente si existiera una forma de quemar o destruir los desechos radiactivos de período largo más tóxicos durante la producción de energía.

Recientemente se ha introducido una nueva opción tecnológica, o más bien, una innovación viable derivada de ideas anteriores. Se trata de la fusión de las tecnologías de aceleradores y de reactores de fisión en un sistema único que tiene la posibilidad de generar electricidad de manera eficiente a partir de la fisión nuclear y/o transmutar los desechos radiactivos de período largo. En su forma más simple, en este concepto de producción de energía accionada por aceleradores se utilizan neutrones producidos por un haz de protones de alta energía para accionar un conjunto fértil que contiene combustible fisionable y desechos radiactivos. El conjunto fértil es como un reactor en el que la fisión es la fuente de energía; sin embargo, a diferencia de un reactor convencional, es un conjunto subcrítico y sin el acelerador no puede sostener una reacción en cadena. En este sistema el uranio, el plutonio o el torio se podrían utilizar como combustible.

---

El Sr. Arkipov es consultor de la Sección de Desarrollo de la Energía Nucleoeléctrica de la División de Energía Nucleoeléctrica y del Ciclo del Combustible del OIEA.

Lo mismo que destruye los desechos de alta radiactividad, el sistema accionado por aceleradores ayudaría a satisfacer las crecientes necesidades de energía al producir electricidad, la forma de energía más conveniente y útil. En los dos próximos decenios, la demanda de todas las fuentes de energía aumentará, y ojalá que se puedan satisfacer las necesidades de la población mundial, cada vez mayor, y que, según cálculos de las Naciones Unidas, se acercará a los 8,5 millardos de personas en el año 2025.

---

### Transmutación de desechos radiactivos

La gestión de desechos radiactivos por métodos ecológicamente inocuos es un problema importante que afrontan todos los países que desarrollan una industria nuclear. En muchos países se ha convertido en una cuestión política grave que atrae una enorme atención crítica del público en general.

El concepto del ciclo del combustible nuclear cerrado se consideró siempre como la transmutación (el quemado) solamente del plutonio y del uranio reciclado, y los actínidos inferiores (neptunio, americio, curio) se destinaban a la evacuación geológica definitiva. Sin embargo, con el transcurso del tiempo, están surgiendo nuevas ideas: la disminución de la cantidad de actínidos reduciría las exigencias de los repositorios definitivos y los haría relativamente menos costosos.

La transmutación neutrónica de actínidos inferiores radiactivos de período largo mediante el proceso de fisión —que comprende la producción de energía y la conversión simultánea de éstos en nucleidos de período más corto— es objeto de profundo análisis en los círculos técnicos. Asimismo, se propone la transmutación neutrónica de productos de fisión de período largo seleccionados.

Se han sugerido varias posibilidades para la transmutación de nucleidos de período largo mediante reacciones nucleares. En un inicio, la mejor opción parecía ser el uso de los reactores nucleares. Sin embargo, recientemente se ha mani-

festado un renovado interés en lo que se denomina sistemas accionados por aceleradores (ADS), tecnología, al parecer, promisoría.

El interés está dado por el interrogante de qué hacer con el plutonio excedente acumulado en los arsenales de armamentos, y en los inventarios, mucho mayores y crecientes, de combustible gastado procedente de las operaciones nucleares industriales. Existen serias preocupaciones políticas acerca del uso indebido del plutonio y la liberación al medio ambiente de este material muy tóxico. Se están examinando muchas opciones para evacuar este plutonio, y una de ellas consiste en quemarlo mediante la tecnología de los ADS. Con esos sistemas se producirían grandes cantidades de energía eléctrica y, al mismo tiempo, se destruiría el plutonio. Ello parece ser una mejor solución para el problema del plutonio que la del almacenamiento durante varios milenios.

Las posibilidades del concepto de accionamiento por aceleradores también pueden aplicarse al quemado simultáneo de los productos de fisión de período largo y los actínidos presentes en los desechos generados por los reactores nucleares de potencia con fines industriales. El objetivo del quemado de esos productos de fisión es destruir los isótopos de período largo que, dada su movilidad, serían los que más aportarían a las dosis radiactivas liberadas de un repositorio, a saber, el tecnecio 99, el yodo 129 y el cesio 135. Estos tres isótopos representan, por su peso, un 5% del total de los productos de fisión generados durante la producción de energía y son los causantes principales de los posibles riesgos a largo plazo de la evacuación geológica. Si se logra la destrucción interna de estos tres isótopos, el resto de los desechos de los productos de fisión estables y de período corto puede confinarse en almacenamiento tecnológico, quizás incluso en el mismo lugar donde se produce la energía.

Para quemar al máximo los productos de fisión es necesario tratarlos en el emplazamiento. El perfeccionamiento del conjunto fértil blanco accionado por aceleradores para este quemado permite reducir de manera considerable el volumen y la semidesintegración de la corriente de desechos, lo que simplifica los requisitos de almacenamiento a largo plazo y de evacuación segura. Incluso, se prevé que este sistema permita producir energía eléctrica suficiente para cubrir los costos de inversión y de explotación de la instalación, aunque la función primaria del sistema sea quemar desechos radiactivos.

Los objetivos son loables; sin embargo, se debe tener presente que la tecnología aún requiere llevar a cabo muchas actividades de investigación y desarrollo. Todavía quedan por probar la viabilidad técnica y, en especial, la racionalidad económica y radiológica de la transmutación. En consecuencia, se deberá hacer una comparación y evaluación cuidadosas de los argumentos a favor y en contra del fraccionamiento y la transmutación de los desechos radiactivos.

## Combinando producción de energía con transmutación

La idea de utilizar los aceleradores en las aplicaciones de la energía nuclear no es nueva, sino que ya había sido propuesta por E. Lawrence, inventor del ciclotrón, a fines del decenio de 1940. En los cincuenta, Lawrence promovió el desarrollo de un acelerador de ensayo de materiales en Livermore con el objetivo de generar flujos neutrónicos intensos para producir plutonio. El Chalk River Laboratory de Canadá comenzó estudios intensivos de sistemas basados en aceleradores para producir combustible nuclear para reactores de agua pesada. Asimismo, a fines de los setenta y principios de los ochenta, científicos del Laboratorio Nacional de Brookhaven promovieron activamente las opciones basadas en aceleradores. Durante los últimos cinco años, científicos del Laboratorio Nacional de Los Alamos han venido reevaluando la tecnología basada en aceleradores a la luz de los avances tecnológicos actuales y de las perspectivas mundiales en materia de energía.

Hace poco, Carlo Rubbia, laureado con el Premio Nobel y ex Director General de la Organización Europea de Investigaciones Nucleares (CERN), ha propuesto y sigue promoviendo activamente un sistema de generación de energía accionado por aceleradores, que se basa en el ciclo del torio-uranio.

Existen dos tipos de aceleradores que podrían accionar este sistema aproximadamente a 1 GeV y a corrientes medias del orden de 10 a 100 mA. La primera opción es la de utilizar un acelerador lineal; la segunda, la de emplear un acelerador circular que tiene la ventaja de ser un sistema más compacto. Si bien las dos opciones permiten obtener la energía necesaria, ambas requieren un desarrollo tecnológico para alcanzar las intensidades de haces necesarias. El ciclotrón está limitado a corrientes de 10 a 15 mA debido a la dificultad para confinar adecuadamente el haz, mientras que se prevé que el acelerador lineal sea capaz de producir una corriente de haces quizás de 100 a 200 mA. En el modo pulsado, los aceleradores lineales ya producen esas corrientes, sin embargo, aún se necesita un desarrollo tecnológico significativo para lograr una operación casi continua para las corrientes más altas. Un sistema que genere 15 mA de protones y 800 MeV puede accionar un conjunto fértil para que produzca 200 MW de energía eléctrica. A este nivel de energía, el acelerador circular es una opción posible. El acelerador lineal de alta corriente podría accionar un sistema que produzca 1200 MW eléctricos. En ambos casos, se prevé que entre un 15% y un 20% de la energía eléctrica total se utilice para accionar el acelerador.

Varios países y organizaciones internacionales investigan en estos momentos diversas opciones técnicas de transmutación y producción de energía mediante los ADS. Una serie de proyectos sobre los ADS son objeto de estudio en el Japón, en el marco del Proyecto OMEGA (Opciones para el

mejor aprovechamiento de los actínidos y productos de fisión); en los Estados Unidos (en los laboratorios nacionales de Los Alamos y Brookhaven); en Francia (Commissariat à l'énergie atomique, o CEA); en la Federación Rusa, en la CERN, en la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos; y en la Comisión Europea (CE).

Los conceptos de los ADS pueden clasificarse según sus características físicas y objetivos finales. La clasificación se basa en el espectro de la energía neutrónica, la forma del combustible (sólido, líquido), el ciclo del combustible y el tipo de refrigerante/moderador, y los objetivos del sistema. Al igual que los reactores, los sistemas accionados por aceleradores pueden concebirse para que trabajen en dos modos de espectro neutrónico diferentes: en neutrones rápidos, o en térmicos. Asimismo, en la CERN, se trabaja en el diseño de un sistema que explotará las resonancias de las secciones eficaces de neutrones en lo que podría clasificarse como un modo del "neutrón de resonancia". Tanto el sistema rápido como el térmico se están examinando para combustibles sólidos y líquidos. Incluso, se ha propuesto el combustible cuasilíquido sobre la base del concepto del combustible en forma de partículas (lecho de bolas), desarrollado en Brookhaven.

Como ya se señaló, el objetivo de algunos ADS es transmutar los componentes existentes en el combustible gastado procedente de los reactores nucleares, en especial el plutonio y los actínidos inferiores, independientemente de que se esté o no produciendo energía. Otros sistemas están diseñados para aprovechar el ciclo del combustible del torio para la producción de energía. La mayoría de los conceptos se basan en aceleradores lineales. Sin embargo, el grupo de la CERN e investigadores de Brookhaven proponen utilizar un ciclotrón para acelerar protones.

El sistema de producción de energía accionado por aceleradores propuesto en Los Alamos es un acelerador lineal de haces de protones de alta energía, un blanco de metal pesado (plomo o plomo-bismuto), y un sistema de combustible líquido. El combustible líquido resulta atractivo porque elimina los procesos de fabricación de combustible sólido y la gestión de los haces de combustible y, al mismo tiempo, permite la extracción continua de una parte significativa de los productos de fisión durante la operación. Esta extracción mejora la economía del combustible y permite destruir los componentes de período largo de los productos de fisión. Se escogió la opción de las sales fundidas porque funciona a bajas presiones, tiene estructuras mecánicas más sencillas, menos pérdidas de absorción de neutrones y requiere menos cantidad de combustible líquido.

El sistema nuclear subcrítico accionado por aceleradores propuesto por Carlo Rubbia y sus colaboradores de la CERN es un sistema de neutrones rápidos. Los elementos combustibles están en forma sólida, con agujas combustibles revesti-

das. El combustible nominal es torio/uranio 233, aunque también puede funcionar con plutonio (ya sea de calidad apropiada para armas o para reactores) y también puede escindir los actínidos más pesados como el americio y el curio. Varias de las características de seguridad pasiva del concepto se basan en sus propiedades físicas.

En el Japón, en los dos últimos decenios, el Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica (JAERI) ha realizado estudios de diseño de sistemas de transmutación. Se están estudiando dos tipos de conceptos de los ADS: un sistema blanco/sólido núcleo y un sistema blanco de sales fundidas/núcleo. En varias universidades del Japón se está estudiando el concepto de un reactor de sales fundidas impulsado por aceleradores. El JAERI iniciará muy pronto el Proyecto sobre Ciencias Neutrónicas que tiene el objetivo de introducir innovaciones científicas y tecnológicas para el siglo XXI en las esferas de las ciencias básicas y la tecnología nuclear usando neutrones. El estudio de sistemas de transmutación accionados por aceleradores y el desarrollo de un acelerador intenso de protones son partes importantes de este proyecto.

En los últimos años, diferentes laboratorios del CEA, de Francia, han venido trabajando en varios aspectos de la tecnología y la física de los ADS. En 1995, se decidió iniciar un programa limitado, dedicado a la validación experimental de los principales aspectos relacionados con un sistema genérico accionado por aceleradores.

En centros científicos de la Federación de Rusia, varios grupos han venido trabajando en aspectos de la tecnología y en la física de los ADS. Se están examinando distintos conceptos de los ADS con estructuras y materiales diferentes para los conjuntos blanco y fértil. Algunos estudios relacionados con el fraccionamiento y la transmutación, los llamados proyectos de conversión, reciben apoyo financiero de instituciones internacionales, principalmente en el marco del Centro Internacional de Ciencia y Tecnología.

La AEN tiene un amplio programa de trabajo internacional en relación con las cuestiones de la transmutación y la separación de los productos de fisión y los actínidos. Recientemente el Comité de Desarrollo Nuclear de la AEN creó un grupo de expertos para estudiar los sistemas de fraccionamiento y transmutación de actínidos y productos de fisión. El Comité de Ciencia Nuclear de la AEN tiene una serie de proyectos de cooperación que abarcan los aspectos científicos y físicos de los diferentes conceptos de transmutación.

La CE coordina los proyectos de los Estados Miembros sobre la base de la repartición de los gastos y realiza estudios sobre los actínidos inferiores, los combustibles y el fraccionamiento en el Instituto Europeo de Elementos Transuránicos. El Instituto se ha dedicado a esa investigación durante 30 años. Los estudios sobre los combustibles que contienen actínidos inferiores han conducido a la realización de una serie de experimentos sobre irradiación, algunos de los cuales

ya han concluido. Mediante otro programa, la CE presta especial atención a los efectos de las tecnologías basadas en aceleradores sobre la seguridad de la fisión nuclear. Uno de los objetivos es coordinar esfuerzos para crear, en Europa, las bases científicas y tecnológicas de los proyectos de cooperación.

### **Función de las actividades del OIEA en esta esfera**

En esta esfera, las actividades del OIEA se emprenden en el marco de un programa sobre los nuevos sistemas de energía nuclear para la generación de energía y la transmutación. En este sentido, el objetivo es constituir un foro mundial para el examen técnico y el debate de los programas, proyectos y temas del desarrollo y la introducción de la energía nuclear, incluidos los ADS. Las actividades se centran en la recopilación y difusión de los informes de situación y la información técnica, y en la prestación de apoyo a las investigaciones coordinadas. Entre dichas actividades figuran las siguientes:

*Preparación y publicación de un informe de situación sobre los ADS.* Este trabajo es el resultado de debates técnicos efectuados en un Programa Científico Especial sobre el "Empleo de aceleradores de alta energía para la transmutación de actínidos y la producción de energía", que tuvo lugar en Viena, en 1994, durante la celebración de la Conferencia General del OIEA. El informe está destinado a planificadores, personal directivo y otras partes interesadas en el desarrollo de los ADS, y ofrece una reseña de las actividades de desarrollo en ejecución, los diferentes conceptos que se están formulando y la situación de sus proyectos, así como las tendencias típicas del desarrollo, y evaluaciones de las posibilidades de este sistema para producir energía, quemar el plutonio y transmutar los desechos radiactivos. Contiene trabajos preparados por expertos de seis países y dos organizaciones internacionales, así como resúmenes de muchas esferas diferentes de la tecnología de los ADS.

*Informe de situación sobre el ciclo del combustible basado en el torio.* En este informe se actualizará la información disponible en los últimos seis años e indicará las esferas que requieren investigaciones adicionales. Contendrá trabajos de países específicos y de grupos técnicos, así como pormenores de sus conceptos.

*Programa coordinado de investigaciones.* Este programa se centra en el uso del ciclo del combustible basado en el torio en los ADS para incinerar

el plutonio y reducir la toxicidad de los desechos a largo plazo. La primera etapa comprende puntos de referencia sobre los ADS y cálculos neutrónicos y uno de sus objetivos es lograr consenso sobre los métodos de cálculo y los datos nucleares conexos.

