

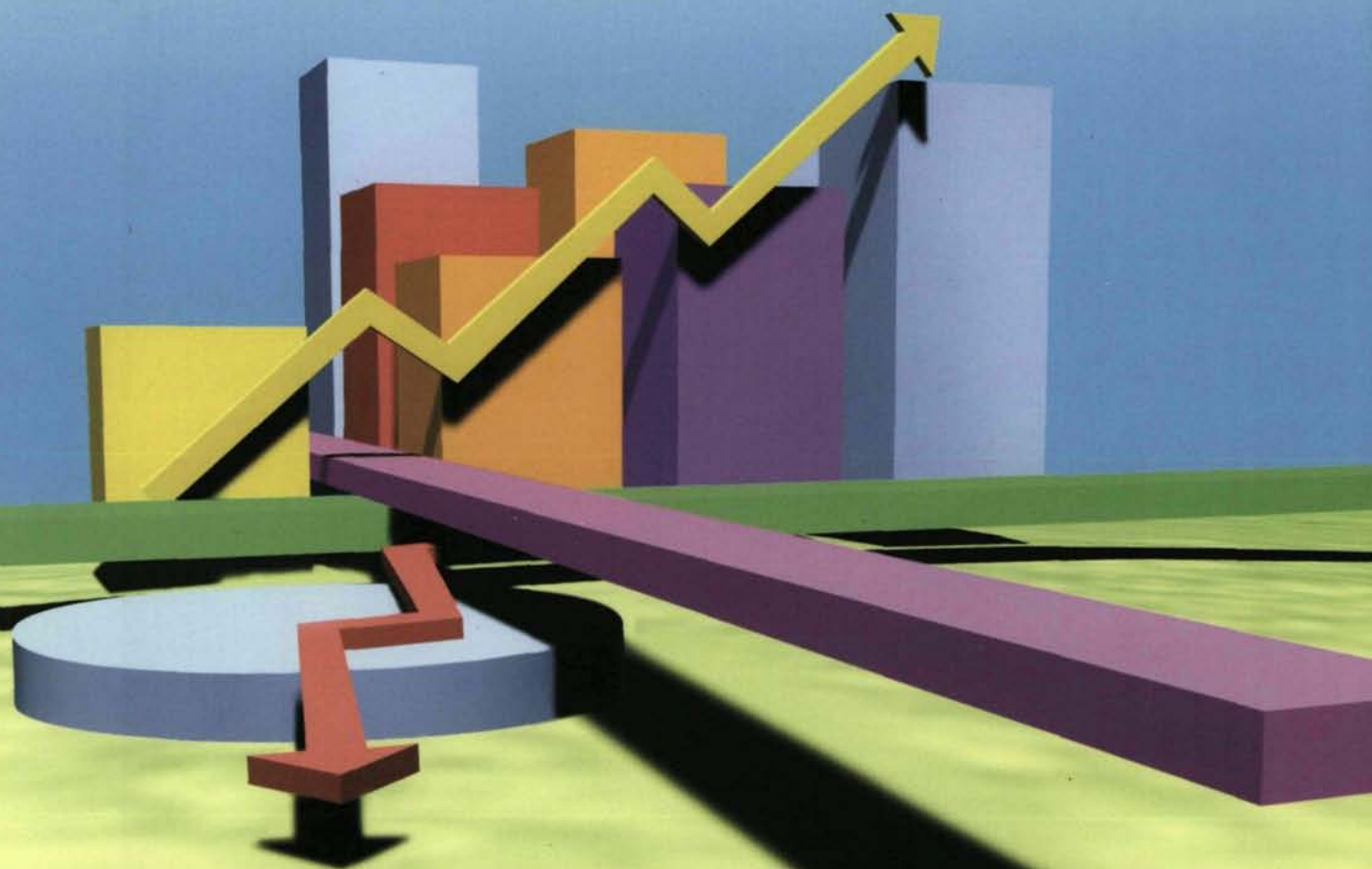
VOL.42, Nr.2,2000
VIENA, AUSTRIA

OIEA

BOLETIN



REVISTA TRIMESTRAL DEL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA



SUSTAINABLE ENERGY DEVELOPMENT

DEVELOPPEMENT ENERGETIQUE DURABLE

DESARROLLO ENERGETICO SOSTENIBLE

УСТОЙЧИВОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

تنمية الطاقة المستدامة

能源的可持续发展

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS

LECTORES

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

Gracias a todos ustedes por responder a la amplia encuesta dirigida a los lectores del Boletín del OIEA que realizamos durante el año pasado. La encuesta es importante para actualizar nuestra lista de distribución y planificar futuras orientaciones editoriales. Recibimos una respuesta excelente de miles de destinatarios en todo el mundo y en estos momentos estamos procesando sus respuestas. En los próximos meses les informaremos sobre los resultados de la encuesta. Les agradecemos el tiempo que dedicaron a responder al cuestionario, pues sus opiniones nos serán útiles para tratar de prestar un servicio aún mejor en el futuro. — *El editor*





EN ESTA EDICION

ENERGIA DEL MAÑANA

El Consejo Mundial de Energía exhorta a la acción mundial
por Gerald Doucet

2

AMPLIACION DE LA BASE ENERGETICA

Fomento de la capacidad para la evaluación comparativa de la energía
por Bruce Hamilton, Guenter Conzelmann, y Duy Thanh Bui

8

INSTRUMENTOS PARA MEDIR EL PROGRESO

Indicadores del desarrollo energético sostenible
por Arshad Khan, Hans-Holger Rogner, y Garegin Aslanian

14

EVALUACION DE LA DIFERENCIA

Emisiones de gases de efecto invernadero producidos por las cadenas de generación de electricidad
por Joseph V. Spadaro, Lucille Langlois, y Bruce Hamilton

19

RECONSIDERANDO LAS OPCIONES

Los mecanismos flexibles de Kyoto y la energía nucleoelectrica
por Hans-Holger Rogner

25

FUERZAS PROPULSORAS DEL CAMBIO CLIMATICO

La energía nuclear y los últimos escenarios de emisión del IPCC
por Vladimir Kagramanian, Serguei Kononov, y Hans-Holger Rogner

31

HACER DIANA EN BLANCOS MOVILES

Competitividad económica de la energía nucleoelectrica
por Hans-Holger Rogner y Lucille Langlois

36

LA NECESIDAD DE GENERAR ENERGIA NUCLEOELECTRICA

Opinión sobre el incierto futuro energético del mundo
por Richard Rhodes y Denis Beller

43

NECESIDAD DE INNOVAR

Desarrollo futuro de reactores nucleares y ciclos del combustible
por Debu Majumdar, Juergen Kupitz, Hans-Holger Rogner, Thomas Shea, Friedrich Niehaus, y Kosaku Fukuda

51

SECCIONES FIJAS DEL BOLETIN DEL OIEA

Resumen internacional de noticias...Datos estadísticos...Puestos vacantes...
Libros...Reuniones

60

ENERGIA DEL MAÑANA

EL CONSEJO MUNDIAL DE ENERGIA EXHORTA A LA ACCION MUNDIAL

POR GERALD DOUCET

Desde que el Consejo Mundial de Energía (CME) publicó su informe de 1993, titulado Energía para el mundo de mañana: realidades, opciones reales, programa para su consecución, mucho ha sucedido en el sector de la energía mundial.

En abril de 2000, el CME emitió una Declaración en la que se reexaminaba la situación de la energía en el mundo, mediante la revisión de su informe Energía para el mundo de mañana. La Declaración 2000 del CME analiza de modo crítico los escenarios anteriores y propone un nuevo conjunto de metas y acciones de política. El objetivo era valerse de las experiencias reales acumuladas en los últimos ocho años, tanto en lo que respecta al análisis como a una serie más definida de acciones de política. El CME dedicó su Declaración a ayudar a superar la pobreza en materia de energía dondequiera que la hubiera; aumentar la calidad y la fiabilidad de la energía suministrada; y reducir al mínimo los efectos negativos del desarrollo energético en el medio ambiente y la salud.

La Declaración 2000 del CME establece los objetivos de energía y define las acciones de política que, de adoptarse ahora, darían motivos para sentir un optimismo razonable al encarar la tarea que tenemos por delante. El presente artículo se basa en el Resumen Ejecutivo de la Declaración y destaca los aspectos fundamentales en el contexto de los principales acontecimientos acaecidos en los últimos ocho años.

El Sr. Doucet es Secretario General del Consejo Mundial de Energía, organización mundial con sede en Londres, que realiza actividades en más de 100 países.

Algunos de los mecanismos impulsores del crecimiento económico y el consumo de energía han cambiado en los últimos ocho años.

