

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.

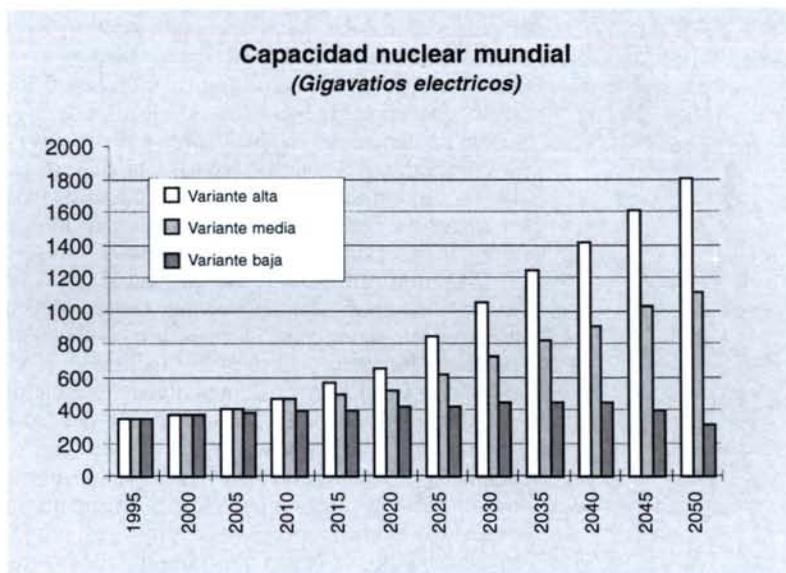
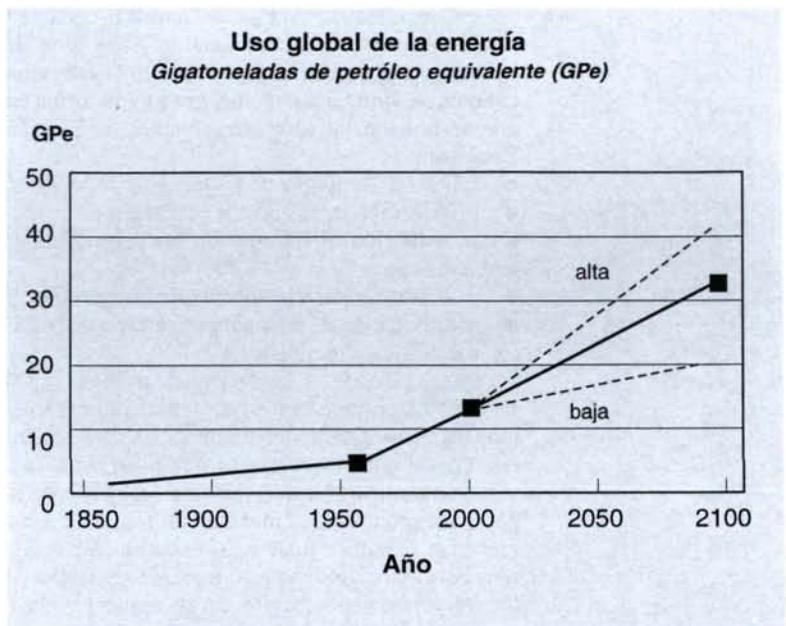
Sin embargo, no hay dudas de que la actual ausencia de respaldo público podría limitar la construcción de nuevas centrales. Será menester debatir abiertamente las inquietudes que han limitado la aceptación de la energía nucleoelectrica. Pero, las repercusiones en el medio ambiente y la salud conjuntamente 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 nucleoelectrónica. 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 nucleoelectrónicos, 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.

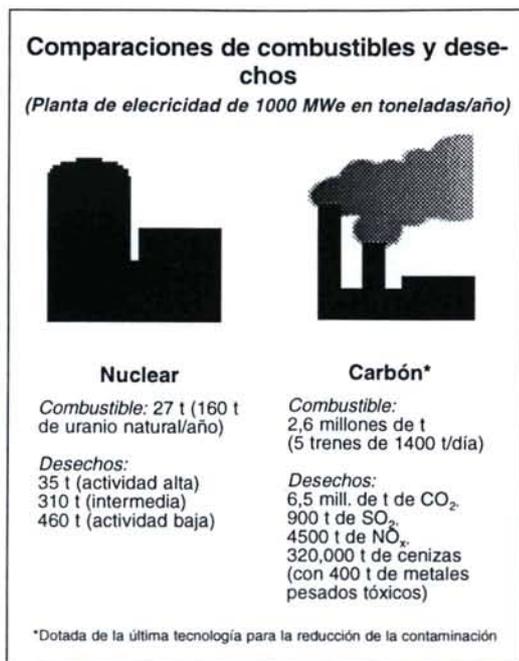
Financiación. Se necesitará aplicar estrategias de inversión nuevas e innovadoras para cumplir los objetivos inversionistas en evolución. En el marco de los acuerdos de financiación multinacionales podría resultar más fácil obtener las grandes cantidades de capital inicial requeridas para los proyectos nucleoelectrónicos. 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 nucleoelectrónica, en términos generales, tiene un excelente historial en materia de seguridad. Sin embargo, el accidente de Chernobyl, 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.