Reunión de Comité Técnico sobre viabilidad y motivación respecto de los métodos híbridos de generación y transmutación de la energía nuclear. En septiembre de 1997, se reunirán expertos técnicos para examinar y debatir las ventajas e inconvenientes de los métodos híbridos en relación con la situación actual y la posible dirección futura de la energía nucleoelectrónica en el mundo, así como para presentar opciones y recomendaciones a los Estados Miembros del OIEA en esta esfera.

### **Retos y oportunidades**

Antes de que puedan demostrarse las posibilidades del concepto de los ADS, quedan por explorar y responder muchos interrogantes técnicos y de ingeniería. Las actividades futuras requerirán más cooperación internacional para mancomunar conocimientos especializados y recursos.

En muchos sentidos, vale la pena intentar aplicar los sistemas accionados por aceleradores. Produciendo electricidad, estos sistemas pueden contribuir a satisfacer las crecientes necesidades de energía del mundo; e incinerando el plutonio y los desechos de radiactividad alta, pueden ayudar a lograr los objetivos de protección del medio ambiente y de la gestión segura de los desechos. Con algunos de los ADS en desarrollo, es posible producir energía a partir del torio, elemento que abunda en un conjunto fértil subcrítico y seguro con una corriente de desechos nucleares mínima. Además, se prevén sistemas que permitan quemar el plutonio procedente de los armamentos e incinerar el combustible nuclear gastado, incluidos sus principales productos de fisión, procedente de las centrales nucleares con fines industriales.

Actualmente, varios institutos científicos y laboratorios nacionales y regionales del mundo se dedican a actividades de investigación y desarrollo de sistemas accionados por aceleradores. A nivel mundial, los programas del OIEA en esta esfera contribuyen a fomentar el intercambio de información y las investigaciones conjuntas sobre temas específicos. Esta labor es prueba del aumento del interés por la tecnología de los ADS como instrumento práctico que ayude a la consecución de los objetivos internacionales en materia de energía y de protección del medio ambiente.

## Los gases de efecto de invernadero y el ciclo del combustible nuclear: ¿qué emisiones se generan?

*Los estudios demuestran que la energía nuclear, comparada con otras fuentes de electricidad, libera poco dióxido de carbono o metano a nuestro medio ambiente*

por Martin Taylor

Cuando a finales del decenio de 1980 comenzó a aumentar la preocupación por el efecto de invernadero, el tema pronto se convirtió en un factor cada vez más importante de los debates públicos sobre el valor relativo de diferentes fuentes de electricidad. Los argumentos a favor de la energía nucleoelectrica parecían claros — no emitía gases de efecto de invernadero (GHG) — a diferencia de los combustibles fósiles. Desde luego, se reconocía que parte de la energía utilizada en instalaciones del ciclo del combustible nuclear provenía de combustibles fósiles, pero era de por sí evidente que ello generaba cantidades insignificantes de GHG. Sin embargo, algunos detractores de la industria nuclear comenzaron a plantear la tesis de que las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), imputables a las etapas del ciclo del combustible nuclear, eran significativas, y que incluso podían compararse en magnitud con las procedentes del quemado de combustibles fósiles. Aunque parecía ser una hipótesis insostenible, otros grupos antinucleares de varios países la adoptaron y repitieron.

Por consiguiente, aunque el argumento de que la energía nucleoelectrica produce indirectamente cantidades significativas de CO<sub>2</sub> parecía a todas luces falso, el Instituto del Uranio (UI) decidió examinar estas aseveraciones e intentar refutarlas con más elementos. A continuación se resumen las conclusiones a que hemos llegado como resultado de esa investigación.

### El ciclo del combustible nuclear y el CO<sub>2</sub>

El trabajo más ampliamente citado sobre la tesis de que la energía nucleoelectrica emite de manera indi-

El Sr. Taylor trabaja en el Instituto del Uranio, Piso 12, Bowater House, 114 Knightsbridge, Londres, SW1X 7LJ. El presente artículo se basa en un informe contenido en el Documento Técnico del OIEA publicado en julio de 1996 bajo el título "Comparison of Energy Sources in Terms of their Full Energy Chain Emission Factors of Greenhouse Gases" (IAEA-TECDOC 892). Se dispone de referencias sobre el autor.

recta (a través de su ciclo del combustible) cantidades significativas de CO<sub>2</sub> fue el presentado por la organización Amigos de la Tierra en el contexto de la investigación pública realizada en el Reino Unido sobre la propuesta de construcción del reactor de agua a presión de Hinkley Point, trabajo escrito por el Dr. Nigel Mortimer. Otras fuentes utilizaron este trabajo como referencia para apoyar sus afirmaciones de que la energía nuclear podría producir de manera indirecta una gran cantidad de CO<sub>2</sub>. El argumento se basa en la conjetura de que si el empleo de la energía nuclear aumentara de manera significativa, entonces los recursos de uranio conocidos se consumirían rápidamente. Ello daría lugar a que se utilizaran minerales de uranio de más baja ley, lo que traería como resultado el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, toda vez que la extracción de uranio a partir de un mineral menos rico exigiría más energía fósil. El Dr. Mortimer afirma que las emisiones de CO<sub>2</sub> podrían alcanzar, dentro de unos cuantos decenios, el mismo nivel que el de las provenientes de las centrales eléctricas alimentadas con carbón.

Este argumento tiene diversos aspectos débiles y, por ello, Donaldson y Betteridge, de la AEA Technology, lo impugnaron punto por punto. En particular, el Dr. Mortimer da por sentado que ya no quedan más reservas de uranio a bajo costo por descubrir, mientras que, de hecho, la reactivación de las construcciones nucleares y un alza en la demanda de uranio propiciarían el aumento de las exploraciones y el descubrimiento de otros recursos. Además, cualquier expansión importante de la energía nucleoelectrica (según los postulados del Dr. Mortimer) supondría, en unos cuantos decenios, el empleo cada vez mayor del reciclado y la comercialización de reactores rápidos. En cualquier caso, aun cuando supongamos un crecimiento modesto de la producción nuclear para después del 2000, entonces podemos calcular que los recursos a costo relativamente bajo (los cuales son minerales de ley razonablemente alta) que ya están identificados en la actualidad serían suficientes hasta después del 2020.

En 1992 la generación nuclear a escala mundial fue de 323 gigavatios eléctricos (GWe) aproximadamente, lo que requirió cerca de 55 000 toneladas

de uranio (tU). El UI prevé que para el año 2000 la generación nuclear anual ascienda a un total de 360 GWe, lo que exige alrededor de 64 000 tU anuales. Si suponemos, por ejemplo, que la capacidad nuclear aumentará en 20 GWe anuales entre el 2001 y el 2010, y en 30 GWe anuales entre el 2011 y el 2020, entonces la generación nuclear total será de 560 GWe en el año 2010 y de 860 GWe en el 2020. Si se necesitaran 160 tU por GWe anualmente, en ese caso el total acumulativo de la demanda de uranio sería de unas 670 000 tU en el año 2010 y de casi 2,5 millones de tU en el 2020.

En cambio, según una evaluación del UI de los recursos mundiales de uranio, el total de los recursos ya conocidos de uranio a bajo costo supera los tres millones de tU. De esta cifra, más de dos millones de tU son recursos del "mundo occidental", y más de un millón de tU se encuentran en la antigua Unión Soviética, Europa central y oriental, y China.

En consecuencia, puede verse que la hipótesis de que la energía nuclear contribuiría de manera significativa a las emisiones de CO<sub>2</sub> se apoya en un escenario muy improbable. Tendría que existir un programa a gran escala de nuevas construcciones nucleares, que agotara con rapidez los recursos de uranio conocidos, y que continuara ejecutándose aunque no se produjeran descubrimientos importantes de otros recursos de uranio económicos. Incluso, después de varios decenios, no se recurriría mucho al reciclado ni al empleo de reactores rápidos.

### Comparaciones con otras fuentes de energía

Después, el UI examinó lo que algunos estudios venían haciendo para determinar el nivel real de emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo del combustible nuclear y compararlo con la generación de combustibles fósiles. Dos estudios, uno de Alemania y otro de los Estados Unidos, parecían indicar acertadamente la magnitud de estas emisiones.

En un minucioso estudio de Weis, Kienle y Hortmann, de la asociación alemana de compañías eléctricas VDEW, se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el ciclo del combustible nuclear en la antigua Alemania occidental. Se estimó cuánta energía se utiliza en cada una de las etapas del ciclo del combustible, se examinaron las fuentes reales de la energía empleada (es decir, el carbón y la energía nuclear e hidroeléctrica, entre otras), y luego se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes. Por otra parte, destacaron el hecho de que el consumo de energía en el ciclo del combustible ha disminuido drásticamente en los últimos años, a medida que ha aumentado la eficiencia. En el estudio se llegó a la conclusión de que la energía utilizada en la preparación del combustible para reactores alemanes es el 0,7% de la energía eléctrica que el combustible producirá en el reactor. La mayor parte de este uso de energía proviene, en gran medida, de la electricidad que se emplea en las plantas de enriquecimiento, y sólo una pequeña proporción se deriva de la extracción del uranio. Habida cuenta de las fuentes reales

### Emisiones de dióxido de carbono imputables a diversas etapas del ciclo del combustible nuclear, a partir del programa de Alemania

Proceso del ciclo del combustible nuclear	Consumo de energía específica (kWh/kg Unat)	Consumo de energía expresado en % del contenido de energía eléctrica	Emisiones de CO <sub>2</sub> específicas procedentes de energía consumida (kg CO <sub>2</sub> /kg Unat)	Emisiones de CO <sub>2</sub> anuales para alimentar un LWR típico de 1300 MWe (toneladas)
Extracción y tratamiento	59	0,1	47	9 100
Conversión	7	0,01	<7	<1 400
Enriquecimiento	310	0,6	140	27 200
Fabr. de combustible	7	0,01	3	600
Total	383	0,7	197	38 300

Fuentes: "Kernenergie und CO<sub>2</sub>: Energie-Aufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Brennstoff-gewinnung", *Elektrizitätswirtschaft Jg 89 (1990)*.

que usan las compañías eléctricas alemanas, las emisiones de CO<sub>2</sub> resultantes de este uso de la energía fueron un 0,5% aproximadamente de las que genera una central alimentada con carbón de la misma capacidad. (Véase el cuadro).

En el estudio también se señaló que en el futuro se reducirán las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la energía nuclear (en el caso de Alemania), debido a que aumentará el empleo del enriquecimiento por centrifugación gaseosa en lugar de la difusión, y a que se abrirán minas con mayores concentraciones de uranio (por ejemplo, en el Canadá). Sin embargo, como los procesos de extracción y tratamiento del uranio aportan sólo cerca de un 15% al uso total de la energía proveniente del ciclo del combustible nuclear, se señala que aun cuando este componente cambiara de manera significativa, su efecto en el total sería reducido.

Science Concepts realizó otro análisis para US Council for Energy Awareness (hoy día Instituto de Energía Nuclear). En dicho estudio se calcularon las emisiones de CO<sub>2</sub> imputables a las centrales nucleares de los Estados Unidos, partiendo de la hipótesis de que el único aporte significativo provenía de la energía utilizada en el enriquecimiento (no se tomaron en cuenta otras etapas del ciclo del combustible). Se supuso que la capacidad nuclear total de los Estados Unidos, de unos 100 GWe, requiere alrededor de 12 millones de UTS anuales, y que cada UTS necesita 2500 kWh de electricidad (utilizando el proceso de difusión gaseosa). Por consiguiente, el total de electricidad requerido anualmente para el enriquecimiento ascendió a 30 millones de kWh aproximadamente. En la región donde se enriquece el uranio, el 65% de la electricidad se genera con carbón, el 6% con gas natural y el 29% con energía nuclear e hidroeléctrica. Por tanto, en el estudio se llegó a la conclusión de que la generación nuclear produce emisiones a un ritmo de un 4% de la generación de carbón equivalente.

La diferencia entre las estadísticas de Alemania y de los Estados Unidos obedece fundamentalmente a que, mientras que el proceso de enriquecimiento en los Estados Unidos es prácticamente todo difusión gaseosa, en Alemania sólo el 17% del enriquecimiento se realiza en plantas de difusión. Como el consumo de energía de las centrífugas es menor, menores son las

emisiones de CO<sub>2</sub>. La introducción de la tecnología de enriquecimiento mediante láser, en la actualidad en fase de desarrollo, propiciará que el uso de la energía se reduzca aún más que con las centrífugas.

### Emisiones de metano y extracción de uranio

El UI también examinó las posibles emisiones de metano que genera la extracción de uranio. Una vez más, aunque parecía harto evidente que esas emisiones no eran significativas en comparación con las procedentes de los combustibles fósiles, se decidió analizar las pruebas existentes.

Como norma, el metano se forma a partir de la descomposición de la materia orgánica. Cuando esa materia queda atrapada debajo de la superficie terrestre, a menudo el propio metano queda atrapado en el subsuelo entre las pequeñas grietas de las rocas. La extracción de mineral en esas regiones permite que el metano se desprenda, y si no se recoge, penetra en la atmósfera. Las vetas subterráneas de carbón siempre contienen cantidades importantes de metano. En algunos casos es posible recogerlo en las minas y quemarlo como combustible; sin embargo, en otras minas el sistema de ventilación lo libera a la atmósfera. El metano también puede desprenderse por otros tipos de explotación minera en rocas que contienen materia orgánica. Por consiguiente, es posible que algo de metano se desprenda como resultado de la extracción de uranio en determinadas regiones. Sin embargo, esas emisiones son muy inusuales y, por tanto, han sido objeto de pocos estudios. Los datos en que se apoya el presente informe se relacionan con Australia, el Canadá y los Estados Unidos, países que aportan un 40% de la producción mundial de uranio.

Aunque en las minas subterráneas de Australia y el Canadá se vigila de manera rutinaria la existencia de gases explosivos (incluido el metano), parece que no se ha detectado ninguno en las minas de uranio. Las minas subterráneas de uranio de estos países se encuentran en formaciones rocosas muy antiguas que casi no contienen materia orgánica. En los Estados Unidos, se tiene conocimiento de una mina subterránea de uranio en la que se detectó metano. Esta mina, que se clausuró en septiembre de 1988, parece ser el único ejemplo reciente de una mina de uranio que produce metano en los Estados Unidos. La mina en la que se detectó metano fue Lisbon Mine, de La Sal, Utah, explotada por la Rio Algom Corporation. En 1973, luego de un incidente de combustión y de la posterior detección del metano, el Departamento de Trabajo, Seguridad Minera y Administración Sanitaria (MSHA) de los Estados Unidos clasificó la mina como "gaseosa". En 1979, ocurrieron otros incidentes de escape de metano. En una investigación del estado de la mina, realizada en diciembre de 1978, el MSHA notificó que el volumen total de metano que se liberaba era de 91 920 pies cúbicos diarios (2600 m<sup>3</sup> diarios). En un trabajo elaborado por el personal del MSHA sobre la existencia de metano figuran cálculos del índice de emisión de

metano por tonelada de mineral extraído. La Lisbon Mine calcula que el índice es de unos 100 pies cúbicos por tonelada (3 m<sup>3</sup>/tonelada).

El UI no pudo encontrar informes adicionales sobre otras minas de uranio en ningún otro país que haya afrontado problemas similares con el metano. Tampoco pudimos encontrar en fuentes públicas otras referencias a las emisiones de metano procedentes de la extracción del uranio. Desde luego, ello no descarta la posibilidad de que se hayan dado otros casos de producción de metano; empero, lo que parece probable es que esos casos han sido escasos.

En este contexto, debe señalarse que se dispone de poca información histórica sobre la extracción del uranio en la antigua Unión Soviética y en algunos otros países. Por consiguiente, es poco probable que el UI conociera de algunas emisiones de metano provenientes de la extracción de uranio en esos países.