■ Si bien el crecimiento demográfico mundial ha disminuido, la urbanización se ha acelerado, sobre todo en los países en desarrollo. La proyección a mediano plazo de las Naciones Unidas para el año 2020 es en estos momentos de 7400 millones de personas, en comparación con la predicción de 8100 millones de principios del decenio de 1990.

■ El crecimiento económico ha sido más lento en los últimos ocho años que lo que se previó en Energía para el mundo de mañana. En 1993, no se podían haber pronosticado los actuales problemas económicos de las economías en transición ni las subsiguientes crisis en regiones de Asia y América Latina, que han tenido un efecto descendente en el consumo energético.

■ La intensidad energética no ha descendido tan rápidamente como se previó en dicho informe.

■ La cooperación financiera entre los países desarrollados y en desarrollo no ha aumentado desde 1993. Para muchos países, la solución sigue siendo el establecimiento de reformas jurídicas, financieras y de mercado que atraigan el capital nacional y extranjero necesario para los nuevos proyectos energéticos.

■ Uno de los cambios más importantes ha sido el grado de desregulación y reestructuración de los mercados energéticos, sumado a una marcada tendencia

hacia la integración regional y el comercio energético.

■ Otra cuestión fundamental es la relacionada con el programa ambiental internacional, que está impulsado básicamente por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) a partir de 1992 y las subsiguientes rondas de reuniones de las Conferencias de las Partes (COP), y que también está vinculado a la Novena Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, que se celebrará en el año 2001. La contaminación local y regional, así como las emisiones de gases de efecto invernadero, han recibido gran atención política, y se examina a fondo el aporte del desarrollo energético a esos problemas y a la sanidad y el bienestar en general.

En 1993, había casi 1800 millones de personas en el mundo sin acceso a la energía comercial. Pese a los esfuerzos realizados en los últimos ocho años por conectar a unos 300 millones de personas a redes eléctricas o por proporcionarles la moderna energía de la biomasa y otros tipos de energías comerciales, se calcula que aún hay 1600 millones de personas en esa situación. A ellas se sumarán de 400 a 500 millones de personas de los 1400 millones que nacerán entre el presente y el año 2020. La mayoría de esas personas residen en zonas rurales y barrios de viviendas precarias en países en desarrollo. El efecto de filtración del crecimiento económico y de la infraestructura energética de base no son

necesariamente la respuesta a sus problemas de pobreza en materia de energía.

TRES OBJETIVOS DE ENERGÍA

El CME considera que el crecimiento económico y las reformas institucionales nacionales e internacionales son esenciales para que todos puedan tener acceso a la energía, incluidos los dos mil millones de habitantes más pobres del mundo. Cuando sólo algunas personas o regiones del mundo se beneficiarían del desarrollo energético, mientras otros se quedan a la zaga, la consiguiente inestabilidad política y social puede ser una amenaza significativa para la paz mundial y, a su vez, para la disponibilidad energética debido a trastornos en el suministro. Además del efecto de la accesibilidad en la disponibilidad energética, ésta también se relaciona estrechamente con la aceptabilidad energética. Las asociaciones que se establecen para hacer inversiones con miras a lograr la accesibilidad y la disponibilidad energéticas también pudieran abordar los problemas sociales y ambientales.

■ **La accesibilidad** es la prestación de servicios energéticos modernos, fiables y baratos, que son remunerados. Está supeditada a políticas que se destinen específicamente a atender a las necesidades de los pobres, en el marco de una dependencia cada vez mayor de las señales del mercado. La mejor forma de garantizar que un creciente número de personas pueda pagar la energía comercial que requiere, según sus necesidades, es acelerar el crecimiento económico y procurar una distribución más equitativa de los ingresos. Para ello se debe depender cada vez más del mercado, y solucionar los casos de "deficiencias" del

mercado adoptando políticas especiales.

Si bien es necesario contar con una tarifa energética que refleje todos los costos, incluidos los costos externos como las emisiones o la gestión de desechos, a fin de asegurar una adecuada inversión y fomentar la eficiencia energética y las tecnologías preferidas desde el punto de vista ambiental, muchas personas no podrían pagar esa tarifa. Al mismo tiempo, una tarifa subvencionada que reduzca los precios a un nivel socialmente módico no atraería suficientes inversiones, lo que, a la larga, perjudicaría los intereses de los que necesitan la infraestructura energética comercial. En algunos casos, tal vez sea necesario subvencionar la tecnología energética y la prestación del servicio durante un tiempo sin producir deformaciones en los precios o, al menos, manteniéndolos al nivel mínimo.

■ **La disponibilidad** abarca la calidad y la fiabilidad de la energía suministrada. La continuidad en el suministro de energía, particularmente de electricidad, es esencial en el siglo XXI. Aunque en ciertas circunstancias puede ser que el suministro se interrumpa a corto plazo, siempre que los consumidores conozcan y comprendan estas circunstancias, los apagones inesperados tienen un alto costo para la sociedad que no puede pasarse por alto. Debido a la creciente dependencia mundial de la tecnología de la información, la fiabilidad es aún más crítica que ocho años atrás. La disponibilidad de energía exige una cartera energética diversificada que se ajuste a las circunstancias nacionales particulares y a los medios que permitan aprovechar las nuevas fuentes energéticas potenciales. La mayoría de los Comités que son Miembros del CME concuerdan en que en los próximos cincuenta años se necesitarán todas las fuentes energéticas y en que no tiene

sentido excluir arbitrariamente ninguna fuente de energía.

■ **La aceptabilidad** está relacionada con los objetivos ambientales y las actitudes del público. La contaminación local ocasiona daños a miles de millones de personas, especialmente en los países en desarrollo. El cambio climático mundial se ha convertido en una importante preocupación. Conscientes de ello, los países en desarrollo se preocupan por los crecientes niveles de emisiones provocadas por el consumo en los hogares, que crean contaminación local (urbana) y regional (como el efecto de la lluvia ácida en los cultivos y los bosques), y el efecto potencial en sus economías de las medidas de respuesta relacionadas con el cambio climático.

El sector energético es una esfera en que las tecnologías nuevas y fácilmente disponibles ya han reducido las emisiones y tienen perspectivas de mejoras futuras. Desde luego, es preciso desarrollar, difundir, mantener y ampliar en todas las regiones del mundo las tecnologías inocuas para el medio ambiente. Por consiguiente, es necesario fomentar una adecuada capacidad local para velar por que las poblaciones locales puedan utilizar y mantener las tecnologías. Los recursos energéticos deben producirse y utilizarse de manera tal que protejan y preserven el medio ambiente local y mundial ahora y en el futuro.

Abordar estos tres objetivos de accesibilidad, disponibilidad y aceptabilidad en materia de energía es fundamental para la estabilidad política en todo el mundo, para la estrategia comercial en esta esfera en el siglo XXI, y para lograr un futuro sostenible para el mundo.

DIEZ ACCIONES DE POLÍTICA

La energía es parte importante de un adecuado programa de

WWW.WORLDENERGY.ORG

El Consejo Mundial de Energía es la principal organización multinérgica del mundo, cuyos integrantes pertenecen a Comités de Miembros en unos 100 países. El CME analiza, frecuentemente, las cuestiones energéticas y conexas en los planos mundial, regional y local, junto con asociados internacionales, y rinde informes al respecto. Emplea ciclos trienales de trabajo, y cada uno de ellos culmina en un Congreso Mundial de la Energía, abierto a sus miembros, dirigentes del ramo de la energía, funcionarios gubernamentales, organizaciones internacionales, círculos académicos, medios de difusión, y otros interesados. La celebración del próximo Congreso está prevista para el año 2001, en Buenos Aires, Argentina.

En el sitio Internet de la organización en www.worldenergy.org puede obtenerse más información sobre toda la variedad de programas y actividades del CME, incluida la Declaración 2000 del CME sobre las condiciones de la energía mundial e informes y publicaciones conexas. La Secretaría del CME tiene su sede en Londres en 1-4 Warwick Street, 5th Floor, Regency House, W1R 6LE, RU.

desarrollo, que incluye políticas macroeconómicas y del sector no energético. Se necesitan políticas equitativas de índole financiera, fiscal y social. Una baja inflación, presupuestos equilibrados, políticas de transferencia social, incluidos los subsidios de salud y jubilación, la educación, y otros programas son clave para crear la estructura económica y social adecuada para el crecimiento económico. En los casos en que los mercados nacionales son demasiado pequeños, se requieren políticas regionales para ofrecer perspectivas amplias y atractivas a la inversión directa nacional o extranjera y al comercio expandido.