**Posibles emisiones de metano.** La información anterior se refiere sólo a las minas de uranio existentes (tanto clausuradas como en explotación), y no a las posibles emisiones de metano de los yacimientos de uranio que aún no se han explotado. Los yacimientos de uranio sí existen en una amplia gama de formaciones geológicas diferentes, incluidas las rocas que contienen carbono, pero no suelen aparecer en concentraciones recuperables desde el punto de vista económico. En años anteriores, se han realizado estudios sobre la viabilidad de extraer uranio a partir de carbón de baja ley. De hecho, entre los años 1963 y 1967, varias minas pequeñas estadounidenses de la región de la Cuenca de Williston, de Dakota del Norte y Dakota del Sur y Montana, produjeron uranio a partir de mineral asociado con lignito, el cual puede haber contenido metano. Sin embargo, esos yacimientos no representan una parte importante de las reservas totales de uranio, y, en cualquier caso, es poco probable que resulten económicos en el futuro previsible.

### En perspectiva

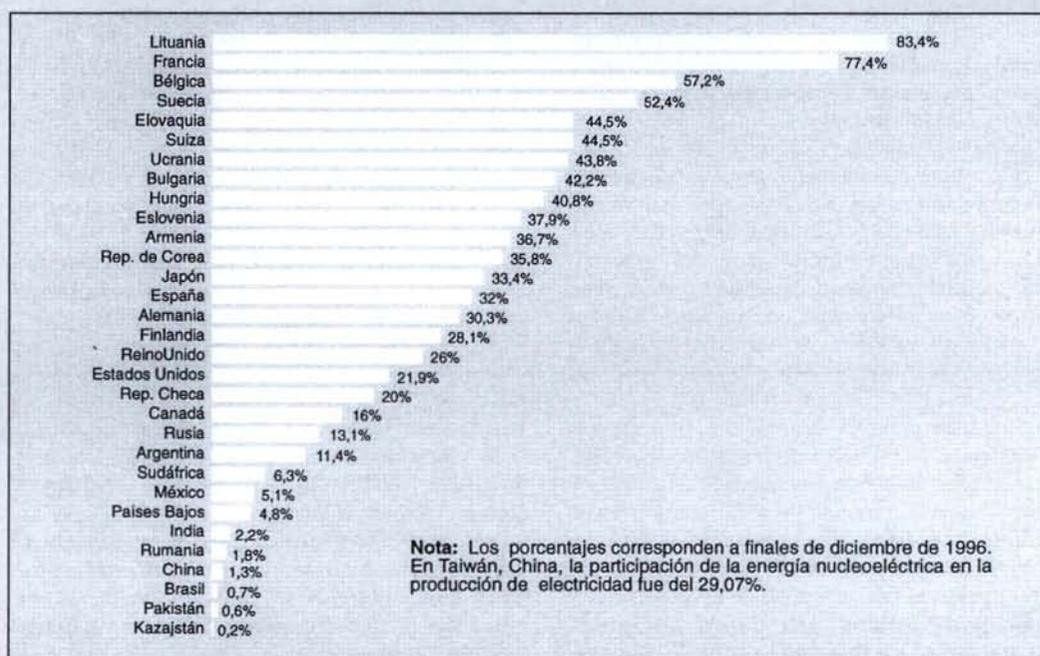
Según demuestran estudios sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del ciclo del combustible nuclear en circunstancias distintas en dos países diferentes, esas emisiones son un 0,5% al 4% de las procedentes de capacidades de generación con carbón equivalentes. Las aseveraciones de que la energía nucleoelectrónica podría producir indirectamente cantidades significativas de CO<sub>2</sub> se basan en un escenario muy improbable. Con relación al metano, la información indica que la mayor parte del uranio se produce con poco o ningún metano asociado. En casos aislados, el metano puede estar vinculado a la extracción del uranio y a minerales que contienen uranio. Empero, teniendo en cuenta que la producción mundial de uranio supone la extracción anual de menos de diez millones de toneladas de mineral, comparado con una producción anual de carbón de unos 4500 millones de toneladas, parecería que la producción de metano proveniente de la extracción del uranio puede catalogarse con exactitud de despreciable.

# DATOS ESTADISTICOS INTERNACIONALES

	En funcionamiento		En construcción	
	No. de unidades	MWe Totales netos	No. de unidades	MWe Totales netos
Alemania	20	22 282		
Argentina	2	935	1	692
Armenia	1	376		
Bélgica	7	5 712		
Brasil	1	626	1	1245
Bulgaria	6	3 538		
Canadá	21	14 902		
China	3	2 167	1	
Corea, República de	12	9 770	4	3 220
Eslovaquia	4	1 632	4	1 552
Eslovenia	1	632		
España	9	7 207		
Estados Unidos	110	100 579		
Finlandia	4	2 355		
Francia	57	59 948	3	4 355
Hungría	4	1 729		
India	10	1 695	4	808
Irán, República Islámica del			2	2 146
Japón	53	42 335	2	2 111
Kazajstán	1	70		
Lituania	2	2 370		
México	2	1 308		
Países Bajos	2	504		
Pakistán	1	125	1	300
Reino Unido	35	12 928		
República Checa	4	1 648	2	1 824
Rumanía	1	650	1	650
Rusia, Federación de	29	19 843	4	3 375
Sudáfrica	2	1 842		
Suecia	12	10 040		
Suiza	5	3 078		
Ucrania	16	13 765	5	4 750
<b>Total mundial*</b>	<b>443</b>	<b>351 475</b>	<b>35</b>	<b>27 028</b>

## Reactores de energía nucleoelectrica en el mundo

\*Este total incluye Taiwán, China, donde hay seis reactores en funcionamiento con una capacidad total de 4884 MWe. Situación hasta finales de Mayo de 1997. Los datos que figuran en el cuadro y el gráfico infra son preliminares, se basan en los informes del OIEA y están sujetos a cambio.



## Participación de la energía nucleoelectrica en la generación de electricidad

## **Paso trascendental: Junta del OIEA aprueba nuevas medidas de salvaguardias**

En reuniones celebradas los días 15 y 16 de mayo, en Viena, la Junta de Gobernadores del OIEA, compuesta por 35 miembros, aprobó nuevas medidas fortalecidas que aplicarán los inspectores del Organismo encargados de verificar que los Estados cumplan con sus compromisos de no producir armas nucleares. Más de 180 países ya han contraído compromisos en virtud del Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (TNP) y tratados análogos. Las nuevas medidas se describen en un Protocolo convenido mediante el cual los países aceptarían que se realice una verificación más rigurosa e intrusiva en sus territorios.

Al referirse a la acción de la Junta en una conferencia de prensa efectuada el 16 de mayo, su Presidente, Embajador Peter Walker, del Canadá, dijo que ello representaba un importante logro, que coronaba cinco años de esfuerzo de los Estados Miembros y la Secretaría del OIEA.

Los tratados de no proliferación estipulan que los Estados declaren todas sus actividades nucleares al Organismo. El objetivo clave de las nuevas medidas es aumentar la capacidad del OIEA para detectar posibles actividades nucleares clandestinas en Estados que no poseen armas nucleares y, por consiguiente, fomentar la confianza respecto de que esos Estados están cumpliendo con sus obligaciones. Con todo, si bien el Protocolo es parte de un plan para aplicar salvaguardias fortalecidas y más eficaces en los Estados no poseedores de armas nucleares, también contiene medidas que podrían mejorar las salvaguardias en otros Estados, incluidos los Estados poseedores de armas nucleares.

Las nuevas medidas dan más acceso a los inspectores, o sea, acceso a más información sobre los programas nucleares, actuales y previstos, de los Estados, y acceso a más lugares en sus territorios. Los inspectores tendrán acceso no sólo a emplazamientos nucleares, sino también a otros lugares que pudieran contribuir a la ejecución de un programa nuclear, como instalaciones de investigación o de fabricación.

Las nuevas medidas incluyen el empleo de tecnologías ultramodernas para detectar la actividad nuclear mediante muestras tomadas del medio ambiente y para operar a distancia sistemas de supervisión y vigilancia en lugares clave del Estado en que se realice la inspección. Los Estados que acepten el Protocolo también tendrán que simplificar la desig-

nación de inspectores y los requisitos de visado para ellos, a fin de facilitar las inspecciones en los emplazamientos con breve preaviso. Muchas de las nuevas medidas se han sometido a amplios ensayos sobre el terreno en Estados Miembros que han cooperado a esos efectos y se han fortalecido las medidas ya aplicadas conforme a la facultad legal que tiene el Organismo. El OIEA también prevé que la aplicación de estas nuevas medidas se traducirá en un aprovechamiento más rentable de sus recursos de salvaguardias.

Al acoger con beneplácito la medida de la Junta, el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix, dijo en Viena que con esa decisión se inauguraba un nuevo e importante capítulo en la historia de las salvaguardias. La Secretaría está dispuesta a pasar a la fase de aplicación tan pronto como los Estados las suscriban. El Dr. Blix apuntó que con la acción de la Junta culminaba una amplia labor de desarrollo de salvaguardias que se realizó en dos partes en los últimos años. La primera parte, aprobada por la Junta en junio de 1995 y ahora en proceso de aplicación, se centró en las medidas de fortalecimiento de conformidad con la facultad legal del Organismo.

**Conferencia de prensa ofrecida por los Estados Unidos.** En una conferencia de prensa celebrada en Viena el 16 de mayo, el Embajador de los Estados Unidos, Sr. John B. Ritch III, dijo que los Estados Unidos tenían la intención de aplicar las disposiciones del Protocolo en su totalidad, salvo en lo que se refiere a la información o lugares de importancia directa para la seguridad nacional. Los Estados Unidos, uno de los cinco Estados que han declarado poseer armas nucleares, tienen con el OIEA un acuerdo de salvaguardias basado en "ofrecimiento voluntario" en virtud del cual más de 200 instalaciones nucleares del sector civil están abiertas a las inspecciones del Organismo. En una declaración emitida en Washington, DC, el 16 de mayo, el Presidente de los Estados Unidos, Sr. William Clinton, encomió al OIEA y a sus Estados Miembros por aprobar las nuevas medidas de salvaguardias, y dijo que procuraría que se promulguen las leyes que puedan ser necesarias para aplicar el Protocolo en los Estados Unidos. Instó a todas las naciones a que adoptaran lo antes posible protocolos adecuados relativos a sus propios acuerdos de salvaguardias o que concertaran otros acuerdos con fuerza obligatoria para lograr establecer el nuevo sistema de salvaguardias.

## **Conferencias sobre responsabilidad por daños nucleares y seguridad de los desechos a principios de septiembre**

El OIEA ha previsto celebrar dos conferencias diplomáticas a principios de septiembre de 1997. Las conferencias se han convocado con miras a que los Estados aprueben los textos definitivos de documentos jurídicos que se han negociado sobre los respectivos temas de la responsabilidad por daños nucleares y la seguridad de los desechos.

**Responsabilidad por daños nucleares.** La Conferencia Diplomática sobre Responsa-

bilidad por Daños Nucleares se celebrará del 8 al 12 de septiembre en Viena. Bajo los auspicios del OIEA, los Estados han negociado dos instrumentos jurídicos que juntos revisan el régimen internacional para la responsabilidad por daños nucleares- proyecto de protocolo que enmienda la Convención de Viena de 1963 y una Convención sobre financiamiento suplementario.

**Seguridad en la gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos.** Se prevé que del 1 al 5 de septiembre se celebre la Conferencia Diplomática para examinar la Convención mixta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos. La Convención mixta abarca las aplicaciones en el sector civil, incluido el combustible gastado que se encuentra en instalaciones de reelaboración como parte de una actividad de reelaboración. Con el objetivo de lograr y mantener un elevado nivel de seguridad en todo el mundo, la Convención mixta obliga a los Estados a aprobar medidas adecuadas para velar por la gestión segura y ecológicamente racional de los dese-

chos radiactivos y el combustible gastado, así como para prevenir accidentes con consecuencias radiológicas. En las reuniones periódicas de examen, las Partes Contratantes deben presentar informes nacionales sobre las medidas que han adoptado para cumplir con sus obligaciones en virtud de la Convención.

En junio, la Junta también tuvo a la vista recomendaciones de su Comité de Asuntos Administrativos y Presupuestarios y temas relativos a la aplicación de las salvaguardias; las actividades de cooperación técnica; el nombramiento del Director General del Organismo; y el 41º período ordinario de sesiones de la Conferencia General del OIEA, que comenzará en Viena el 29 de septiembre.

En junio, la Junta de Gobernadores del OIEA, compuesta por 35 miembros, seleccionó al Dr. Mohamed M. ElBaradei, quien ostenta el rango de Embajador del Servicio Diplomático y Consular de Egipto, como candidato para suceder al Dr. Hans Blix en el cargo de Director General del Organismo. El nombramiento del Dr. ElBaradei, por recomendación de la Junta, se remite ahora a la Conferencia General del OIEA, que se reunirá en Viena, a partir del 29 de septiembre, y a la que se pedirá que apruebe el nombramiento. El nombramiento se haría efectivo en diciembre, tras expirar el actual mandato de cuatro años del Dr. Hans Blix, quien regresa al servicio internacional en Suecia. El Dr. Hans Blix fue nombrado por primera vez Director General del OIEA en 1981 y cumplió cuatro mandatos consecutivos.

El Dr. ElBaradei es en la actualidad Director General Adjunto para Relaciones Exteriores del OIEA. Asimismo, desde 1984 ha ocupado distintos cargos de alto nivel en el

Organismo y tiene una extensa hoja de servicios profesionales e internacionales dentro y fuera del sistema de las Naciones Unidas. Durante su carrera en el OIEA, ha prestado servicios como Asesor Jurídico del Organismo y Director de la División de Asuntos Jurídicos, así como Representante del Director General del OIEA ante las Naciones Unidas en Nueva York. También participó en calidad de representante de su país, o del OIEA, en una diversidad de actividades multilaterales, incluidos trabajos con la Asamblea General de las Naciones Unidas, el Consejo de Seguridad, el Comité de Desarme, las Conferencias encargadas del examen del Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares, el Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina, la Organización de la Unidad Africana y el Grupo de Expertos de las Naciones Unidas encargado de elaborar el Tratado sobre una zona libre de armas nucleares en África.



Dr. Mohamed M. ElBaradei

En diferentes declaraciones formuladas en mayo, el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix, señaló a la atención los grandes desafíos relacionados con la seguridad y el desarrollo a nivel mundial, el suministro energético sostenible, y el futuro de la energía nuclear.

**Reunión General de la Asociación Mundial de Explotadores de Instalaciones Nucleares, Praga.** El Dr. Hans Blix pidió colaboración para seguir mejorando la seguridad y el comportamiento de las centrales nucleares y para lograr una mayor comprensión de sus beneficios ambientales. Manifestó que en estos momentos el mundo no ha emprendido el camino para lograr un suministro energético sostenible. Están aumentando las emisiones de dióxido de carbono, a pesar de la Convención sobre el Clima, aprobada en la Cum-

bre para la Tierra, en 1992, y se pronostica que las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la energía podrían aumentar en casi 50% en los próximos doce años. Aunque la energía nucleoelectrónica no será el único medio para reducir esas emisiones, el Dr. Hans Blix dijo que tendrá que ser "parte indispensable" de la respuesta, ya que las centrales nucleares no emiten dióxido de carbono hacia la atmósfera. Los países que dependen de la energía nucleoelectrónica, añadió, han logrado importantes beneficios ambientales, y mencionó la experiencia de Francia, Suecia y otros países. Asimismo, apuntó que a nivel mundial, las emisiones de dióxido de carbono serían de alrededor del 9% más elevadas si las centrales nucleares del mundo se tuviesen que reemplazar por centrales de tamaño comparable alimentadas con carbón. El

## Declaraciones del Director General del OIEA

Dr. Hans Blix también reseñó el considerable progreso logrado en la ampliación del marco jurídico internacional en esferas de la seguridad nuclear y la gestión de desechos nucleares. Afirmó que hoy podemos decir que la cuestión de la seguridad nuclear ha adquirido un carácter verdaderamente internacional y que el fortalecimiento de la seguridad nuclear y radiológica es fruto del esfuerzo de la cooperación internacional.

**Primer período de sesiones de la Conferencia de las Partes de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ), La Haya.** El Dr. Hans Blix acogió con beneplácito la entrada en vigor de la Convención sobre las Armas Químicas (CAQ) como otra medida encaminada a lograr que el mundo se vaya liberando gradualmente de las armas de destrucción en masa. Señaló que hasta el establecimiento de la OPAQ, el OIEA tenía el mérito de haber sido la única organización internacional que realizaba verificaciones in situ de los compromisos sobre limitación de los armamentos. Añadió que con el fortalecimiento de la distensión, la comunidad mundial había observado que en los años noventa los regímenes bilaterales de limitación de los armamentos habían pasado a tomar una orientación multilateral, cambio que se ejemplifica con la CAQ y el Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares. El Dr. Hans Blix manifestó su confianza en la capacidad de la OPAQ para verificar eficazmente el cumplimiento con los compromisos de la CAQ, y apuntó que la experiencia del OIEA en la esfera de las salvaguardias nucleares, tanto positiva como negativa, había sido provechosa al redactar la Convención y establecer la OPAQ. Al pasar revista a los importantes acontecimientos ocurridos en la esfera de la verificación nuclear, se refirió a las amplias medidas encaminadas a fortalecer el sistema de salvaguardias del OIEA y las posibles nuevas funciones de verificación surgidas tras el fin de la guerra fría. Con perspectivas de futuro, el Dr. Hans Blix exhortó a incrementar la cooperación entre los órganos internacionales de verificación con miras a mejorar la eficacia y aumentar la eficiencia. Si bien algunos tipos de procedimientos de verificación son muy especializados, algunas técnicas y dificultades en materia de verificación son comunes a muchos de los sistemas en funcionamiento o en perspectiva. Como ejemplos citó el problema de la ambigüedad del equipo de "doble uso"; la facultad para realizar inspecciones in situ y su organización; la utilización de equipo de vigilancia a distancia; la gestión del reconocimiento aéreo; y la interpretación de imágenes de satélite.

**Foro Bruno Kreisky, Viena.** En relación con la conmemoración del cuadragésimo aniversario del OIEA, el Dr. Hans Blix habló en el Foro Kreisky sobre el reto de prevenir el uso destructivo de la energía nuclear, y desarrollar sus potencialidades constructivas. El Dr. Hans Blix pasó revista a los muchos usos beneficiosos de

las técnicas y tecnologías nucleares, así como a las medidas que se están tomando sobre cuestiones de seguridad relacionadas con las operaciones de las centrales nucleares y la gestión de desechos radiactivos. Con respecto al control del átomo del sector militar, se centró particularmente en cuatro diferentes imperativos: lograr que prosiga la reducción de los arsenales nucleares, y la verificación de las reducciones; lograr la adhesión universal a la prohibición de los ensayos nucleares; alentar a que más Estados se comprometan a oponerse a la opción de las armas nucleares; y lograr suficiente control sobre los materiales nucleares a fin de impedir que regímenes o terroristas fabriquen bombas.

**Simposio sobre desalación de agua de mar mediante la energía nuclear, Taejon.** Al inaugurar el simposio en la República de Corea, el Dr. Hans Blix dijo que estaba convencido de que en el futuro se empleará cada vez más la energía nuclear para desalar el agua para beber. En muchas regiones del mundo escasea el agua potable debido al desarrollo económico y al crecimiento de la población, sumado a la contaminación. Por consiguiente, los gobiernos están tratando de encontrar una tecnología de eficacia comprobada y económicamente viable para la desalación del agua. Mencionó los ejemplos del Japón y Kazajstán, donde las instalaciones de desalación adscritas a las centrales nucleares han venido desalando agua durante años. El aumento de proyectos nacionales o bilaterales podrían traducirse en un uso comercial más amplio, lo que aumentaría el abastecimiento de agua potable en el próximo siglo.

**Seminario sobre Corporaciones Nucleares en China, Beijing.** El Dr. Hans Blix encomió los planes de China para aumentar el uso de la energía nucleoelectrónica a fin de satisfacer en mayor medida sus necesidades energéticas. Señaló que China había adoptado una política encaminada a reducir del 70% al 50% la dependencia del carbón en la generación de electricidad para el año 2020. Durante muchos años, se prefirieron los combustibles fósiles, como el gas y el petróleo, para producir electricidad debido a su bajo costo. Sin embargo, las reservas de esos combustibles fósiles son finitas y ya no se pueden seguir pasando por alto sus consecuencias para el medio ambiente, la salud y otros costos. Señaló que las fuentes de energía renovables y eficaces cobrarán cada vez mayor importancia en el futuro, y que sería un grave error excluir sencillamente la opción nuclear de futuros escenarios de mezcla energética. Manifestó su convicción de que si los países tecnológicamente avanzados aumentaban la participación de la energía nuclear en sus propias mezclas energéticas, se reduciría el daño ambiental ocasionado por el incremento del uso de combustibles fósiles en las regiones menos desarrolladas.

Nadie discute que la población mundial continuará creciendo de manera sustancial en el siglo XXI, al igual que su necesidad de energía. El interrogante es: ¿cómo se abastecerá esa energía? En ese contexto, ¿cómo podría considerarse el componente nuclear? ¿Se dispondrá del combustible necesario? ¿Qué deberá hacerse con el plutonio que ha sido declarado que excede de las necesidades militares o que procede del combustible nuclear gastado? Estas fueron algunas de las cuestiones debatidas por los más de 150 eminentes expertos de gobiernos y la industria de todo el mundo reunidos en el Simposio sobre estrategias relacionadas con el ciclo del combustible nuclear y los reactores: adaptación a las nuevas realidades, celebrado en el OIEA, en Viena, del 3 al 6 de junio de 1997.

La perspectiva energética hasta el año 2050 fue el tema de un documento temático examinado el primer día. El documento contiene tres escenarios distintos, ya que las proyecciones para esa escala cronológica están obviamente sujetas a una serie de variables. Lo que hoy se puede decir es que se seguirá disponiendo de las reservas conocidas de cuatro fuentes de energía fundamentales, a saber, el carbón, el gas natural, el petróleo y el uranio, pero que sin duda serán más caras -lo que impide el descubrimiento de nuevas reservas importantes que son económicamente explotables. En cuanto al aspecto nuclear, si las reservas de uranio disminuyen y el uranio se encarece, existen diferentes formas de asegurar la disponibilidad de combustible para los reactores tér-

micos existentes y nuevos, entre ellas cabe mencionar la extracción de más uranio 235 fisionable del uranio natural, reduciendo el "ensayo de las colas" en el proceso de enriquecimiento, aumentando el quemado en el reactor, y el uso de un combustible que es una mezcla de uranio y plutonio reciclado, conocido como mezcla de óxidos o MOX. También está la cuestión del grado en que los reactores rápidos, que pueden quemar y producir plutonio, pueden tener una función en la producción comercial de energía. En uno de los documentos temáticos a ese respecto se considera posible, pero no antes del año 2030. Tres países, a saber, Francia, el Japón y Rusia, aún siguen explorando esta tecnología.

El Simposio también examinó la cuestión del uso del plutonio. En este contexto se analizó la cooperación internacional con respecto a la eliminación de anteriores materiales para armas, y la cuestión de la medida en que el plutonio puede necesitarse como fuente energética en el futuro previsible. Otros problemas que se trataron son las disposiciones de salvaguardias necesarias y las consecuencias para la salud, la seguridad y el medio ambiente del posible uso del plutonio como fuente de energía. Los documentos temáticos se elaboraron con una amplia participación internacional. El último día se publicó un resumen que puede obtenerse en los servicios *World Atom* del OIEA en Internet en <http://www.iaea.org>. Para más información, diríjase a la División de Energía Nucleoeléctrica y Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA.

**Cuestiones energéticas que figuran en el programa del Simposio sobre el ciclo del combustible nuclear celebrado en junio**

Los adelantos de la biotecnología y esferas conexas están ayudando a veterinarios e investigadores del mundo a resolver los problemas que afectan la salud y la productividad del ganado, sobre todo de los países en desarrollo. En el reciente Simposio Internacional sobre diagnóstico y control de las enfermedades del ganado utilizando técnicas nucleares y conexas, patrocinado conjuntamente por el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se reunieron más de 100 científicos de países en desarrollo e industrializados para examinar técnicas y estrategias encaminadas a diagnosticar y luchar con eficacia contra las enfermedades del ganado. Las técnicas incluyen métodos nucleares y conexas aplicados en estudios de producción y de la salud del ganado.

En el Simposio, celebrado en la sede del OIEA en Viena, del 7 al 11 de abril de 1997, se debatieron temas relacionados con la serología, la biología molecular, la epidemiología,

los factores sociales y económicos y las tecnologías de la información que influyen en el estudio y la lucha contra las enfermedades de los animales. Con relación a los aspectos serológicos, los debates se centraron en el efecto del ensayo inmunoabsorbente por conjugados enzimáticos (ELISA) en general, así como en sus aplicaciones específicas para la fiebre biliosa, la fiebre aftosa, la brucelosis y la tripanosomiasis; el desarrollo de ensayos que se pueden hacer al lado del animal; el uso de biosensores que proporcionan datos inmediatos sobre la situación de una enfermedad; y el efecto de anticuerpos monoclonales como reactivos monoespecíficos. Con relación a los aspectos de la biología molecular, los científicos examinaron los últimos adelantos en técnicas moleculares; el uso de la tecnología de reacción en cadena de los polímeros para el diagnóstico y la epidemiología molecular, que permite la determinación categórica de agentes patógenos en las novedosas vacunas genéticas. En la esfera de la epidemiología, en el

**Atomos para la productividad y sanidad pecuarias**

Simposio se reseñaron las concepciones modernas de enfermedades en diversas poblaciones; se examinaron cuestiones relacionadas con la garantía de calidad de las pruebas empleadas para obtener información sobre enfermedades; se examinaron los sistemas de información geográfica que presentan en forma de mapas pautas patológicas y factores pertinentes; y se analizaron los efectos ambientales sobre la distribución de las enfermedades. En cuanto a los factores sociales y económicos, los participantes debatieron los efectos de distintos sistemas de explotación agrícola en los problemas relacionados con la lucha contra las enfermedades; examinaron los ejercicios de rentabilidad en la lucha contra las enfermedades; y analizaron las necesidades de capacitación de los científicos. En la esfera de las tecnologías de la información, en la reunión se reseñaron las posibilidades de los servicios computadorizados y telefónicos para el intercambio de información, el almacenamiento y análisis de datos, así como para fines de capacitación y gestión.

Al examinar la gama de beneficios que traen las nuevas tecnologías, los participantes reconocieron que el uso de nuevas técnicas "más modernas" por el sólo hecho de ser más modernas, no era necesariamente beneficioso, y que más bien debería ponderarse cuidadosamente cuál sería el uso más pertinente y viable de los recursos, teniendo en cuenta la fase de desarrollo del país de que se trate. Asimismo, destacaron la importancia de la ciencia y las investigaciones "orientadas a la solución de los problemas", y del análisis concienzudo de las aplicaciones "convencionales" y de "alta tecnología", al evaluar las necesidades prácticas de los países en desarrollo. Los científicos subrayaron además que una buena infraestructura veterinaria y un personal bien capacitado y motivado al nivel nacional son insustituibles para detectar las enfermedades y luchar contra ellas. El OIEA está preparando la publicación de las actas del Simposio. Puede obtenerse más información solicitándola a la División Mixta FAO/OIEA en la sede del OIEA en Viena.

### Comprensión de los cambios climáticos

Las actividades humanas influyen notablemente en los cambios que se operan en la atmósfera. Por ejemplo, para las evaluaciones de esos cambios es muy beneficioso examinar los antecedentes históricos registrados mediante mediciones isotópicas en muestras de sedimentos y hielo. Para examinar el papel distintivo que los isótopos pueden desempeñar en la comprensión de los complejos procesos que influyen en los cambios climáticos, del 14 al 18 de abril de 1997, el OIEA celebró, en Viena, el Simposio internacional sobre técnicas isotópicas en el estudio de los cambios ambientales ocurridos en el presente y el pasado en la hidrosfera y la atmósfera.

En la inauguración del simposio, el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix, expresó su preocupación con respecto al aumento de las concentraciones de gases nocivos como, por ejemplo,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}_2$  procedentes del quemado de combustibles fósiles. El Director General mencionó que la energía nucleoelectrónica, aunque es económicamente viable y satisface el 17% de la demanda mundial de electricidad, no libera gases contaminantes hacia la atmósfera, que amenacen el clima mundial. También destacó que los programas del OIEA sobre hidrología isotópica ayudan a los países a evaluar, a comprender más cabalmente, y a ordenar sus recursos hídricos, sobre todo en los casos en que se ven afectados por los cambios ambientales.

El Simposio reunió a 180 científicos en representación de 46 Estados Miembros, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco), la Organización de

las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (PMIC) y el Programa Internacional Geosfera-Biosfera (PIGB). En total, se presentaron 65 memorias científicas y 59 carteles que reflejaban la labor realizada por los científicos para determinar los cambios en la atmósfera y los ecosistemas mundiales, y para determinar las influencias antropógenas. Las mediciones isotópicas en archivos naturales, —como muestras de hielo profundo, aguas paleosubterráneas, depósitos en lagos o materia orgánica— son requisitos indispensables para lograr reconstruir con éxito climas y cambios ambientales pasados. Ese conocimiento es la única forma de poder comprender de manera cuantitativa lo que podría suceder en el futuro cercano. Por ejemplo, los modelos actuales indican que la temperatura mundial ha aumentado en unos 5 grados Celsius en los últimos 10 000 años. Por tanto, la información permite pronosticar los efectos sobre los ecosistemas forestales, la desertificación, y los recursos hídricos, así como la posibilidad de que ocurran inundaciones y sequías. En el Simposio también quedó claro que las metodologías isotópicas son imprescindibles para determinar con precisión el presupuesto atmosférico de los gases de efecto de invernadero, en especial sus fuentes y sumideros, a fin de poder predecir y determinar los efectos del cambio climático. El OIEA está preparando la publicación de las actas del simposio. Para más información, diríjase a la Sección de Hidrología Isotópica del OIEA.

**En memoria de: Stephane Drege**  
16 de agosto de 1922 - 2 de mayo de 1997



Cuando Stephane Drege falleció el 2 de mayo de 1997 a la edad de 74 años en Málaga, España, se alzaron voces para rendirle tributo desde París hasta Nueva York, desde Ginebra hasta Viena y desde parajes distantes. Entre esas voces se encontraban las de su esposa austríaca, Monika, y sus innumerables amigos y colegas de todo el mundo. Stephane fue un lingüista, con expresión fluida en francés, inglés, español, alemán, portugués e italiano, que desempeñó funciones de traductor, revisor y "editor residente" de la edición francesa del *Boletín del OIEA* durante gran parte del pasado decenio. Nadie pudo haber desempeñado mejor ese trabajo, ni con más iniciativa personal. Su sensibilidad, experiencia profesional, conocimientos de la terminología científica, las cuestiones nucleares y los acontecimientos a nivel mundial confirmaron la frase de que un buen traductor es "el mejor amigo de un editor". Stephane detectaba errores, alimentaba egos, corregía los

errores de interpretación y aclaraba términos y conceptos complejos y técnicos con los editores y los autores en los idiomas maternos de esas personas, no sólo en el suyo propio.

Stephane figuraba entre los primeros lingüistas de las Naciones Unidas. Comenzó su carrera internacional como traductor en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York, en 1946, poco después de graduarse de la Universidad de París, y de prestar servicios en las fuerzas armadas de Francia en Casablanca. Poco más de diez años después, regresó a París, donde dirigió la Sección editorial en francés del *Reader's Digest* hasta que aceptó un puesto análogo en la Escuela Berlitz en París. En marzo de 1964 pasó a desempeñar funciones en el OIEA, y llegó a ser revisor principal de la Sección de Traducción al francés en la que trabajó durante catorce años. Cumplió posteriores misiones en la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) y en el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), entre otras organizaciones internacionales.