EL CME reconoce la trascendental importancia de crear esas condiciones que sirvan de marco para el desarrollo general y el alivio de la pobreza. Para ser más precisos respecto de la esfera de competencia del CME, hemos decidido concentrarnos en diez acciones prioritarias para el sector energético. Podrían ser más o podrían ser menos, pero consideramos que las diez acciones siguientes abarcan las cuestiones más importantes en

materia de desarrollo energético sostenible desde ahora hasta el año 2020.

1. Cosechar los beneficios de la reforma del mercado y la reglamentación adecuada. Como norma general, los gobiernos deben apartarse de la gestión directa de los mercados energéticos y limitar su función a establecer reglas acertadas que sean aplicadas por órganos reguladores imparciales. Las palabras clave son liberalización, comercio, privatización, y más generalmente elección por parte del consumidor. Las reformas del mercado deben tomar en cuenta el creciente vínculo que existe entre el gas, los líquidos y la electricidad. El programa de reformas debe ser claro y ejecutarse en un plazo prudencial a fin de disminuir los costos de las transacciones, en particular por la incertidumbre cada vez mayor que entrañan las reformas del mercado. Es imprescindible que órganos imparciales sin injerencia política a corto plazo establezcan y apliquen reglamentos apropiados y equilibrados.

El CME ha publicado un resumen exhaustivo de los beneficios y los riesgos de la liberalización del sector energético

en 33 países y regiones. Ahora se actualiza para abarcar a más de 100 países, con toda la información electrónicamente disponible en el sistema de información sobre la energía mundial del CME. También se cuenta con un informe especial sobre la legislación en el sector energético en Europa central y oriental. En el Decimotercer Congreso Mundial de Energía que se celebrará en Buenos Aires en 2001, se examinará un estudio especial sobre Mercados energéticos en transición en América Latina y el Caribe, así como la actualización de la evaluación mundial de la liberalización del sector energético.

2. No descartar ninguna opción energética. La adaptación de los sistemas energéticos a las nuevas realidades de los precios es lenta o costosa. Debe haber margen para el desarrollo de nuevas formas de energía que compensarían el carácter limitado de algunos tipos de suministros de energía existentes o que emplearían tecnologías en formas nuevas para reducir los efectos secundarios nocivos de la actual producción o utilización de energía. La diversificación de la energía, la integración regional de los sistemas energéticos y el aumento del comercio de los servicios energéticos son estrategias pertinentes.

Inevitablemente se llega a la conclusión de que hasta el año 2020 el mundo seguirá dependiendo en gran medida de los combustibles fósiles y de las grandes centrales hidroeléctricas, aunque con especial hincapié en el papel del gas natural y de los eficientes sistemas de combustibles fósiles menos contaminantes. Con todo, la total dependencia de esas fuentes de energía para satisfacer la creciente demanda de electricidad no es sostenible, especialmente si todo el mundo tiene un adecuado acceso a esas fuentes.

Si bien algunos miembros del CME ponen en duda el futuro de la energía nucleoelectrónica, la mayoría cree que es preciso estabilizar su función para poder ampliarla en el futuro. Según esa mayoría, deben fomentarse los esfuerzos encaminados a desarrollar la tecnología nuclear intrínsecamente segura y barata.

En vista de las características de los sistemas energéticos, en las regiones donde existan posibilidades significativas, deben aplicarse políticas orientadas a desarrollar y financiar el uso de la energía hidroeléctrica, nuevas fuentes renovables y sistemas energéticos híbridos. En última instancia, los criterios de mercado deben prevalecer en el desarrollo de todos los recursos energéticos.

3. Reducir el riesgo político de las inversiones en proyectos energéticos clave. La experiencia acumulada con la devaluación arbitraria de las monedas, los cambios en los regímenes fiscales y las barreras levantadas a la repatriación de beneficios, entre otras, ocasiona un riesgo político que aumenta el costo de las inversiones de capital, especialmente en los países en desarrollo. En el plano bilateral, se dispone de seguro contra riesgo no comercial a un nivel máximo que es insuficiente para la mayoría de las inversiones relacionadas con la energía.

Esos riesgos encarecen más las inversiones extranjeras y, a veces, las nacionales, en un país pobre que en uno rico. Si bien las reformas del mercado desempeñarán un papel positivo en la creación de un entorno más propicio para las inversiones, los planes existentes para abordar los riesgos no comerciales están hechos para el sector manufacturero y su escala es demasiado pequeña para asimilar la escala de los riesgos asociados a las importantes inversiones en la energía. Todos los gobiernos y los círculos bancarios deberán examinar detenidamente las

modalidades de un plan mundial de coaseguro que se dedique a cubrir el riesgo político de nuevos proyectos comerciales de energía en los países en desarrollo, y que también reduzca las emisiones locales y de gases de efecto invernadero. Ese plan podría ser financiado por los países en desarrollo y los países desarrollados y ser ejecutado por el Banco Mundial en asociación con otros organismos internacionales de crédito para el desarrollo.

EL CME ha concluido un estudio sobre financiación del sector energético mundial, que lo guiará en su trabajo con el Banco Mundial y los bancos regionales de fomento en cuanto al diseño y los criterios de un plan mundial de coaseguro para las inversiones en dicho sector. También trabajará con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos sobre los criterios para la renovación del compromiso de los países industrializados con la accesibilidad y la aceptabilidad de la energía.

4. Fijar el precio de la energía para cubrir costos y garantizar el pago. La energía de cualquier tipo no es un bien social público gratuito. Su precio debe reflejar todos los costos variables, de mantenimiento y de ampliación, y debe contarse con un sistema fiable para que los usuarios que usan la energía paguen por ella.

Los precios del usuario final son un parámetro fundamental que impulsa el consumo energético. A menos que reflejen los costos marginales a largo plazo (costos variables, de mantenimiento y ampliación de capital), incluido, siempre que sea posible, el costo de factores externos bien identificados como la seguridad energética o la protección ambiental, esos precios deformarán el comportamiento individual, tendrán efectos nocivos en la medida estándar del producto interno bruto (PIB), y la economía en su conjunto podrá verse afectada. La eliminación de los

subsidios cruzados y subsidios energéticos, por ejemplo, en los sectores del transporte y la electricidad, debe ser una prioridad, así como el establecimiento de un sistema tributario en materia de energía que sea compatible. Junto a precios que reflejen los costos, es esencial contar con un sistema de pagos viable para la energía comercial.

EL CME ha concluido un estudio especial regional sobre mecanismos mercantiles en el sector de la electricidad para la región de Asia y el Pacífico, y celebra talleres o foros regionales en Europa central y oriental, América Latina y África sobre sistemas de fijación de precios y de pagos. A finales del año 2000 se publicará un importante estudio sobre la fijación de los precios de la energía en países en desarrollo.

5. Promover una mayor eficiencia energética. La intensidad energética está directamente relacionada con las señales de los precios, mientras la eficiencia energética depende más de la difusión de las tecnologías más rentables. La introducción de normas jurídicas mínimas en el equipo y los servicios de la energía es decisiva. La existencia de contadores y de un sistema de pagos de la energía es imprescindible para lograr el objetivo de desvincular el consumo de energía del crecimiento del PIB.

Las políticas de eficiencia energética en que se utilizan mecanismos de precios directos o indirectos (por ejemplo, eliminar los subsidios, incorporar factores externos) son las más eficaces para reducir las tendencias de consumo de energía. Ahora bien, aún sin cambiar el entorno general de precios, deben seguirse políticas tendientes a la eficiencia energética para corregir las deficiencias del mercado. Las normas de eficiencia energética también contribuyen a aumentar

el crecimiento del PIB porque incrementan la productividad marginal de la energía o porque proporcionan la base, con la misma energía, para aumentar el bienestar, tanto en términos económicos como ambientales. Una vez más las normas jurídicas y un sistema de pagos adecuado son de importancia decisiva para lograr los objetivos del rendimiento energético.

6. Promover asociaciones de financiación vinculadas a los objetivos ambientales. Las medidas nacionales dirigidas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en los países industrializados, merecen atención por sí solas. De hecho, en el contexto de la mitigación del cambio climático, se alienta a los países industrializados a que tomen medidas en el plano nacional ante todo. Sin embargo, dada la enorme necesidad de nuevo capital social que hay en los países en desarrollo, los mecanismos internacionales que pueden estimular corrientes de capital para proyectos de energía no contaminante e inocua en estos países constituyen enfoques complementarios valiosos que deben tener gran prioridad para los gobiernos. Estos países son los que tienen las mayores posibilidades en materia de bajo costo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la energía.

Deben impulsarse las empresas mixtas relacionadas con programas específicos de accesibilidad y aceptabilidad de la energía. Se examinan mecanismos mundiales de promoción de la cooperación internacional entre países desarrollados y países en desarrollo, y es preciso establecerlos de forma viable sin dilación. Deben diseñarse normas claras y sencillas para certificar las reducciones de emisiones vinculadas a dichos proyectos, así como un plan explícito de cumplimiento-incentivo que

funcione como señal de precio y como límite del costo. En teoría, esas asociaciones deben proponerse alentar reformas de mercado y desarrollar nuevas infraestructuras de energía no contaminante o promover proyectos que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero.

El Programa Piloto del CME sobre reducción de emisiones de gases de efecto invernadero ha elaborado información, disponible en formato electrónico, sobre proyectos clave de energía en el mundo, que abordarán los objetivos de accesibilidad y aceptabilidad de la energía desde ahora hasta el año 2005. La metodología y los criterios de esta base de datos, de ser aprobada por el CME para uso público, pueden servir a inversores, banqueros, empresas de servicios públicos y compañías del sector energético para atraer financiación y obtener aprobaciones reglamentarias. A medida que aumente la confianza en la base de datos, el programa pudiera ampliarse a sectores relacionados con la energía como la agricultura y el transporte. Pudiera considerarse una prórroga después del año 2005 cuando autoridades independientes hayan verificado los resultados de los proyectos existentes.

7. Garantizar la energía a precios asequibles a los pobres. Las políticas económicas y sociales encaminadas a la distribución equitativa de los ingresos son los medios más eficaces para ayudar a los pobres. La experiencia acumulada muestra que esas políticas contribuyen al crecimiento económico del país en conjunto. Con todo, esas políticas deben complementarse con programas sectoriales adecuados.

En el sector energético, para que los pobres tengan acceso a la energía, los gobiernos deben aceptar la responsabilidad de absorber una parte o la totalidad de los costos irrecuperables de

las infraestructuras energéticas necesarias para dar servicio a los pobres; diseñar señales de precios que reflejen los costos de la energía de base a bajo costo para el servicio esencial, utilizando contadores de capacidad limitada; favorecer los sistemas descentralizados de fuentes de energía renovables para las zonas rurales donde los costos de su ciclo de vida sean comparables con los de la ampliación de la red o más bajos; y fomentar la capacidad de las empresas energéticas locales mediante la capacitación de administradores y personal de otro tipo, desde el punto de vista técnico y comercial, para dirigir los diferentes aspectos de la actividad, incluido el mantenimiento local.

8. Financiar la investigación, el desarrollo y la implantación (I+D&D). La I+D&D que aborda un "bien común", o beneficios compartidos para todos, requiere una adecuada financiación estatal. Ese gasto será más eficiente, si se hace en condiciones competitivas. En el plano internacional, debe promoverse la cooperación entre los gobiernos para minimizar el solapamiento y maximizar la competencia. En el plano nacional, las autoridades imparciales, incluidos los círculos académicos, la industria y el público, deben supervisar la distribución y los gastos del presupuesto.

Debería contarse con programas de I+D energéticos bien financiados en las esferas prioritarias siguientes: eficiencia energética, tanto en la producción como en el uso final; todas las fuentes renovables en la etapa de desarrollo; aislamiento del carbono en depósitos y acuíferos subterráneos o en las profundidades oceánicas; sistemas de combustibles fósiles menos contaminantes; energía nucleoelectrónica, en la que los gastos deben concentrarse en las centrales evolutivas (LWR), en diseños

revolucionarios intrínsecamente seguros que puedan ser adecuados para mercados de países en desarrollo, y en el almacenamiento, el tratamiento y la disposición final de desechos; la superconductividad para reducir las pérdidas de transmisión y transformación y para almacenar electricidad; y sistemas energéticos integrados y descentralizados, así como sistemas de compensación diseñados para breves variaciones de potencia.

EL CME ha emprendido un importante estudio sobre promoción de la tecnología energética en el siglo XXI, sobre el que informará en el Decimotavo Congreso Mundial de Energía, que se celebrará en 2001.

9. Promover la educación y la información pública. La educación y la información pública requieren un debate abierto, transparente, independiente, activo y que incite a la reflexión. Es necesario financiar instituciones energéticas eficaces en los planos nacional e internacional (incluidos tanto los países desarrollados como los países en desarrollo). La iniciativa del CME de establecer un sistema mundial de información sobre energía, interconectado con bases de datos regionales, y su decisión de volver a examinar su informe titulado *Energía para el mundo de mañana* son pasos que se han dado en la dirección correcta. Otro esfuerzo valioso para impulsar la educación es el Programa para estudiantes del Congreso Mundial trienal del CME.

10. Lograr que la ética sea un sólido componente de la buena gestión del sistema energético. En una sociedad globalizada, las empresas que funcionan internacionalmente deben actuar como ciudadanos del mundo. No sólo deben respetar las leyes y reglamentos nacionales, sino también promover el programa mundial en materia de energía y medio ambiente. La ética comercial fundamental, incluida la

honestidad y la ausencia de prácticas corruptas, es esencial, pero la necesidad de la ética rebasa esos aspectos. En todas las centrales de todos los países donde una empresa opere, debe fomentarse la energía opcional y/o las auditorías del medio ambiente, la amplia divulgación de éstas en la sociedad civil, las normas comunes de seguridad, el comportamiento, las mejores prácticas industriales y el respeto a los trabajadores del sector energético. Esos son los otros elementos de una buena gestión institucional y empresarial mundial que recomendamos en este artículo.

El CME ha realizado investigaciones especiales sobre estudios de caso en materia de energía relacionadas con las dimensiones éticas de la actividad, que serán tema de debate en una mesa redonda en el Decimotavo Congreso Mundial de Energía en el año 2001.

AHORA ES EL MOMENTO DE ACTUAR

En su Declaración, el CME ha seguido centrandose deliberadamente su atención en los dos decenios hasta el año 2020, a fin de prever el cambio de manera más fiable y ver con más claridad las acciones de política específicas. Ofrecemos a los gobiernos, a los jefes de empresas y al público en general este análisis de la información reciente y las recomendaciones que hacemos y que están contenidas en el presente artículo. Esperamos haber contribuido a que se comprenda mejor la función de la energía en la estructura política y social de las personas, las sociedades, las regiones y los países de todo el mundo.

Es importante señalar que el momento y la magnitud de las medidas de los gobiernos o empresas variarán de un país a otro según la madurez y estabilidad de sus economías. Hemos tratado de pensar globalmente acerca del desarrollo

energético sostenible de forma que fomente la acción local.

La industria energética es evidentemente el elemento clave de la accesibilidad más amplia a los servicios energéticos comerciales, de la disponibilidad de un suministro ininterrumpido y de productos energéticos más aceptables desde el punto de vista social y ambiental. La rapidez, magnitud y naturaleza de estos acontecimientos depende, en parte, de los marcos facilitadores, los deseos y el apoyo de otros agentes sociales y de la implantación de las tecnologías requeridas y la financiación.

La falta de conocimiento, educación y de un compromiso con objetivos de política energética claros, así como los requisitos básicos para lograrlos, están entre las mayores barreras que se oponen al éxito, barreras que afectan a los responsables de formular políticas, a las autoridades públicas, a la industria y al público en general; aumentan la renuencia a apoyar políticas innovadoras encaminadas a promover el desarrollo energético más sostenible; no alientan a los consumidores a cambiar sus actitudes y hábitos e impiden que los interesados y otros inversores apoyen el cambio.

Los escenarios del CME ahora llegan hasta el año 2050 y más adelante. Nadie puede pasar por alto la perspectiva a largo plazo con que se desarrollarán los servicios energéticos modernos. En la medida en que nuestros criterios y recomendaciones contribuyan a la producción y al uso sostenibles de la energía para el mayor provecho de todos, cabe esperar que lo que logremos desde ahora hasta el año 2020, será decisivo para un mundo sostenible durante muchos decenios sucesivos. Por consiguiente, el Consejo Mundial de Energía está decidido a centrar sus esfuerzos en los objetivos energéticos y a ayudar a aplicar todas las acciones de política que figuran en esa Declaración. □