El personal de las cinco ediciones de idiomas del *Boletín del OIEA* se suma a todos los que conocieron a Stephane para rendirle tributo. Su vida y obra perduran en las palabras traducidas de presidentes, príncipes, ganadores del premio Nobel y Directores Generales a cuyo servicio puso sus talentos lingüísticos. Todos le recordaremos con afecto por la amistad y el cariño que sabía brindar, por su dedicación y servicio distinguido y por su permanente "joie de vivre".- *el Editor*.

Los Estados partes en la Convención sobre Seguridad Nuclear han establecido el marco para sus respectivos exámenes por homólogos de los informes nacionales sobre las medidas encaminadas a garantizar la seguridad de las centrales nucleares. Reunidos en el OIEA del 21 al 24 de abril, 34 de las Partes Contratantes en la Convención, incluidos 26 países que explotan centrales nucleares, fijaron el 12 de abril de 1999 para la celebración de la primera Reunión de Examen, y los informes nacionales deberán presentarse a más tardar el 29 de septiembre de 1998. Asimismo, aprobaron las normas de procedimiento y el reglamento financiero de la Reunión de Examen; las directrices relativas a los informes nacionales; y las directrices que abarcan el propio proceso de examen. La reunión estuvo presidida por el Sr. Lars Högberg, Director General del Inspectorado Sueco de Energía Nucleoeléctrica, y actuó como Vicepresidente el Sr. Young-Soo Eun, del Instituto de Seguridad Nuclear de Corea. La Conven-

ción sobre Seguridad Nuclear, que entró en vigor en octubre de 1996, se aplica a las centrales nucleares emplazadas en tierra. Su objetivo es que los Estados participantes contraigan el compromiso jurídico de mantener un elevado nivel de seguridad mediante el establecimiento de puntos de referencia internacionales a los que se adhieran los Estados. Por ejemplo, las obligaciones de las Partes incluyen la selección del emplazamiento, el diseño, la construcción, la explotación, la evaluación y verificación de la seguridad, la garantía de calidad, el estado de preparación para casos de emergencia y los aspectos legislativos y reglamentadores de las centrales. Como instrumento de estímulo, la Convención sobre Seguridad Nuclear parte del interés común de los Estados en lograr y mantener elevados niveles de seguridad en las centrales nucleares. Hasta mayo de 1997, 37 Estados habían aceptado, ratificado, o de otra manera, aprobado la Convención sobre Seguridad Nuclear, y 65 Estados la habían firmado.

**Los Estados fijan fecha de la reunión para el examen sobre la seguridad nuclear**

## **Namibia: Nuevo miembro del programa del Organismo contra el tráfico ilícito**

Ya suman 50 los países que se han integrado en el programa del OIEA de apoyo a los esfuerzos que se realizan a nivel mundial contra el tráfico ilícito de materiales nucleares y otras fuentes radiactivas. A principios de abril, Namibia se convirtió en el país de más reciente incorporación al programa, que abarca el desarrollo y la explotación de una base de datos fiable de información sobre incidentes de tráfico ilícito. Desde octubre de 1996, el OIEA ha puesto información resumida y fidedigna sobre casos confirmados a la disposición de sus Estados Miembros y determinadas organizaciones internacionales que trabajan con el Organismo en esta esfera. Hasta el momento, la mayoría de los casos confirmados se refieren a personas que han tratado de vender ilegalmente fuentes radiactivas empleadas en la medicina o la industria, cuyo uso o movimiento no autorizado constituye un peligro para la salud pública. En algunos otros casos se ha tratado de muestras de materiales aptos para utilizaciones bélicas confiscados a personas.

El programa del OIEA consta de varios componentes relacionados con temas de prevención, respuesta, capacitación e intercambio de información. Si bien los gobiernos y las autoridades nacionales tienen la principal responsabilidad de combatir el tráfico ilícito, la adopción de medidas eficaces requiere una estrecha cooperación entre los Estados y organizaciones internacionales como el OIEA. En los últimos años, los Estados han solicitado al Organismo que ayude de diferentes formas a las autoridades estatales, regionales e internacionales pertinentes. Además de mantener la base de datos, el OIEA también ayuda a los países a desarrollar los sistemas nacionales de control de materiales nucleares y brinda apoyo técnico en esferas de la protección física. Asimismo, establece una colaboración más estrecha con las organizaciones que encabezan los esfuerzos para combatir el tráfico ilícito, en especial los órganos encargados de hacer cumplir la ley y las autoridades aduaneras, responsables principales de la detección y prevención.

## **República de Corea: Desalación del agua de mar**

Aunque el abastecimiento de agua potable del mundo supera la demanda, los recursos no están distribuidos equitativamente. Algunos países cuentan con un suministro abundante, pero muchos más hacen frente diariamente a

una grave escasez. Los países recurren cada vez más al mar como fuente de suministro de agua y, en algunos casos, a la energía nucleoelectrónica como fuente de energía para las plantas de desalación. Sobre la base de la conclusión de estudios internacionales al respecto, el OIEA convocó, del 26 al 30 de mayo de 1997, un Simposio internacional sobre desalación de agua de mar mediante la energía nuclear en Taejeon, República de Corea.

En los últimos años, el OIEA ha venido recibiendo solicitudes de sus Estados Miembros para que investigue el uso de reactores nucleares para la desalación de agua de mar. A nivel mundial en los últimos decenios ha habido un aumento significativo en el establecimiento de instalaciones para desalar agua de mar, utilizando fuentes de energía convencionales. Se espera que muchas regiones y países amplíen su capacidad de desalación de agua de mar. A estos efectos, ahora también se acude a los diversos incentivos que en el pasado condujeron al despliegue de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica, entre ellos figuran la competitividad económica, la diversificación del suministro energético, la conservación de recursos limitados de combustibles fósiles, el desarrollo tecnológico y la protección ambiental mediante la eliminación de emisiones que causan la lluvia ácida, y los cambios climáticos debidos al quemado de combustibles fósiles.

Ya en los años sesenta, el OIEA estudió la viabilidad de usar la energía nuclear para la desalación de agua de mar y celebró un simposio internacional en 1968. Desde entonces, no se ha celebrado ningún foro internacional para debatir e intercambiar información sobre el tema.

En 1989, el renovado interés de varios Estados Miembros del OIEA en utilizar la energía nuclear para la desalación de agua de mar dio lugar a la aprobación de una resolución en el marco de la Conferencia General del OIEA, en la que se solicita a la Secretaría que continúe los estudios para evaluar las posibilidades técnicas y económicas de la energía nucleoelectrónica para la desalación de agua de mar a la luz de la experiencia reciente. Este interés ha sido confirmado desde entonces mediante resoluciones sobre desalación nuclear que cada año aprueba la Conferencia General del OIEA.

Se han realizado varios estudios de viabilidad sobre el uso de la energía nuclear para la desalación de agua de mar, con la participación y apoyo de Estados Miembros interesados. Además de los estudios del Organismo, se están desarrollando varias actividades bilaterales y nacionales sobre desalación por medios nucleares a fin de demostrar su viabilidad y valor económico en la desalación de agua de mar.

En el simposio del OIEA se hizo un recuento de las necesidades mundiales de agua potable, se presentó información actualizada sobre tecnologías de sistemas modernos de desalación y se dieron a conocer las actividades del OIEA y varias otras organizaciones internacionales sobre el tema. Respecto de la experiencia nacional en esta esfera, los participantes examinaron en específico la situación de los programas actuales y previstos y las actividades de investigación y desarrollo en la desalación de agua de mar por medios nucleares, y ofrecieron reseñas detalladas sobre el diseño y la seguridad de los reactores nucleares y las diversas tecnologías para estos fines, y la integración de reactores nucleares en sistemas de desalación. Los debates abarcaron temas relacionados con la explotación, el mantenimiento y la repercusión ambiental de las instalaciones de desalación, así como los costos de producción de agua y las perspectivas de estos sistemas, incluido el potencial mercado para ellos y las expectativas y los requisitos de los posibles usuarios.

#### **Polonia: Tecnologías radiológicas y protección ambiental**

Del 8 al 12 de septiembre de 1997, en Zakopane, Polonia, el OIEA convocará el Simposio internacional sobre el empleo de tecnologías radiológicas en la conservación del medio ambiente. En el tratamiento por irradiación se utilizan radiaciones ionizantes de alta energía, principalmente radiaciones gamma del cobalto 60 y electrones de alta energía de aceleradores de electrones. La energía radiactiva necesaria para los procesos industriales suele oscilar entre 10 y varios cientos de kilovatios. La tecnología se ha utilizado en las industrias de muchos países durante más de 30 años en una amplia gama de aplicaciones.

El efecto ambiental favorable y las oportunidades de aplicar la tecnología radiológica a la conservación del medio ambiente se han reconocido desde hace decenios y han sido tema de amplias investigaciones. El Organismo ha realizado actividades en esta esfera durante muchos años y ha contribuido a los nuevos avances, la capacitación, la promoción y la transferencia de tecnología. En marzo de 1992, el Organismo celebró en Karlsruhe, Alemania, un Simposio Internacional sobre aplicación de isótopos y radiaciones a la conservación del medio ambiente. Asistieron unos 90 participantes en representación de 30 Estados Miembros. La tecnología radiológica fue uno de los varios temas analizados en el simposio (entre otros temas figuraron las aplicaciones de los isótopos en la vigilancia de la contaminación

ambiental; los estudios con radiotrazadores y las técnicas analíticas nucleares). A partir de entonces, han tenido lugar varios nuevos adelantos en la tecnología de tratamiento por irradiación. Se dispone ahora de nuevas fuentes de irradiación, y en varios países se ha logrado realizar demostraciones de la limpieza de gases de combustión que han culminado en la creación de una planta a escala industrial. Los tratamientos de desechos líquidos y sólidos mediante radiaciones ionizantes también son objeto de activas investigaciones en muchas instituciones, y se están conociendo mejor las aplicaciones de la química de la radiación en favor del medio ambiente.

El simposio reúne a científicos, tecnólogos, empresarios y autoridades reguladoras. Un objetivo específico es analizar las necesidades potenciales de los países en desarrollo en función de las investigaciones aplicadas en el tratamiento por irradiación y los mecanismos de promoción y transferencia de esa tecnología.

#### **Brasil: Técnicas nucleares en la agricultura**

En Piracicaba, Brasil, del 27 al 31 de octubre de 1997, el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) coauspician un seminario regional para América Latina sobre técnicas nucleares con miras a optimizar los usos de los nutrientes y el agua, y elevar al máximo la productividad de las plantas de forma ecológicamente sostenible. Desde hace mucho tiempo la División Mixta FAO/OIEA de Técnica Nuclear en la Agricultura y la Alimentación se ha esforzado por desarrollar tecnologías más avanzadas para la seguridad alimentaria sostenible mediante métodos nucleares. Dentro de esta División, la Sección de Gestión de Suelos y Aguas y Producción Agrícola tiene el mandato de aumentar y mantener la fertilidad de los suelos y la producción agrícola mediante una gestión integrada de los nutrientes y el agua en los sistemas de cultivo y de explotación agrícola, con un mínimo de efectos negativos sobre el medio ambiente. Los isótopos y las técnicas de irradiación se utilizan para medir y vigilar los nutrientes y el agua en los sistemas suelo-planta para desarrollar prácticas racionales de gestión de los suelos, el agua y los nutrientes y mantener la calidad del medio ambiente. Los métodos nucleares ayudan a comprender mejor los procesos pertinentes y la forma en que influyen en el medio ambiente. El desarrollo de la instrumentación moderna y de técnicas analíticas adecuadas ha facilitado la aplicabilidad y la eficacia de las técnicas nucleares durante el último decenio. El seminario

servirá de foro para examinar el progreso recién realizado en la gestión de los nutrientes y el agua a fin de elevar al máximo la productividad de las plantas y preservar el medio ambiente mediante el uso de isótopos y otras técnicas nucleares en la región de América Latina. Sus objetivos son examinar los adelantos actuales en el uso de las técnicas nucleares para estudiar diversos aspectos de la gestión de los nutrientes y el agua y los problemas ambientales relacionados con la producción de cultivos y la agricultura sostenible; así como brindar una oportunidad para que los científicos de dentro y de fuera de la región presenten sus últimas experiencias y planes futuros en las aplicaciones de técnicas isotópicas y radiológicas para el desarrollo de prácticas integradas de ordenación de suelos, agua y nutrientes en sistemas de cultivo.

## Canadá: Conferencia sobre combustible

En cooperación con el OIEA, la Sociedad Nuclear Canadiense y sus copatrocinadores convocan una conferencia internacional sobre el combustible Candu en Toronto, del 21 al 25 de septiembre de 1997. El combustible ha tenido un excelente rendimiento durante los últimos 30 años, y la reunión examinará las posibilidades de seguir mejorando y fomentar diseños futuros. Se espera que proyectistas, fabricantes, autores de modelos, investigadores e ingenieros participen en una serie de sesiones técnicas. Entre los principales temas están el comportamiento del combustible; su seguridad; su diseño y desarrollo; desarrollo de sus códigos; su fabricación; su gestión; la termohidráulica de los haces del combustible; y la gestión del combustible gastado. Puede obtenerse más información solicitándola a AECL, Fuel Design Branch 2251 Speakman Drive, Mississauga, Ontario, Canada, L5K 1B2; tel. (905) 823-9040; fax: (905) 822-0567.

## India: Investigación cooperativa

En un seminario celebrado en el Centro de Investigaciones Atómicas de Bhabha (BARC) en la India, hidrólogos y otros científicos de la región de Asia y el Pacífico examinaron recientemente los problemas relativos a la contaminación del agua subterránea. El seminario fue organizado bajo los auspicios del Acuerdo de Cooperación Regional (ACR) para el desarrollo nuclear con fines pacíficos de la región, con el apoyo de la Organización de Ciencia y Tecnología Nucleares de Australia y la Organización Australiana de Estudios Geológicos. La atención se centró principalmente en la migra-

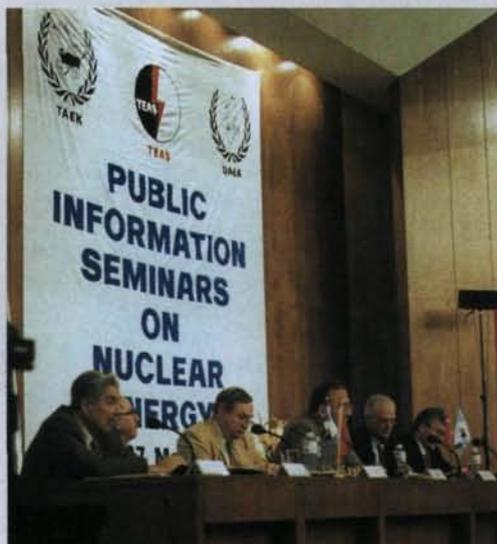
ción de contaminantes en aguas subterráneas profundas, y en especial, en la selección de emplazamientos para la evacuación de desechos radiactivos de actividad alta y de desechos químicos tóxicos en formaciones geológicas profundas.

## Turquía: Seminarios de información pública

En recientes seminarios sobre información pública celebrados en Ankara y Mersin, Turquía, se destacó la forma en que las tecnologías nucleares contribuyen al logro de los objetivos energéticos y ambientales del mundo. Los seminarios convocados a finales de mayo de 1997, fueron coauspiciados por el OIEA, el Organismo Turco de Energía Atómica y la Autoridad de Electricidad de Turquía. Forman parte de un programa extrapresupuestario de información pública del OIEA financiado por el Japón. En los seminarios participaron funcionarios de las esferas nuclear y energética de Turquía, comunicadores de la esfera nuclear del Reino Unido, funcionarios públicos, periodistas invitados y especialistas del OIEA. Entre los temas analizados estuvieron las perspectivas energéticas de Turquía y de Europa; los análisis comparativos de opciones energéticas; la seguridad nuclear y las repercusiones ambientales; las radiaciones y la sanidad humana; la gestión de desechos; las aplicaciones con fines pacíficos de la energía nuclear en la medicina y otras esferas; y el desarrollo nuclear y los medios de información.