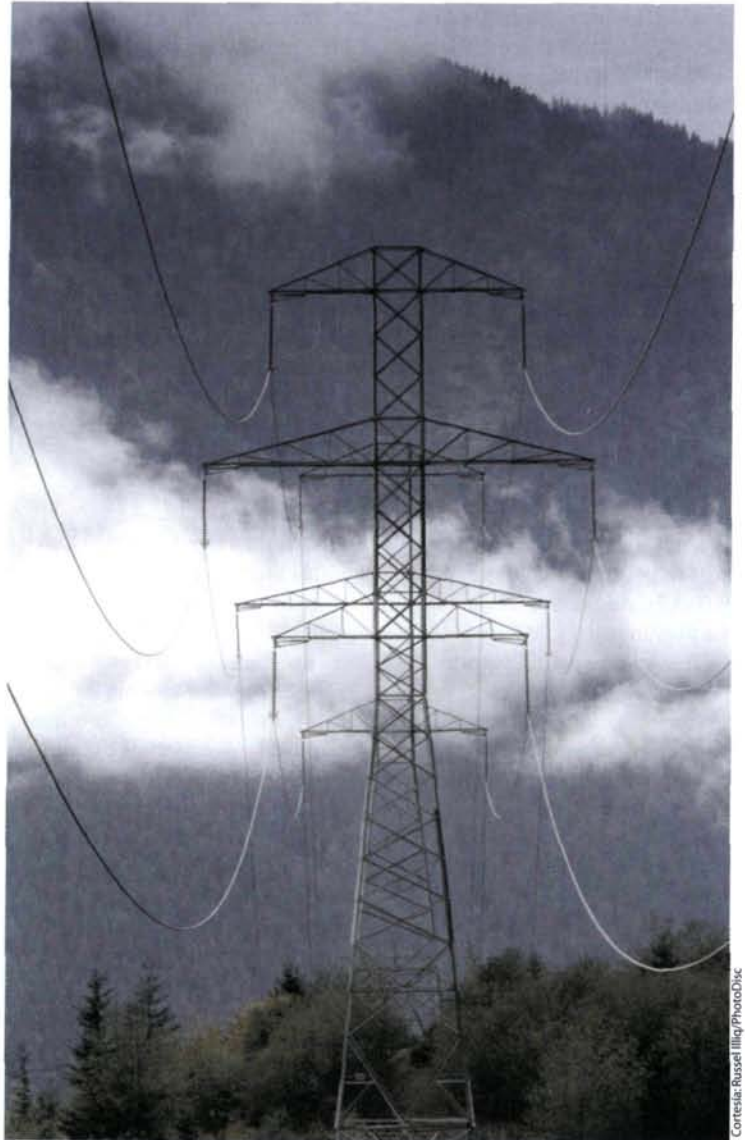
FOMENTO DE LA CAPACIDAD PARA LA EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LA ENERGÍA AMPLIACIÓN DE LA BASE ENERGÉTICA

POR BRUCE HAMILTON, GUENTER CONZELMANN Y DUY THANH BUI

El análisis de los sistemas energéticos nacionales está alcanzando grados de complejidad sin precedentes. Además de la incertidumbre respecto de la demanda energética futura, el rendimiento y los costos de la tecnología, los planificadores y los encargados de adoptar decisiones se enfrentan a cuestiones como la protección del medio ambiente, el desarrollo sostenible, la desreglamentación y la liberalización del mercado. Al mismo tiempo, los fondos del sector público para proyectos de inversión en la esfera energética son objeto de reducciones progresivas.

El OIEA ofrece a sus Estados Miembros un amplio programa de asistencia y cooperación técnicas, que abarca múltiples esferas diversas relacionadas con la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos. En la esfera de la evaluación comparativa de la energía, esta asistencia tiene por objeto fortalecer la capacidad nacional para elaborar modalidades sostenibles de suministro y utilización de energía. La asistencia se presta de tres formas, a saber:

- distribución de metodologías de avanzada e instrumentos para la adopción de decisiones, adaptados a las necesidades especiales de los países en desarrollo;
- capacitación en la aplicación de los modelos, la interpretación de los resultados y su utilización para la adopción de decisiones o la formulación de políticas; y
- realización de estudios nacionales en cooperación con los Estados Miembros solicitantes.



Cortesía: Russel Illing/PhotoDisc

El Sr. Hamilton y el Sr. Bui son funcionarios de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear del OIEA.

El Sr. Conzelmann es Director de la Sección de Estudios Nacionales e Internacionales del Laboratorio Nacional de Argonne de los Estados Unidos de América.

Foto: El OIEA presta asistencia a muchos países en lo tocante a planificar la ampliación de sus sistemas de generación de electricidad.

METODOLOGIAS E INSTRUMENTOS PARA EL ANALISIS ENERGETICO

El OIEA tiene una larga historia de suministro de datos, información e instrumentos analíticos adecuados para la adopción de decisiones fundamentadas sobre cómo atender mejor a las necesidades energéticas de un país.

Planificación de costo mínimo en los decenios de 1970 y 1980.

A principios de los años setenta, el OIEA comenzó a apoyar el establecimiento y la aplicación de instrumentos de análisis de los sistemas de electricidad, para uso de los Estados Miembros, a fin de que éstos evaluaran el posible papel de la energía nucleoelectrica. Dado que la demanda de electricidad proyectada para el futuro constituye un importante factor determinante de las necesidades en materia de energía nucleoelectrica, los esfuerzos iniciales incluyeron la creación del Modelo para el análisis de la demanda de energía (MAED), que los países en desarrollo utilizan para elaborar pronósticos de la demanda de electricidad compatibles con los objetivos y las posibilidades de su desarrollo económico e industrial.

El OIEA creó el MAED en colaboración con el Instituto de Asuntos Económicos y Jurídicos relacionados con la Energía (IEJE, Grenoble, Francia) y el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIAAS, Laxenburg, Austria). El modelo proporciona un marco de simulación flexible para explorar la influencia de los cambios sociales, económicos, tecnológicos y de política en la evolución de la demanda energética a largo plazo. Se hace especial hincapié en el pronóstico de la demanda de electricidad, no sólo desde el punto de vista de las necesidades anuales totales, sino también de la distribución horaria de la demanda energética en todo el año. Esos resultados representan

una contribución esencial al análisis de la ampliación de cualquier sistema de electricidad.

El Lote de programas Wien para la planificación de sistemas automáticos (WASP) se diseñó para determinar la ampliación a largo plazo de un sistema de generación de electricidad en condiciones económicas óptimas. El modelo WASP fue creado en 1972 por el Organismo gestor del Valle del Tennessee (TVA, Estados Unidos) para el OIEA, y desde entonces, ha sido el preferido y el más duradero de los instrumentos del OIEA para la planificación en el sector de la electricidad.

Es importante señalar que el WASP se creó en momentos en que la mayoría de los países consideraba la electricidad como un servicio estratégico, y establecieron una empresa nacional única y verticalmente integrada que se ocupara de la generación, transmisión y distribución de la electricidad. Ese tipo de estructura del sistema eléctrico permite analizar de manera muy directa el funcionamiento y la ampliación del sistema; elaborar modelos de distribución por unidad sobre la base del costo variable más bajo; incorporar los requisitos de fiabilidad del sistema como limitaciones; planificar la ampliación a partir del valor actualizado descontado de costo mínimo a nivel de todo el sistema; y determinar el papel de la energía nucleoelectrica y otras opciones de generación sobre la base de los costos relativos de su ciclo de vida útil.

Análisis financiero, evaluación de las cargas ambientales y análisis integrado de los sistemas energéticos en el decenio de 1990. La captación de inversiones destinadas a aumentar la capacidad de generación de electricidad en mercados eléctricos y financieros cada vez más liberalizados, puede diferir mucho de las estrategias de inversión que aplican las empresas estatales de servicios públicos en condiciones de monopolio. A fin

de ayudar a satisfacer las necesidades en evolución de los planificadores del sector energético y los encargados de la adopción de decisiones, el OIEA trabajó con funcionarios del banco Credit Lyonnais (París, Francia) y la Comisión Pakistán de Energía Atómica (PAEC, Islamabad, Pakistán) en la creación de un soporte lógico (software) para el análisis financiero, denominado FINPLAN.

El FINPLAN se utiliza para evaluar las consecuencias financieras de un programa de ampliación de la electricidad a partir de determinados "coeficientes" que las instituciones financieras tienen en cuenta al calcular la solidez de un proyecto o programa de inversión. Asimismo, el FINPLAN ayuda a determinar el precio de venta de la electricidad que permitiría recuperar la inversión. En los pronósticos realizados con el modelo se tienen en cuenta la sensibilidad del precio a los tipos de cambio, las fluctuaciones de la demanda y las tasas de inflación previsible tanto en moneda nacional como en divisa. Asimismo, el modelo incorpora elementos de tributación simplificados, que incluyen el cálculo de los ingresos correspondientes a las deducciones de las tasas de interés, las pérdidas notificadas en el pasado, la posible amortización y las tasas de impuestos proporcionales.