## Expertos participan en el seminario de Turquía.

(Cortesía: Lourido/OIEA)



**NUEVOS NOMBRAMIENTOS EN EL OIEA.**

El OIEA ha anunciado dos nuevos nombramientos. El Sr. Steffen Groth, de Dinamarca, ha sido nombrado Director de la División de Sanidad Humana del Departamento de Investigaciones e Isótopos. Sustituye al Sr. Alfredo Cuaron, de México. La Sra. Denise Lohner, de Francia, ha sido nombrada Directora de la División de Información Científica y Técnica del Departamento de Energía Nuclear del OIEA; sucede a la Sra. Joyce Amenta, de los Estados Unidos.

**NEUEVAMENTE LA CUMBRE PARA LA TIERRA.**

El 23 de junio se inaugurará en Nueva York el período extraordinario de sesiones de la Asamblea General de las Naciones Unidas para realizar un examen y una evaluación de la ejecución del Programa 21. Como parte de sus aportes, el OIEA hace hincapié en los beneficios prácticos para el medio ambiente que los países están obteniendo de las aplicaciones nucleares en las esferas de la agricultura, la industria y la ciencia, así como en el papel real y potencial de la energía nucleoelectrónica en el logro de los objetivos ambientales y de desarrollo.

**SEGURIDAD RADIOLOGICA.** Los temas de la seguridad radiológica y la respuesta en situaciones de emergencia figuran entre los que se analizarán en una conferencia internacional que se organiza en el Brasil para fines de este año. La Comisión Nacional de Energía Nuclear del Brasil (CNEN) convoca la Conferencia internacional sobre el accidente radiológico de Goiânia: diez años después, del 26 al 31 de octubre de 1997. La reunión, en la que participará el OIEA, servirá de foro para el intercambio de conocimientos y experiencia adquiridos después de accidentes radiológicos. Entre los temas se incluyen el control de fuentes radiactivas; la planificación y la respuesta en situaciones de emergencia; los marcos legislativos y de reglamentación; los aspectos médicos y psicológicos; así como la gestión, el transporte y la evacuación de desechos. También están previstos recorridos técnicos por el lugar del accidente de Goiânia y la instalación de evacuación definitiva de desechos construida en las afueras de la ciudad. Puede obtenerse más información solicitándola a CNEN, Rua General Severiano, 90 -sala 402, CEP; 22.294-900, Rio de Janeiro, Brasil. Facsímil: +55-21-295-1745.

**NOMBRAMIENTOS REGIONALES E INTERNACIONALES.**

La Agencia de Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, con sede en París, ha nombrado un nuevo Director General, el Sr. Luis Enrique Echavarrí, de España, hasta entonces

Director General del Foro Español de la Industria Nuclear, quien asumirá sus nuevas funciones a partir del 1º de julio. En La Haya, la primera sesión de la Conferencia de Estados Partes en la Convención sobre las Armas Químicas ha nombrado diplomáticos en cargos clave. El embajador José Mauricio Bustani, del Brasil, fue nombrado primer Director General de la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas, que supervisa la aplicación de la Convención; y el embajador Prabhakar Menon, de la India, fue nombrado primer Presidente del Consejo Ejecutivo, compuesto por 41 miembros, de la OPAQ, el cual dirigirá las actividades cotidianas de la OPAQ. En Nueva York, el embajador de Australia Richard Butler pasó a ser el nuevo Jefe de la Comisión Especial de las Naciones Unidas sobre el Iraq, creada por el Consejo de Seguridad después de la Guerra del Golfo, en 1991. Reemplaza en este cargo al embajador de Suecia Rolf Ekeus, quien será embajador de su país en Washington.

**INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA SALUD EN EL MUNDO.**

Según informa la Organización Mundial de la Salud, las personas tienen una vida más larga en todo el mundo gracias a los avances mundiales logrados en la lucha contra las enfermedades infecciosas, aunque no todas las noticias son buenas. En su *Informe sobre el estado de la salud en el mundo de 1997*, la OMS advierte que las enfermedades no contagiosas, principalmente el cáncer, las cardiopatías y la diabetes, constituyen problemas de salud cada vez más graves, sobre todo en los países en desarrollo. En el Informe se pide que se realice una campaña mundial "fortalecida y sostenida" para atacar los principales factores de riesgo y estimular la aceleración de investigaciones médicas. Puede obtenerse más información solicitándola a la OMS, CH-1211, Ginebra 27, Suiza.

**PERSPECTIVA ENERGETICA.** La Administración de Información Energética de los Estados Unidos (EIA) ha emitido su más reciente evaluación del mercado energético internacional. En *International Energy Outlook 1997* se analiza el período hasta el año 2015 y se proporcionan datos energéticos históricos de 1970 a 1995. Contiene además proyecciones específicas del uso de la energía, de las emisiones de carbono, y de la producción de petróleo, a la vez que se examinan las perspectivas de las fuentes nucleares y otras fuentes de energía. Puede obtenerse más información solicitándola al Centro Nacional de Información Energética de la EIA, Forrestal Building, Room 1F-048, Washington, DC 20585, EE.UU.

Internet: <http://www.eia.doe.gov>

# BASES DE DATOS EN LINEA

## DEL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA



**Nombre de la base de datos**  
Sistema de Información  
sobre Reactores de Potencia

**Tipo de base de datos**  
Fáctica

**Productor**

Organismo Internacional  
de Energía Atómica  
en cooperación con  
29 Estados Miembros del OIEA

**Contacto con el OIEA**

OIEA, Sección de  
Ingeniería Nucleoeléctrica  
P.O. Box 100, A-1400 Viena (Austria)  
Teléfono (43) (1) 2060  
Télex (1)-12645  
Facsímil +43 1 20607  
Correo electrónico  
vía BITNET/INTERNET a ID:  
NES@IAEA1.IAEA.OR.AT

**Ambito**

Información del mundo entero sobre  
reactores de potencia en explotación,  
en construcción, programados  
o parados, y datos sobre experiencia  
operacional de las centrales nucleares  
en los Estados Miembros del OIEA.

**Materias abarcadas**

Situación, nombre, ubicación, tipo y  
proveedor de los reactores; proveedor  
del generador de turbina; propietario  
y explotador de la central; potencia  
térmica; energía eléctrica bruta y neta;  
fecha de inicio de la construcción,  
primera criticidad, primera sincroni-  
zación con la red, explotación comercial,  
parada y datos sobre las características  
del núcleo del reactor y sistemas  
de la central; energía producida;  
pérdidas previstas e imprevistas  
de energía; factores de disponibilidad  
y de no disponibilidad energética;  
factor de explotación y factor de carga.



**Nombre de la base de datos**  
Sistema Internacional de Información  
para la Ciencia y la Tecnología Agrícolas

**Tipo de base de datos**  
Bibliográfica

**Productor**

Organización de las  
Naciones Unidas para la Agricultura  
y la Alimentación (FAO)  
en cooperación con  
172 centros nacionales, regionales e  
internacionales del AGRIS

**Contacto con el OIEA**

Dependencia de Preparación del AGRIS  
a/c OIEA, P.O. Box 100,  
A-1400 Viena (Austria)  
Teléfono (43) (1) 2060  
Télex (1)-12645  
Facsímil +43 1 20607  
Correo electrónico  
vía BITNET/INTERNET a ID:  
FAS@IAEA1.IAEA.OR.AT

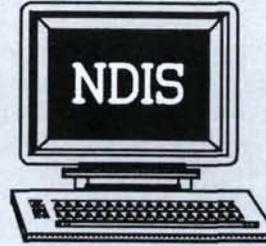
**Cantidad de registros en línea**  
desde enero de 1993 hasta la fecha  
más de 130 000

**Ambito**

Información del mundo entero sobre  
ciencias y tecnología agrícolas,  
incluidos bosques, pesca y nutrición.

**Materias abarcadas**

Agricultura en general; geografía  
e historia; educación, extensión  
e información; administración y  
legislación; economía agrícola;  
desarrollo y sociología rural; ciencia  
y producción vegetal y animal;  
protección de las plantas; tecnología  
posterior a la cosecha; pesca y  
acuicultura; maquinaria e ingeniería  
agrícolas; recursos naturales;  
procesamiento de productos agrícolas;  
nutrición humana; contaminación;  
metodología.



**Nombre de la base de datos**  
Sistema de Información  
sobre Datos Nucleares

**Tipo de base de datos**  
Numérica y bibliográfica

**Productor**

Organismo Internacional  
de Energía Atómica en cooperación  
con el Centro Nacional de Datos Nucleares  
de los Estados Unidos del Laboratorio  
Nacional de Brookhaven, el Banco de  
Datos Nucleares de la Agencia para  
la Energía Nuclear, Organización de  
Cooperación y Desarrollo Económicos  
en París (Francia) y una red de otros  
22 centros de datos nucleares  
de todo el mundo

**Contacto con el OIEA**

OIEA, Sección de Datos Nucleares  
P.O. Box 100, A-1400 Viena, Austria  
Teléfono (43) (1) 2060  
Télex (1)-12645  
Facsímil +43 1 20607  
Correo electrónico  
INTERNET a ID:  
ONLINE@IAEAND.IAEA.OR.AT

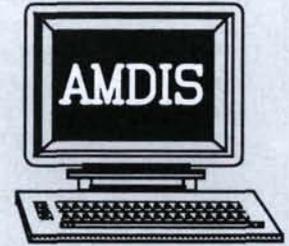
**Ambito**

Ficheros de datos numéricos sobre física  
nuclear que describen la interacción  
de las radiaciones con la materia,  
y datos bibliográficos conexos.

**Tipos de datos**

Datos evaluados de reacciones neutrónicas  
en el formato ENDF; datos de reacciones  
nucleares experimentales en el formato  
EXFOR, para reacciones inducidas por  
neutrones, partículas cargadas o fotones;  
períodos de semidesintegración nuclear  
y datos de desintegración radiactiva  
en los sistemas NUDAT y ENSDF;  
información bibliográfica conexa de las bases  
de datos CINDA y NSR del OIEA;  
varios otros tipos de datos.

*Nota: Las recuperaciones de datos fuera  
de línea del NDIS pueden obtenerse también  
del productor en cinta magnética.*



**Nombre de la base de datos**  
Sistema de Información de Datos  
Atómicos y Moleculares

**Tipo de base de datos**  
Numérica y bibliográfica

**Productor**

Organismo Internacional  
de Energía Atómica en cooperación  
con la red del Centro  
de Datos Atómicos y Moleculares,  
un grupo de 16 centros nacionales de datos  
de diversos países

**Contacto con el OIEA**

OIEA, Dependencia de  
Datos Atómicos y Moleculares,  
Sección de Datos Nucleares  
Correo electrónico  
vía BITNET a: RNDS@IAEA1;  
vía INTERNET a ID:  
PSM@RIPCRSO1.IAEA.OR.AT

**Ambito**

Datos sobre la interacción de los átomos,  
las moléculas y el plasma con  
la superficie, y las propiedades  
de los materiales de interés para  
la investigación y tecnología de la fusión.

**Tipos de datos**

Incluye datos formateados ALADDIN  
sobre la estructura y los espectros  
atómicos (niveles energéticos, longitudes  
de onda, y probabilidades de transición);  
choque de los electrones y  
las partículas pesadas con los átomos,  
iones y moléculas (secciones eficaces y/o  
coeficientes de velocidad, incluida,  
en la mayoría de los casos,  
el ajuste analítico de los datos);  
extracción de las superficies por  
la acción de los componentes básicos  
del plasma y la autoextracción;  
reflexión de las partículas en  
las superficies; propiedades termofísicas y  
termomecánicas del berilio y  
los grafitos pirolíticos.

*Nota: Las recuperaciones de datos fuera  
de línea y de datos bibliográficos,  
así como el soporte lógico y  
el manual de ALADDIN podrán obtenerse  
también del productor en disquetes,  
cinta magnética o copia impresa.*

Para acceder a estas bases de datos, sírvase establecer contacto con los productores. Las informaciones de estas bases de datos también pueden adquirirse en forma impresa dirigiéndose al productor. Las de INIS y AGRIS se pueden obtener además en CD-ROM. Para la amplia gama de bases de datos del OIEA, véanse los servicios WorldAtom Internet del Organismo en <http://www.iaea.org>.



**Nombre de la base de datos**  
Sistema Internacional de  
Documentación Nuclear

**Tipo de base de datos**  
Bibliográfica

**Productor**  
Organismo Internacional  
de Energía Atómica  
en cooperación con  
91 Estados Miembros del OIEA  
y otras 17 organizaciones  
internacionales miembros

**Contacto con el OIEA**  
OIEA, Sección del INIS  
P.O. Box 100, A-1400 Viena (Austria)  
Teléfono (+431) 2060 22842  
Facsimil (+431) 20607 22842  
Correo electrónico  
vía BITNET/INTERNET a ID:  
ATIEH@NEPO1.IAEA.OR.AT

**Cantidad de registros en línea**  
desde enero de 1976 hasta la fecha  
más de 1600 millones

**Ámbito**  
Información del mundo entero sobre la  
utilización de la ciencia y tecnología  
nucleares con fines pacíficos,  
y los aspectos económico y  
ambiental de otras fuentes de energía.

**Materias abarcadas**  
Reactores nucleares, seguridad de los  
reactores, fusión nuclear, aplicaciones  
de las radiaciones o los isótopos en la  
medicina, la agricultura, la industria y  
la lucha contra las plagas, así como  
en otras esferas conexas como la  
química nuclear, la física nuclear y  
la ciencia de los materiales.  
Se ha hecho especial hincapié  
en las consecuencias de la  
energía nuclear para el medio ambiente,  
la economía y la salud, así como en los  
aspectos económico y ambiental  
de otras fuentes no nucleares de energía.  
Abarca también los aspectos jurídicos  
y sociales vinculados a la  
energía nuclear.

# INIS



The IAEA's  
nuclear science  
and  
technology  
database on  
CD-ROM

## ON CD-ROM

5000 JOURNALS

MORE THAN 1.6 MILLION RECORDS

6 COMPACT DISCS

*INIS (the International Nuclear Information System) is a multi-disciplinary, bibliographic database covering all aspects of the peaceful uses of nuclear science and technology. INIS on CD-ROM combines the worldwide coverage of the nuclear literature with all the advantages of compact disc technology.*

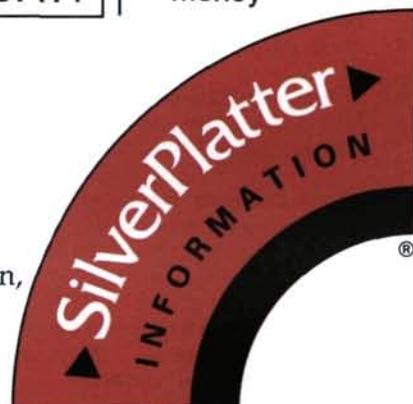
**Call +44 (0)81 995 8242 TODAY!**

*for further information  
and details of your local distributor*

*or write to*  
SilverPlatter Information Ltd.  
10 Barley Mow Passage, Chiswick, London,  
W4 4PH, U.K.  
Tel: 0800 262 096 +44 (0)81 995 8242  
Fax: +44 (0)81 995 5159

### CD-ROM means

- ◆ unlimited easy access
- ◆ fast, dynamic searching
- ◆ fixed annual cost
- ◆ flexible downloading and printing
- ◆ desktop access
- ◆ easy storage
- ◆ saving time, space and money



## Informes y actas

**The International Conference on Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, *Proceeding Series, 2640 Austrian schillings, ISBN 92-0-100797-3***

**Reviewing the Safety of Existing Nuclear Power Plants, *Proceeding Series, 1920 Austrian schillings, ISBN 92-0-105296-0***

**Design and Construction of Nuclear Power Plants to Facilitate Decommissioning, *Technical Report Series No. 382, 440 Austrian schillings, ISBN 92-0-100697-7***

**Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material - 1996 Edition, *Safety Standards Series No. ST-1/Requirements 680 Austrian schillings, ISBN 92-0-104996-X***

**The Use of Plane-Parallel Ionization Chambers in High-Energy Electron and Photon Beams, *Technical Reports Series No. 381, 440 Austrian schillings, ISBN 92-0-104896-3***

**Planning and Operation of Low Level Waste Disposal Facilities, *Proceedings Series, 1720 Austrian schillings, ISBN 92-0-104496-8***

**Environmental Behaviour of Crop Protection Chemicals, *Proceedings Series, 1520 Austrian schillings, ISBN 92-0-104596-4***

**Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages, *Technical Reports Series No. 383, 480 Austrian schillings, ISBN 92-0-100497-4***

## Libros de referencia/estadísticas

**IAEA Yearbook 1996, 500 Austrian schillings, ISBN 92-0-101295-0**

**Nuclear Power, Nuclear Fuel Cycle and Waste Management: *Status and Trends 1996. Part C of the IAEA Yearbook 1996, 200 Austrian schillings, ISBN 92-0-102196-8***

**Nuclear Safety Review 1996, *Part D of the IAEA Yearbook 1996, 140 Austrian schillings, ISBN 92-0-103496-2***

**Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2015, *Reference Data Series No. 1, 200 Austrian schillings, ISBN 92-0-102896-2***

**Nuclear Research Reactors in the World, *Reference Data Series No. 3, 200 Austrian schillings, ISBN 92-0-104696-0***

## LUGARES DE VENTA DE LAS PUBLICACIONES DEL OIEA

Los libros, informes y otras publicaciones del OIEA se pueden adquirir en los lugares que se señalan seguidamente o a través de las principales librerías del país. El pago se puede efectuar en moneda nacional o con cupones de la UNESCO.