En 1993 se inició la preparación de un conjunto de instrumentos de informática para el análisis energético y ambiental en el marco del programa conjunto entre organismos del OIEA sobre bases de datos y metodologías para la evaluación comparativa de diferentes fuentes de energía para la producción de electricidad (DECADES). Estos instrumentos constan de bases de datos y de un soporte lógico analítico que pueden emplearse para evaluar la relación de compensación existente entre los aspectos técnicos, económicos y ambientales de diferentes

EVALUACION COMPARATIVA ANALISIS DE LOS FUTUROS ENERGETICOS EN VIET NAM

Mediante un proyecto de cooperación técnica del OIEA iniciado en 1997, un equipo de trabajo nacional de Viet Nam utilizó diversos instrumentos de informática para analizar el desarrollo energético del país. El equipo aplicó el programa de evaluación eléctrica y energética (ENPEP), a fin de pronosticar la demanda de energía y electricidad (con el Modelo para el análisis de la demanda energética, o MAED); determinar la ampliación óptima a largo plazo del sistema de generación de electricidad (con el Lote de programas Wien para la planificación de sistemas automáticos, o WASP); y estimar las cargas ambientales asociadas a la generación de energía eléctrica (con un módulo del programa ENPEP denominado IMPACTS).

Viet Nam está pasando rápidamente de una economía agrícola a una economía industrial y en los últimos años ha experimentado un considerable crecimiento económico que se espera continúe hasta el año 2020. Se ha proyectado que aumente rápidamente la demanda de electricidad, al mismo tiempo que se acelera la urbanización, se eleva el nivel de vida y aumentan los gastos de consumo. Especialistas nacionales del sector eléctrico estiman que la carga máxima anual del sistema interconectado crecerá de 2,75 GWe en 1995 a 24,32 GWe en 2020. Se prevé que la tasa media de crecimiento anual sea de 9,1%, y que los niveles más altos (hasta el 11,5%) se registren al principio del período estudiado y los más bajos (6,7%) al concluir éste. Ello se debe fundamentalmente al rápido crecimiento de la demanda de electricidad en la industria, los servicios y los hogares urbanos.

Los resultados del estudio sobre la ampliación del sistema de generación de electricidad demuestran que, según el escenario de referencia, la energía hidroeléctrica y el gas natural satisfarán la mayor parte de las necesidades de electricidad del país. Sin embargo, en el período comprendido entre 1995 y 2020 se prevé una disminución considerable de la parte correspondiente a la energía hidroeléctrica, el petróleo y el carbón, en comparación con el gas natural y la energía nucleoelectrica. La energía hidroeléctrica se reduce de aproximadamente 70% a un 52% de la capacidad instalada total. La capacidad de generación de petróleo disminuye de cerca del 9% al 2%, mientras que el carbón experimenta un decrecimiento del 16% al 9%. Por otra parte, se prevé que las unidades alimentadas con gas natural de ciclo combinado registren un crecimiento del 5% al 29%. Este significativo crecimiento se basará en las reservas de gas natural del país, que dispone de reservas comprobadas estimadas en 6 billones de pies cúbicos (Bpc) y reservas probables que alcanzan los 10 Bpc. Se prevé que la primera unidad nuclear se empiece a explotar en 2017, y que en 2020, alcance un total de unos 2500 MWe, nivel que representa el 7,7% de la capacidad total instalada de generación de electricidad.

El equipo nacional también estimó las futuras emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la generación de electricidad, mediante la transferencia de la configuración óptima de ampliación del sistema eléctrico del programa WASP al módulo ambiental del programa ENPEP denominado IMPACTS. El módulo permite calcular las liberaciones de contaminantes atmosféricos sobre la base del consumo de combustible proyectado mediante el WASP y los factores de emisión normales disponibles en una de sus bases de datos. Los resultados muestran un drástico aumento de las emisiones de CO₂ relacionadas con la generación de electricidad. Con la

ampliación inicial de la generación de electricidad a partir del carbón, las emisiones provenientes de las unidades de generación alimentadas con carbón aumentarán hasta el año 2007.

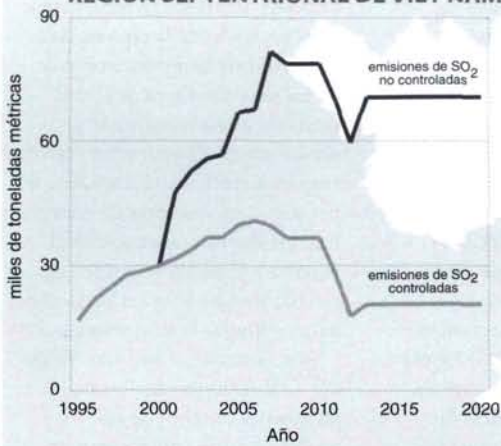
Esta tendencia cambiará notablemente en la segunda mitad del período estudiado, cuando se retiren las unidades existentes de generación de electricidad a partir del carbón y se espera que entren en funcionamiento un número importante de proyectos hidroeléctricos y unidades alimentadas con gas natural de ciclo combinado, junto con la explotación de la primera unidad nuclear en el año 2017. En 2020, el gas natural representará el 61% de las emisiones de CO₂ provenientes del sector energético en Viet Nam.

Existe una marcada diferencia entre las proyecciones de las emisiones correspondientes a la región meridional y a la región septentrional del país. La mayoría de las unidades alimentadas con carbón de Viet Nam están ubicadas en el norte, donde se encuentra la mayor parte de las reservas de carbón del país, lo que explica que las emisiones de SO₂ se concentren en la región septentrional (83% en 2020). El retiro y la sustitución de las antiguas e ineficientes unidades alimentadas con carbón después de 2007 explica la considerable disminución de las emisiones de SO₂ en el norte, durante la segunda mitad del período estudiado. Por otra parte, las reservas de petróleo y gas se encuentran en la región meridional (en su mayoría, mar adentro), lo que asegura un gran aumento de la generación de electricidad a partir de gas. Esa situación explica por qué se prevé que en el año 2020 el sur genere cerca del 62% de las emisiones de CO₂ y el 70% de las emisiones de NO_x.

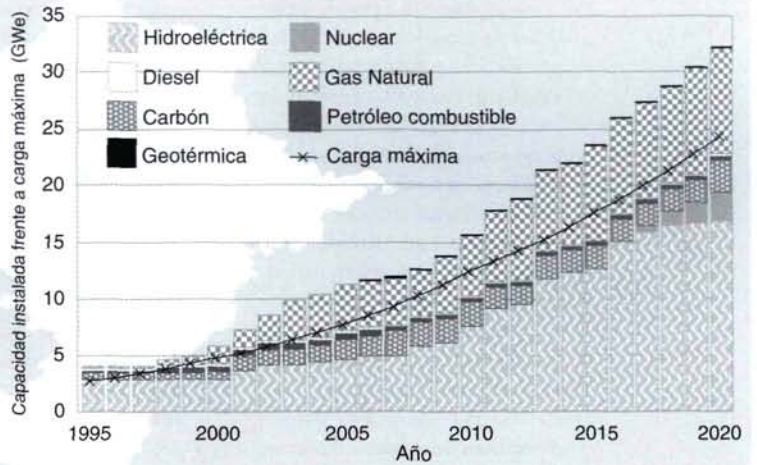
El equipo nacional también analizó los efectos del cumplimiento de las normas vietnamitas relativas a la contaminación atmosférica para limitar las emisiones de materia en forma de partículas (MP) y de dióxido de azufre. Para controlar la MP, el equipo consideró la conveniencia de utilizar precipitadores electrostáticos con un rendimiento de 97% para las unidades existentes y de 99% para las unidades nuevas. A fin de observar el límite máximo de emisión de SO₂ de las nuevas unidades de generación a base de carbón, los expertos nacionales estudiaron la desulfuración del gas de combustión seco con un rendimiento de 70% para las nuevas unidades alimentadas con carbón que queman carbón antracitoso nacional de bajo contenido de azufre (es decir, 0,52% de azufre), y un rendimiento de 90% para las unidades nuevas que utilizan carbón bituminoso importado con un contenido medio de azufre de 1,62%. Después, se utilizó el módulo IMPACTS para estimar los costos a nivel de todo el sistema del cumplimiento de la norma atmosférica.

Un tema central del análisis fueron los efectos proyectados del cumplimiento de las restricciones de la emisión de SO₂ en la región septentrional de Viet Nam. Los resultados demostraron que, al concluir el período estudiado, las emisiones se reducen de 71 000 a 21 300 toneladas métricas. A lo largo del período, se evita un total de 858 000 toneladas métricas de SO₂ en todo el país gracias a las tecnologías de reducción instaladas. Esas reducciones tienen lugar a un costo total descontado de 180,4 millones de dólares de los EE.UU. (a una tasa de descuento del 10%), lo que equivale aproximadamente a 210 dólares por tonelada de SO₂ evitada. Con respecto a la MP y al SO₂, el costo total descontado del cumplimiento de las normas ambientales se estima en 282 millones de dólares.

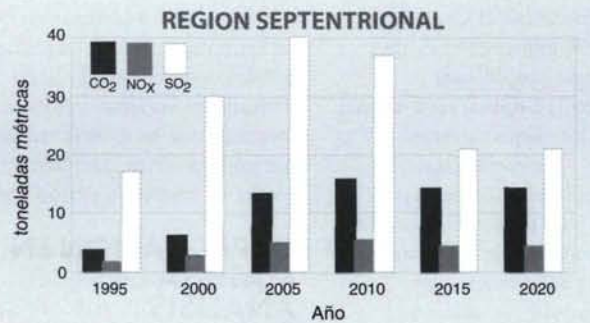
EMISIONES DE SO₂ CON Y SIN CONTROLES AMBIENTALES EN LA REGION SEPTENTRIONAL DE VIET NAM



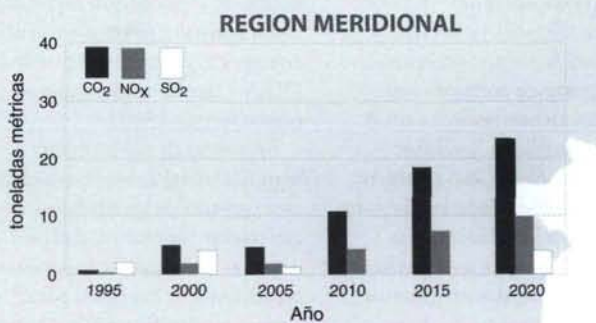
AMPLIACION DEL SISTEMA ELECTRICO DE VIET NAM (ESCENARIO DE REFERENCIA)



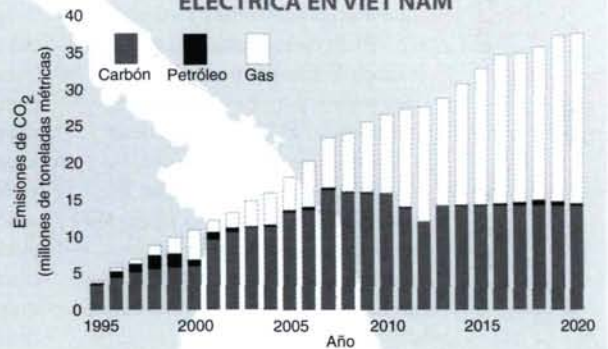
PROYECCION DE LAS EMISIONES REGIONALES DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD EN VIET NAM



CO₂: por 10⁻⁶ toneladas
 NO_x: por 10⁻³ toneladas
 SO₂: por 10⁻³ toneladas



PROYECCION DE LAS EMISIONES DE CO₂ PROVENIENTES DEL SECTOR DE LA ENERGIA ELECTRICA EN VIET NAM



PROYECCION DE LOS COSTOS DEL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS AMBIENTALES EN VIET NAM (MATERIA EN FORMA DE PARTICULAS Y SO₂)



tecnologías, cadenas y sistemas de generación de electricidad.

Se crearon dos tipos de bases de datos tecnológicos, a fin de proporcionar información amplia, fidedigna y actualizada sobre las cadenas energéticas para la generación de electricidad. La base de datos tecnológicos de referencia contiene datos técnicos, económicos y ambientales sobre instalaciones típicas con cadenas energéticas que utilizan combustibles fósiles, energía nucleoelectrica y fuentes de energía renovables para generar electricidad. La base de datos específicos por países almacena datos relativos a determinado país o región para realizar estudios de caso utilizando el soporte lógico analítico DECADES.

El Laboratorio Nacional de Argonne (ANL) creó el Programa de evaluación eléctrica y energética (ENPEP) en los Estados Unidos, y luego lo transfirió al OIEA para que se distribuyera a los Estados Miembros. El ENPEP contiene un conjunto de instrumentos analíticos que se emplean en la planificación del sistema integrado de electricidad/energía y la cuantificación de las cargas ambientales. Uno de sus módulos, denominado BALANCE, se utiliza para vigilar el flujo de energía en todo el sistema energético, incluidos la extracción de los recursos, su procesamiento y conversión, con miras a satisfacer las necesidades de energía útil (por ejemplo, calefacción, transporte y artefactos eléctricos) mediante un enfoque de simulación basado en el mercado con el que se proyecta el equilibrio entre el suministro y la demanda de energía futuros. Posteriormente, los resultados de ese análisis pasan a otro módulo, denominado IMPACTS, a fin de calcular las cargas ambientales (por ejemplo, contaminación atmosférica, generación de desechos sólidos, uso de la tierra, contaminación del agua) asociadas

a diferentes escenarios de desarrollo del sector energético.

La versión más reciente de este programa, destinada a computadoras personales, proporciona una interfaz gráfica de usuario mejorada considerablemente para visualizar y modificar en la pantalla una red energética representativa. También ha permitido mejorar las capacidades para evaluar la reducción de los gases de efecto invernadero (GHG).

Satisfacción de las necesidades cambiantes en el año 2000 y más adelante. Se requieren esfuerzos continuados para satisfacer las necesidades en evolución de los Estados Miembros del OIEA; en particular, para abordar cuestiones importantes como la elaboración de estrategias energéticas sostenibles en el contexto del Programa 21, la desreglamentación del mercado y la privatización.

En el año 2000, el Organismo concluirá la preparación de una metodología simplificada (denominada B-Glad) para estimar y valorar los costos externos asociados a la generación de electricidad. El programa está diseñado para países en desarrollo que no disponen de información detallada y no pueden pagar análisis costosos, se utiliza en computadoras personales y requiere una cantidad mínima de datos de entrada. Mientras los otros modelos energéticos del OIEA permiten estimar el nivel de las cargas ambientales asociadas a las diferentes opciones energéticas, el modelo B-Glad se emplea para analizar la dispersión y el transporte de contaminantes, estimar los efectos sobre la salud y el medio ambiente y valorar estos efectos. El B-Glad también contiene un módulo de ayuda para la adopción de decisiones, que permite aplicar técnicas de análisis de decisiones basadas en criterios múltiples al comparar las diversas opciones energéticas.

Por último, el OIEA ha emprendido la renovación de la

metodología para la planificación de la ampliación del programa WASP, a fin de que responda a los cambios ocurridos recientemente en el mercado de la electricidad. En virtud de la reestructuración de los sistemas de electricidad ocurrida a escala mundial, se privatizan en diverso grado las empresas eléctricas nacionales, se permite a productores de energía independientes tener acceso al sistema y se abren mercados de electricidad basados en licitaciones para estimular la competencia.

Actualmente, el modelo WASP del OIEA no puede abordar fácilmente muchos de los problemas que se presentan en los mercados reestructurados. A finales de 1999, el Organismo inició la elaboración de instrumentos de planificación del sistema de electricidad, más apropiados para ayudar a los países a dar respuesta a cuestiones relacionadas con la forma en que las centrales nucleares existentes pueden competir en el nuevo mercado de la electricidad y la forma en que las nuevas unidades nucleares podrán insertarse en los planes de desarrollo a largo plazo.

CAPACITACION EN MATERIA DE ANALISIS ENERGETICO

La capacitación es parte esencial de las actividades de fomento de la capacidad del Organismo. Desde 1978, más de 1000 expertos de 73 países han participado en cursos de capacitación regionales e interregionales sobre planificación energética, organizados por el OIEA. Tres de estos cursos se ofrecieron en 1999.

En virtud de un proyecto regional (Asia) sobre la evaluación comparativa de las opciones de generación de electricidad, se organizó un curso de capacitación en Islamabad, Pakistán, para apoyar la planificación y adopción de decisiones sólidas en el sector eléctrico, a la luz de una mayor participación del sector privado

y del aumento de las limitaciones financieras en el sector de la electricidad. La capacitación se centró en cómo los instrumentos de planificación del sistema de electricidad del OIEA pueden utilizarse para analizar diferentes tecnologías de generación y los contratos de los productores independientes de electricidad (PEI) en el proceso de determinación de planes de ampliación del sistema de electricidad de bajo costo, viables desde el punto de vista financiero y que cumplan los límites nacionales respecto de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

En Trieste, Italia, se organizó un curso de capacitación regional (Europa) titulado, "Evaluación comparativa de la energía nucleoelectrica y otras opciones y estrategias de generación de electricidad en apoyo del desarrollo energético sostenible". La capacitación se centró en la realización de un estudio de evaluación comparativa por cada equipo nacional participante. Entre los principales elementos del estudio figuran: 1) el establecimiento de una base de datos específicos por países con las características técnicas, económicas y ambientales de las instalaciones y los combustibles energéticos; 2) la caracterización de las cadenas energéticas completas de generación de electricidad desde el punto de vista de los costos asociados, las emisiones de contaminantes atmosféricos, la generación de desechos sólidos y el uso de la tierra; 3) la formulación de planes de ampliación del sistema de electricidad de costo mínimo; y 4) la estimación del nivel de las cargas ambientales asociadas a diferentes estrategias de ampliación del sistema de electricidad.