### ALEMANIA

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH,  
Dag Hammarskjöld-Haus,  
Poppelsdorfer Allee 55,  
D-53115 Bonn

### AUSTRALIA

Hunter Publications, 58A Gipps Street,  
Collingwood, Victoria 3066

### BELGICA

Jean de Lannoy,  
202 Avenue du Roi, B-1060 Bruselas

### BRUNEI

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,  
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur,  
Malasia

### CHINA

Publicaciones del OIEA en chino:  
China Nuclear Energy Industry Corporation,  
Translation Section,  
P.O. Box 2103, Beijing

### DINAMARCA

Munksgaard International Publishers Ltd.,  
P.O. Box 2148, DK-1016 Copenhagen K

### EGIPTO

The Middle East Observer,  
41 Sherif Street, El Cairo

### ESLOVAQUIA

Alfa Press Publishers, Križkova 9,  
SQ-811 49 Bratislava

### ESPAÑA

Díaz de Santos, Lagasca 95,  
E-28006 Madrid  
Díaz de Santos, Balmes 417,  
E-08022 Barcelona

### ESTADOS UNIDOS DE AMERICA Y CANADA

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive,  
Lanham, MD 20706-4391  
Correo electrónico: query@bernan.com

### FRANCIA

Office International de Documentation  
et Librairie, 48, rue Gay-Lussac,  
F-75240 Paris Cedex 05

### HUNGRÍA

Librotrade Ltd., Book Import,  
P.O. Box 126, H-1656 Budapest

### INDIA

Viva Books Private Limited,  
4325/3, Ansari Road,  
Darya Ganj, Nueva Delhi-110002

### ISRAEL

YOZMOT Literature Ltd.,  
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv

### ITALIA

Libreria Scientifica, Dott. Lucio di Biasio  
"AEIOU",  
Via Coronelli 6, I-20146 Milán

### JAPON

Maruzen Company Ltd., P.O. Box 5050,  
100-31 Tokyo International

### MALASIA

Parry's Book Center Sdn. Bhd.,  
P.O. Box 10960, 50730 Kuala Lumpur

### PAISES BAJOS

Martinus Nijhoff International,  
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haya  
Swets and Zeitlinger b.v.,  
P.O. Box 830, NL-2610 SZ Lisse

### POLONIA

Ars Polona, Foreign Trade Enterprise,  
Krakowskie Przedmieście 7,  
PL-00-068 Varsovia

### REINO UNIDO

The Stationary Office Books,  
Publications Centre,  
51 Nine Elms Lane,  
Londres SW8 5DR

### REPUBLICA CHECA

Artia Pegas Press Ltd.,  
Palác Metro, Narodni tř. 25,  
P.O. Box 825, CZ-111 21 Praga I

### SINGAPUR

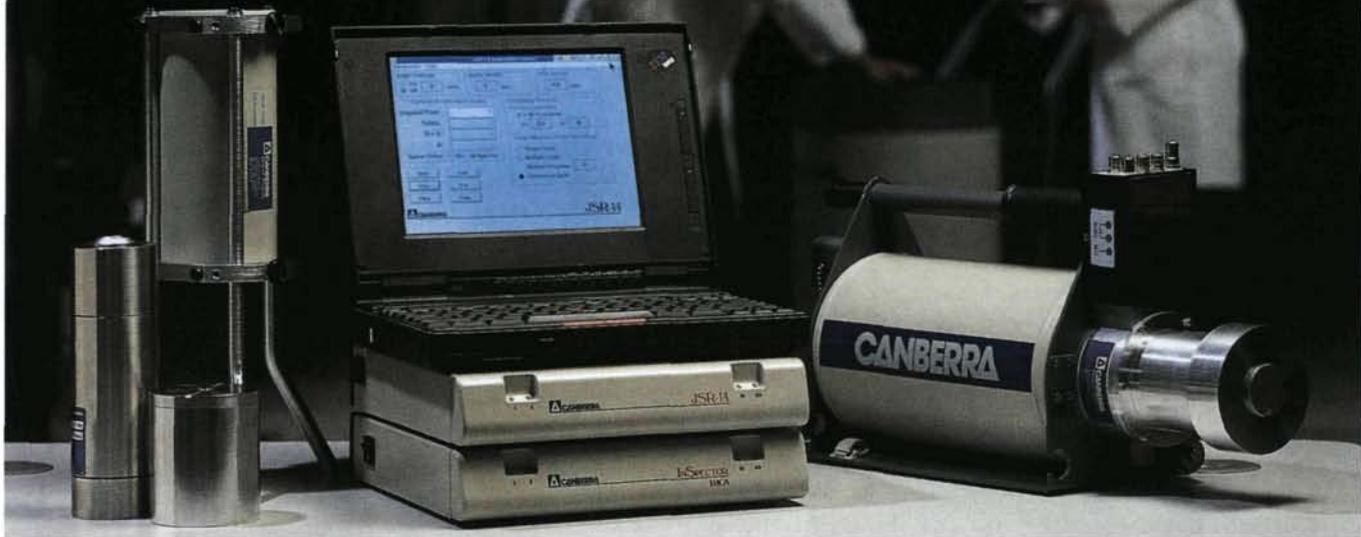
Parry's Book Center Pte. Ltd.,  
P.O. Box 1165, Singapur 913415

### SUECIA

Fritzes Customer Service,  
S-106 47 Estocolmo

**Fuera de los Estados Unidos de América y Canadá, también pueden hacerse pedidos y consultas directamente a:**  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Dependencia de Promoción y  
Venta de Publicaciones  
Wagramerstrasse 5, Apartado 100,  
A-1400 Viena (Austria)  
Teléfono: +43 1 2060 22529 (022530)  
Facsímil: +43 1 2060 29302  
Correo electrónico:  
Sales.Publications@IAEA.Org

# Set-Up, Verify, Move On



## Fast Gamma and Neutron Inspection Measurements in a Single System

Safeguards Inspectors make a wide array of verification measurements, involving multiple pieces of equipment. One of the biggest challenges facing the Inspector has been the need to juggle NaI detectors, HpGe detectors, neutron counters, MCAs and shift registers - while still taking the requisite measurements quickly and with minimal interruption to facility operations.

Canberra's safeguards systems simplify and accelerate this operation. Procedures for all NDA measurements - gamma and neutron - are part of an integrated software environment operated from a single host computer. The Inspector simply connects the instrument and selects the measurement procedure. The system does the rest - sets up the hardware, loads calibrations, and counts.

Key front end components - the InSpector Multichannel Analyzer (IMCA) and neutron shift register (JSR-14) - are designed for portability, consistency and speeds operation. 100% computer control and sophisticated battery management facilitate the automated setup and fast portable operation.

The IMCA sets the pace for small size, light weight and lab grade performance. Built in uranium enrichment (enrichment meter and MGAU) and plutonium isotopic (MGA) procedures use predefined NaI, CdTe and HPGe detector setup files.

The JSR-14 combines multiplicity with coincidence counting capabilities together for fast, portable neutron measurements. Special features allow for installed operation as well. The JSR-14 may be configured to operate as a JSR-12 in coincidence mode or as a multiplicity counter using the supplied control and acquisition software that is Windows® compatible and easy to operate. Or operate the JSR-14 using any of the currently available routine neutron counting packages (NCCWIN, Multi, HLNC, etc.) or Canberra's full featured Neutron Assay Software (NAS).

Keep your Inspectors moving with the Canberra IMCA and JSR-14.



Canberra Industries Inc., Nuclear Products Group, 800 Research Parkway, Meriden, CT 06450 U.S.A.  
Tel: (203) 238-2351 Toll Free 1-800-243-4422 FAX: (203) 235-1347 <http://www.canberra.com>



# POSTS ANNOUNCED BY THE IAEA

**LEGAL OFFICER (97/501)**, Legal Division, Department of Administration. This P-4 post assists in the preparation of legal instruments and documents and in providing legal advice on the application or interpretation of such instruments and documents. The post requires an advanced law degree with good academic record; familiarity with nuclear law and treaty law, as well as with the principles of legislative drafting; proven ability to prepare legal drafts; and ten years of relevant experience in an international institution. Fluency in English, French, Russian or Spanish is essential. *Closing Date: 16 January 1998*

**TRANSLATOR (97/077)**, English Translation Section, Division of Languages, Department of Safeguards. This P-3 post translates scientific, technical, administrative and legal texts into English, from two or more working languages of the organization; prepares summary records of official meetings; edits texts written in English by persons of another mother tongue; prepares for publication the records of discussions at scientific meetings; undertakes any of the other duties normally carried out by translators in a language division of an international organization. The post requires university degree or equivalent; at least three years' relevant experience, with a demonstrated aptitude for translation work and the ability to handle difficult technical material; English as mother tongue or principal language of education, and the ability to write in a clear style; good knowledge of French and Russian, Spanish and German. *Closing Date: 16 February 1998*

**BUDGET OFFICER (97/072)**, Programme and Budget Section, Division of Budget and Finance, Department of Administration. This P-4 post participates in the timely and accurate preparation of the Agency's budget documents as a basis for decision-making by the Director General and policy-making organs; and provides budgetary support services to programme managers. The post requires university degree in business administration, management or equivalent and at least ten years of relevant experience; extensive practical experience with the application of information technology to the budgeting process; ability to co-ordinate the work of professional and support accounting staff. Fluency in English, French, Russian or Spanish is essential. Excellent drafting skills in English required. *Closing Date: 16 January 1998*

**RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL SCIENTIST, UNIT LEADER (97/076)**, Waste Technology Section, Division of Nuclear Power and the Fuel Cycle, Department of Nuclear Energy. This P-5 advises and assists the Director of the Division of Nuclear Power and the Fuel Cycle on matters pertaining to the management and disposal of radioactive waste, with particular emphasis on deep geological disposal. The post requires a Ph.D., or equivalent advanced degree, in a field of science or engineering related to the duties of the post; at least 15 years' experience in the field of radioactive waste management and disposal with adequate relevant technological experience in disciplines relevant to underground disposal of radioactive waste; and the ability to represent the IAEA in international fora. Good English report-writing and editorial capability is an additional advantage. Fluency in English, French, Russian or Spanish essential. *Closing Date: 29 January 1998*

**SAFETY ASSESSMENT SPECIALIST (97/605)** Safety Assessment Section, Division of Nuclear Installation Safety, Department of Nuclear Safety. This P-5 organizes technical committee meetings, consultants' meetings and international peer review services (IPERS) missions. The post requires a Ph.D. in nuclear, mechanical or electrical engineering, or equivalent; fifteen years' experience in nuclear safety, particularly in PSA; proven ability to provide technical guidance for a team of scientists of different nationalities. Three years' international experience is desirable. Fluency in English, French, Russian or Spanish essential. Fluency in written and spoken English essential. *Closing Date: 29 January 1998*

**EXTERNAL HAZARD SPECIALIST (97/604)** Engineering Safety Section, Division of Nuclear Installation Safety, Department of Nuclear Safety. This P-4 post assists in the development of safety standards and guidance and takes part in safety review services on siting, seismic safety and structural design. The post requires an advanced degree in civil or mechanical engineering, or other fields of science or engineering appropriate to the duties of the post; and ten years' experience in nuclear applications. Two years' international experience, as well as the ability to organize training workshops and to make effective presentations are desirable. Fluency in English, French, Russian or Spanish is essential. Knowledge of other Agency languages an asset. *Closing Date: 16 January 1998*

**ENGINEER/GEOLOGIST (97/069)**, Isotope Hydrology Section, Division of Physical and Chemical Sciences, Department of Research and Isotopes. This P-2 post is part of a multidisciplinary team working on the development and application of isotope hydrology techniques for water resources development and management. The post requires an advanced university degree in earth sciences (hydrogeology, geology or hydrology) with some experience in isotope applications in water resources, in particular groundwater studies, and full capability in PC-based software development and applications. Capability and experience in computer-based data management system design and operation is desirable. Fluency in English and Spanish is essential. Language capability in French and/or Russian desirable. *Closing Date: 2 January 1998*

## READER'S NOTE:

The *IAEA Bulletin* publishes short summaries of vacancy notices as a service to readers interested in the types of professional positions required by the IAEA. They are not the official notices and remain subject to change. On a frequent basis, the IAEA sends vacancy notices to governmental bodies and organizations in the Agency's Member States (typically the foreign ministry and atomic energy authority), as well as to United Nations offices and information centres. Prospective applicants are advised to maintain contact with them. Applications are invited from suitably qualified women as well as men. More specific information about employment opportunities at the IAEA may be obtained by writing to the Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.

**POST ANNOUNCEMENTS ON THE INTERNET.** The IAEA's vacancy notices for professional positions, as well as sample application forms, are available through a global computerized network that can be accessed directly. Access is through the Internet. They can be accessed through the IAEA's World Atom services on the World Wide Web at the following address: <http://www.iaea.or.at/worldatom/vacancies>. Also accessible is selected background information about employment at the IAEA and a sample application form. Please note that applications for posts cannot be forwarded through the computerized network, since they must be received in writing by the IAEA Division of Personnel, P.O. Box 100, A-1400 Vienna, Austria.



# NUCTEC '97

3rd International Trade Fair  
Nuclear Technology  
and Reactor Safety  
December 16-19, 1997  
Moscow/Russia

in cooperation with

# ENERGOTEC '97

International Trade Fair  
Power Generation, Transmission,  
Distribution, Alternative  
Sources of Energy, Conservation

For further information  
please contact:

 **NOWEA INTERNATIONAL**

NOWEA International GmbH  
P.O. Box 10 10 06  
D-40001 Düsseldorf  
Phone + 49 (211) 45 60-02  
Fax + 49 (211) 45 60-740  
Germany

# Cost-effective Solutions –

CONSULTANCY &  
TECHNICAL SERVICES



SAFETY & REGULATORY  
MANAGEMENT



ADVANCED DESIGN  
TECHNIQUES



ADVANCED  
TECHNOLOGIES



PROJECT  
MANAGEMENT



CONSTRUCTION  
MANAGEMENT



PROCUREMENT



TESTING, COMMISSIONING  
& TRAINING



OPERATIONAL  
SUPPORT



DECOMMISSIONING

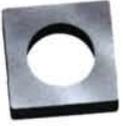


WASTE MANAGEMENT



Meccano is a registered trademark.

# ve Engineering *that work*



No one can pretend that nuclear engineering is simple. Far from it. But the next best thing is experience - lots of it - and no company can offer more experience or a more responsive service than BNFL Engineering Ltd.

As the engineering arm of BNFL we are able to call on over 40 years of experience that provides our customers with valuable operational feedback, data and expertise covering all aspects of the nuclear fuel cycle gained through sustained investment in technology, engineering and people.

Whatever the size of our customers' requirements - from the £2.85 billion THORP plant and its associated facilities at Sellafield, which we designed, constructed and commissioned, to many and varied assignments worldwide - BNFL Engineering Ltd always seeks to provide cost-effective solutions that work.



This is because we are committed to reducing customers' costs without compromising high safety standards - and with our experience, we are in the best possible position to achieve this key objective throughout the world.

If you would like more information on cost-effective engineering solutions tailored to meet specific requirements, contact: BNFL Engineering Ltd, The Victoria, Harbour City, Salford Quays, Manchester M5 2SP, England.

Tel: (UK) 0161 952 6000. Fax: (UK) 0161 952 6001.

Tel: (Int) 44 161 952 6000. Fax: (Int) 44 161 952 6001.



Engineering Solutions - *that work*

**Empleo de técnicas isotópicas en problemas relacionados con la explotación geotérmica**

*Este proyecto se ocupa de los problemas relacionados con el desarrollo de la energía geotérmica, como por ejemplo los fluidos ácidos. Su objetivo es continuar el desarrollo de herramientas geoquímicas isotópicas integradas a metodologías hidrogeoquímicas tradicionales. Supone la definición de los orígenes de la acidez en los ambientes geotérmicos, la estimación de las temperaturas y la detección de diversos procesos de embalse debido a la explotación. La génesis de los fluidos geotérmicos, particularmente de naturaleza ácida se puede comprender mejor con la utilización de técnicas isotópicas.*

**Aplicación de técnicas isotópicas para evaluar los sistemas de acuíferos en importantes zonas urbanas**

*Este programa se refiere a la caracterización de los sistemas de acuíferos que abastecen de agua a importantes ciudades para un mejor aprovechamiento de los recursos de aguas subterráneas. El mal aprovechamiento de estos recursos, debido a una demanda de suministro de agua cada vez mayor y al aumento de las fuentes de contaminación, puede hacer que los recursos hídricos sean inutilizables. Por tratarse de un ambiente complejo, los costos de rehabilitación de los sistemas de acuíferos son mucho más elevados que los que corresponden a los sistemas de aguas superficiales. El PCI evaluará metodologías isotópicas seleccionadas, que ofrecen información vital, y en algunos casos exclusiva, sobre el comportamiento dinámico de estos acuíferos.*

**Evaluación del comportamiento de los reactores de alta temperatura refrigerados por gas (HTGR)**

*El objetivo del programa es poner en marcha condiciones operacionales de estado estacionario y de régimen transitorio para el reactor de ensayo de alta temperatura del Japón (HTTR) y el reactor de alta temperatura de China (HTR-10) con el apoyo de instalaciones de ensayo de los Estados Miembros para esferas principales como la física del núcleo, la seguridad de los reactores, el comportamiento de transporte y liberación de productos de fisión, la termohidráulica, la dinámica de reactores, el control e instrumentación y el comportamiento de componentes de alta temperatura. El programa será un intercambio de información técnica entre los países participantes para la validación de códigos analíticos y modelos de comportamiento respecto de condiciones de explotación reales, formulación de un código de investigación y desarrollo para experimentar actividades de referencia para su inclusión en los programas de ensayo del HTTR y el HTR-10, y la validación y demostración de las características de seguridad del HTGR.*

**Investigación de metodologías para el análisis de incidentes**

*El objetivo principal de este proyecto es examinar la experiencia de explotación, haciendo especial hincapié en el análisis de las causas básicas de sucesos inusuales para evitar que se repitan, mejorando así la seguridad de la central; determinar los puntos fuertes y las limitaciones de las metodologías existentes y desarrollar un espectro armonizado de metodologías de causas básicas para aplicación a determinadas esferas.*

**Gravedad de los accidentes ocurridos durante el transporte aéreo de materiales radiactivos**

*El objetivo de este PCI es aprovechar los conocimientos existentes en relación con accidentes de aeronaves y continuar las investigaciones así como recopilar y analizar información relacionada con la frecuencia y la gravedad de los accidentes aéreos, incluidas las fuerzas de impacto, incendio y compresión.*

Información preliminar sujeta a cambios. Para obtener información más completa acerca de las reuniones del OIEA se ruega dirigirse a la Sección de Servicios de Conferencia del OIEA en la Sede del Organismo en Viena, o consultar la publicación trimestral del OIEA **Meetings on Atomic Energy** (véase la sección **Publicaciones** para información acerca de la manera de encargar las publicaciones). Para obtener más detalles sobre los programas coordinados de investigaciones del OIEA, dirigirse a la Sección de Administración de Contratos de Investigación en la Sede del OIEA. Los programas están encaminados a facilitar la cooperación a escala global en temas científicos y técnicos en diversas esferas, que van desde las aplicaciones de las radiaciones en la medicina, la agricultura y la industria hasta la tecnología nucleoelectrónica y la seguridad nuclear.



**SEPTIEMBRE DE 1997**

Conferencia diplomática sobre responsabilidad por daños nucleares  
**Viena (Austria)**  
(8 a 12 de septiembre)

Simposio sobre el empleo de tecnologías radiológicas en la conservación del medio ambiente

**Zakopane (Polonia)**  
(8 a 12 de septiembre)

Conferencia General del OIEA  
**Viena (Austria)**  
(29 de septiembre a 2 de octubre)

**OCTUBRE DE 1997**

Simposio sobre salvaguardias internacionales

**Viena (Austria)**  
(13 a 17 de octubre)

Seminario regional FAO/OIEA sobre técnicas nucleares para optimizar el uso de nutrientes y agua a fin de elevar al máximo la productividad de los cultivos y la preservación del medio ambiente

**Piracicaba (Brasil)**  
(27 a 31 de octubre)

**NOVIEMBRE DE 1997**

Conferencia internacional sobre protección física de los materiales nucleares: Experiencia en materia de regulación, aplicación y operaciones

**Viena (Austria)**  
(10 a 14 noviembre)

Simposio sobre mejoramiento de la seguridad contra incendios en centrales nucleares en explotación

**Viena (Austria)**  
(17a 21 noviembre)

Conferencia Internacional sobre dosis bajas de radiación ionizante: efectos biológicos y control reglamentario

**Sevilla (España)**  
(17 a 21 de noviembre)

**MARZO DE 1998**

Simposio internacional sobre tendencias modernas en radiofármacos para diagnóstico y terapia

**Lisboa (Portugal)**  
(30 de marzo a 3 de abril)

**MAYO DE 1998**

Conferencia internacional FAO/OIEA sobre gestión integrada de plagas de insectos mediante técnicas nucleares y conexas

**Penang (Malasia)**  
(29 de mayo a 2 de junio)

# BOLETIN DEL OIEA ESTADOS MIEMBROS DEL OIEA



Publicado trimestralmente por la División de Información Pública del Organismo Internacional de Energía Atómica, Apartado de Correos 100, A-1400 Viena (Austria).

Tel.: (43-1) 2060-21270

Facsimil: (43-1) 20607

Correo electrónico:

official.mail@iaea.org

**DIRECTOR GENERAL:** Dr. Hans Blix  
**DIRECTORES GENERALES ADJUNTOS:**  
Sr. David Waller, Sr. Bruno Pellaud,  
Sr. Victor Mourogov, Sr. Sueso Machi,  
Sr. Jihui Qian, Sr. Zygmund Domaratzki  
**DIRECTOR DE LA DIVISION DE INFORMACION PUBLICA:** Sr. David Kyd

**REDACTOR-JEFE:** Sr. Lothar H. Wedekind  
**AYUDANTES DE REDACCION:**  
Sra. Ritu Kenn, Sr. Rodolfo Quevenco, Sra. Juanita Pérez, Sra. Brenda Blann

**COMPOSICION/DISEÑO:**

Sra. Hannelore Wilczek

**COLABORADORES:**

Sra. S. Dallalah, Sra. L. Diebold, Sra. A.B. de Reynaud, Sra. R. Spiegelberg

**APOYO PARA LA PRODUCCION:**

Sr. P. Witzig, Sr. R. Kelleher,

Sra. M. Liakhova, Sra. M. Swoboda,

Sr. W. Kreutzer,

Sr. A. Adler, Sr. R. Luttenfeldner,

Sr. L. Nimetzki

### Ediciones en diversos idiomas

**APOYO PARA LA TRADUCCION:**

Sr. S. Datta

**EDICION EN FRANCES:**

Sección de Traducción al Francés del OIEA;  
Sra. V. Laugier-Yamashita, auxiliar de edición

**EDICION EN ESPAÑOL:** Equipo de Servicios de Traductores e Intérpretes (ESTI), La Habana (Cuba), traducción; Sr. L. Herrero, edición

**EDICION EN CHINO:** Servicio de Traducciones de la Corporación de la Industria de la Energía Nuclear de China, Beijing, traducción, impresión, distribución

**EDICION EN RUSO:** Producción en el OIEA

*El Boletín del OIEA se distribuye gratuitamente a un número limitado de lectores interesados en el OIEA y en la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos. Las solicitudes por escrito deben dirigirse al Redactor-jefe. Pueden citarse libremente extractos de los textos del OIEA contenidos en este Boletín del OIEA, siempre que se mencione su origen. Cuando en un artículo se indique que su autor no es funcionario del OIEA, deberá solicitarse a ese autor o a la organización a que pertenezca permiso para la reimpresión del material, a menos que se trate de reseñas.*

Las opiniones expresadas en los artículos firmados o en los anuncios de este Boletín no representan necesariamente las del Organismo Internacional de Energía Atómica, que declina toda responsabilidad por las mismas.

### Publicidad

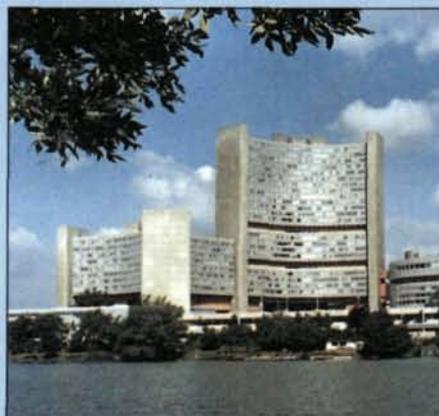
La correspondencia relativa a la publicidad debe dirigirse a la División de Publicaciones del OIEA, Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones, Apartado de Correos 100, A-1400, Viena (Austria).

<b>1957</b>	<b>1958</b>	<b>1969</b>
Afganistán	Bélgica	Malasia
Albania	Camboya	Niger
Alemania	Ecuador	Zambia
Argentina	Filipinas	<b>1970</b>
Australia	Finlandia	Irlanda
Austria	Irán, República Islámica del	<b>1972</b>
Belarús	Luxemburgo	Bangladesh
Braíl	México	<b>1973</b>
Bulgaria	Sudán	Mongolia
Canadá	<b>1959</b>	<b>1974</b>
Cuba	Iraq	Mauricio
Dinamarca	<b>1960</b>	<b>1976</b>
Egipto	Colombia	Emiratos Arabes Unidos
El Salvador	Chile	Qatar
España	Ghana	República Unida de Tanzania
Estados Unidos de América	Senegal	<b>1977</b>
Etiopía	<b>1961</b>	Nicaragua
Federación Rusa	Libano	<b>1983</b>
Francia	Mall	Namibia
Grecia	República democrática del Congo	<b>1984</b>
Guatemala	<b>1962</b>	China
Haití	Liberia	<b>1986</b>
Hungría	Arabia Saudita	Zimbabue
India	<b>1963</b>	<b>1991</b>
Indonesia	Argelia	Letonia
Islandia	Bolivia	Lituania
Israel	Côte d'Ivoire	<b>1992</b>
Italia	Jamahiriya Arabe Libia	Croacia
Japón	República Arabe Siria	Eslovenia
Marruecos	Uruguay	Estonia
Mónaco	<b>1964</b>	<b>1993</b>
Myanmar	Camerún	Armenia
Noruega	Gabón	República Checa
Nueva Zelanda	Kuwait	República Eslovaca
Paises Bajos	Nigeria	<b>1994</b>
Pakistán	<b>1965</b>	Ex República Yugoslava
Paraguay	Costa Rica	de Macedonia
Perú	Chipre	Islas Marshall
Polonia	Jamaica	Kazajistán
Portugal	Kenya	Uzbekistán
Reino Unido	Madagascar	Yemen
de Gran Bretaña	<b>1966</b>	<b>1995</b>
e Irlanda del Norte	Jordania	Bosnia y Herzegovina
República de Corea	Panamá	<b>1996</b>
República Dominicana	<b>1967</b>	Georgia
Rumania	Sierra Leona	Moldavia
Santa Sede	Singapur	
Sri Lanka	Uganda	
Sudáfrica	<b>1968</b>	
Suecia	Liechtenstein	
Suiza		
Tailandia		
Túnez		
Turquía		
Ucrania		
Venezuela		
Viet Nam		
Yugostavia		

Para la entrada en vigor del Estatuto del OIEA se requería la ratificación de dieciocho Estados. Al 29 de julio de 1957, los Estados que figuran en negrilla (incluida la antigua Checoslovaquia) habían ratificado el Estatuto.

El año indica el de ingreso como Estado Miembro. Los nombres de los Estados no corresponden necesariamente a su designación histórica.

El ingreso de los países que figuran en cursivas ha sido aprobado por la Conferencia General del OIEA y entrará en vigor una vez depositados los instrumentos jurídicos pertinentes.



El Organismo Internacional de Energía Atómica, creado el 29 de julio de 1957, es una organización intergubernamental independiente dentro del sistema de las Naciones Unidas. El Organismo, que tiene su Sede en Viena (Austria), cuenta actualmente con más de 100 Estados Miembros que mancomunan sus esfuerzos para realizar los objetivos principales del Estatuto del OIEA: acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero, y asegurar en la medida que le sea posible que la asistencia que preste, o la que se preste a petición suya, o bajo su dirección o control, no sea utilizada de modo que contribuya a fines militares.

La sede del OIEA, en el Centro Internacional de Viena.

Until now, one of the biggest problems with reading personal exposure doses has been the size of the monitoring equipment. Which is precisely why we're introducing the Electronic Pocket Dosimeter (EPD) "MY DOSE mini™" PDM-Series.

These high-performance

dosimeters combine an easy-to-read digital display with a wide measuring range suiting a wide range of needs.

But the big news is how very small and lightweight they've become. Able to fit into any pocket and weighing just 50~90 grams,

the Aloka EPDs can go anywhere you go. Which may prove to be quite a sizable improvement, indeed.

SCIENCE AND HUMANITY

**ALOKA**

ALOKA CO., LTD.

6-22-1 Mure, Mitaka-shi, Tokyo 181, Japan

Telephone: (0422) 45-5111

Facsimile: (0422) 45-4058

Telex: 02822-344

To: 3rd Export Section  
Overseas Marketing Dept.  
Attn: N.Odaka

Model	Energy	Range	Application
PDM-101	60 keV ~	0.01 ~ 99.99 $\mu$ Sv	High sensitivity, photon
PDM-102	40 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	General use, photon
PDM-173	40 keV ~	0.01 ~ 99.99 mSv	General use, photon
PDM-107	20 keV ~	1 ~ 9,999 $\mu$ Sv	Low energy, photon
PDM-303	thermal ~ fast	0.01 ~ 99.99 mSv	Neutron
ADM-102	40 keV ~	0.001 ~ 99.99 mSv	With vibration & sound alarm, photon



## Safety, convenience and a variety of styles to choose from.



PDM-107



PDM-102



PDM-173



PDM-101



PDM-303



ADM-102