En el Laboratorio Nacional de Argonne (ANL), Estados Unidos, se ofreció un curso de capacitación interregional sobre el estudio de la planificación de la energía y la energía nucleoelectrica mediante el

Programa de evaluación eléctrica y energética (ENPEP). El curso estuvo dedicado a capacitar a expertos de los Estados Miembros en desarrollo en las metodologías para la planificación integrada de la energía/electricidad y la cuantificación de las cargas ambientales asociadas a diferentes escenarios de desarrollo del sector energético. Entre las principales materias del curso figuran las siguientes: reseña de los conceptos y la terminología relacionados con la planificación del sistema energético nacional; caracterización de las cadenas energéticas; interrelación entre la planificación energética, económica y ambiental; posibilidades de reducir la demanda energética mediante medidas de conservación; evaluación de las necesidades de recursos y los efectos ambientales de los sistemas energéticos; métodos para evaluar la reducción de los gases de efecto invernadero; realización de estudios nacionales con el uso del ENPEP; y elaboración y presentación de un informe sobre el estudio.

Además de esas actividades de capacitación, se organizó en Viet Nam un Seminario nacional sobre el mecanismo para un desarrollo limpio y la energía nucleoelectrica, a fin de que se conozcan mejor en ese país los mecanismos flexibles establecidos en virtud del Protocolo de Kyoto, y se explore la posible idoneidad de la energía nucleoelectrica como tecnología del mecanismo de desarrollo limpio en Viet Nam. Con ese mismo fin, se organizó en la República Checa un seminario regional sobre el mecanismo de aplicación conjunta del Protocolo de Kyoto y, en Viena, un seminario informativo para las misiones permanentes ante el OIEA.

ESTUDIOS NACIONALES SOBRE ENERGÍA

En la Estrategia de Cooperación Técnica del OIEA, establecida en 1997, se declara que la cooperación

técnica con los Estados Miembros promoverá cada vez más efectos socioeconómicos tangibles mediante una contribución directa y eficaz en función de los costos a la consecución de las principales prioridades de desarrollo sostenible establecidas por cada país.

Varios Estados Miembros han solicitado al OIEA apoyo para mejorar las capacidades nacionales en la esfera del desarrollo energético sostenible. En 1999, se prestó asistencia al Brasil, Bulgaria, Croacia, Egipto, Eslovenia, Lituania, México, Moldova, Polonia, la República Checa, el Sudán y Viet Nam. (*Véanse el recuadro y los gráficos de las páginas 10 y 11*) mediante proyectos nacionales de evaluación del papel de la energía nucleoelectrica y otras opciones energéticas en la futura ampliación de sus sistemas de suministro eléctrico, teniendo debidamente en cuenta los aspectos técnicos, económicos y ambientales. En Europa, Asia oriental y el Pacífico, se ejecutan proyectos regionales que también abordan las necesidades de los Estados Miembros en la esfera de la evaluación comparativa del desarrollo energético sostenible.

A principios de los años noventa, la mayor parte de los proyectos se centraban en determinar el papel de la energía nucleoelectrica en la estrategia de ampliación del sistema de electricidad de un país en condiciones económicas óptimas. Más recientemente, se han incluido estudios de sistemas energéticos basados en el mercado y una evaluación de las cargas ambientales. Se espera que los proyectos futuros en esta esfera se centren, de manera creciente, en una contabilidad que se base en los costos totales de las opciones de generación de electricidad mediante la estimación de los costos externos; la evaluación de las ventajas de la energía nuclear para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero; y el análisis del papel de la energía nucleoelectrica en los mercados de electricidad privatizados. □

INDICADORES DEL DESARROLLO ENERGETICO SOSTENIBLE INSTRUMENTOS PARA MEDIR EL PROGRESO

POR ARSHAD KHAN, HANS-HOLGER ROGNER Y GAREGIN ASLANIAN

El concepto de desarrollo sostenible surgió en 1987 con la publicación del Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, titulado: "Nuestro Futuro Común", conocido como Informe Brundtland. Este concepto recibió un nuevo impulso y pasó a ser centro de la atención mundial con la aprobación del Programa 21 y la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), conocida popularmente como la Cumbre para la Tierra, que se celebró en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992.

Si bien todavía no existe una definición universalmente aceptada del desarrollo sostenible, según el Informe Brundtland significa "el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

En el Programa 21 aprobado por la Cumbre para la Tierra se encaran los acuciantes problemas de la actualidad y se aspira también a preparar al mundo para hacer frente a los retos del siglo XXI. En sus 40 capítulos se establece un plan general de acción para las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas, los gobiernos y los grupos principales en todas las esferas en que los seres humanos influyen en el medio ambiente. Se abarcan todas las cuestiones decisivas que

guardan estrecha relación con una o más de las cuatro dimensiones clave de la sostenibilidad, a saber, los aspectos sociales, económicos, ambientales e institucionales. (Véase el recuadro de la página 15.) La responsabilidad de garantizar el seguimiento eficaz de la CNUMAD y de supervisar la aplicación de los acuerdos de la Cumbre para la Tierra a nivel local, nacional, regional e internacional, y rendir cuentas al respecto recae en la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CSD), creada por las Naciones Unidas en diciembre de 1992.

En el capítulo final del Programa 21 se pide en particular a los países y las organizaciones que elaboren "indicadores" del desarrollo sostenible que puedan utilizarse para medir y evaluar el progreso. En el presente artículo se examinan las principales iniciativas para el logro de este objetivo y se destaca la labor que realiza el OIEA en cooperación con organizaciones asociadas, a fin de elaborar un conjunto de indicadores del desarrollo energético sostenible.

ENERGIA Y DESARROLLO SOSTENIBLE

La energía desempeña un papel decisivo en nuestra sociedad: es un insumo fundamental para el desarrollo social y el crecimiento económico. No sólo se utiliza para satisfacer las necesidades básicas de nuestra vida cotidiana y prestar los servicios básicos --calefacción, refrigeración, cocción de alimentos, alumbrado,

transporte, etc.-- sino que también es un factor de la producción de primordial importancia en casi todos los sectores de la industria.

Al mismo tiempo, la producción y el uso de energía son responsables en gran parte de la degradación del medio ambiente a todos los niveles: local, regional y mundial. Por ejemplo, la utilización de combustibles fósiles y leña contamina el aire con partículas y óxidos de azufre y nitrógeno tanto bajo techo como a la intemperie; la energía hidroeléctrica a menudo provoca graves daños ambientales debido a la inmersión de extensas superficies de tierra; y los cambios climáticos mundiales vinculados a la creciente concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera se ha convertido en un problema de envergadura a nivel mundial. El agotamiento de recursos naturales, la acumulación de desechos, incluidos los desechos radiactivos, la deforestación, la contaminación del agua y la perturbación de la tierra constituyen algunos otros ejemplos de problemas ambientales relacionados con la energía.

El Sr. Khan es funcionario de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear del OIEA y el Sr. Rogner es el Jefe de la Sección. El Sr. Aslanian es Vicepresidente del Centro de Políticas Energéticas de Moscú. Puede solicitarse a los autores referencias completas sobre el presente trabajo.

También existen grandes disparidades en el nivel de consumo de energía no sólo entre diferentes países, sino también entre los grupos de ricos y pobres en un mismo país. Es de señalar que todavía hay casi 1 600 millones de personas que no tienen acceso a la electricidad u otras formas de energía comercial, y que el 20% de las personas más ricas de la población mundial utilizan el 55% de la energía primaria, mientras que el 20% de las más pobres utilizan sólo el 5%.

En vista del aumento de la demanda de energía a nivel mundial, es dudoso que pueda sostenerse la capacidad de suministro de los recursos agotables de combustibles fósiles de la tierra. Si bien ello puede constituir un problema mundial a largo plazo, la seguridad del suministro de energía importada y el acceso continuo e ininterrumpido a ella es un problema inmediato para los países con escasas fuentes de energía locales, sobre todo los que dependen en gran medida de las importaciones de petróleo y gas.

Por lo tanto, la prestación de servicios de energía adecuados a un costo razonable y de una manera segura y benigna para el medio ambiente es indispensable para el desarrollo sostenible. En su décimonoveno período extraordinario de sesiones, celebrado en 1997 (Cumbre para la Tierra + 5), la Asamblea General de las Naciones Unidas reexaminó las actividades previstas en el Programa 21 y reconoció en particular la necesidad de que se avanzara hacia la producción, la distribución y la utilización sostenibles de la energía. Al establecerse el programa de trabajo multianual de la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible, en el período extraordinario de sesiones, la Asamblea decidió que el tema sectorial del noveno período de sesiones de la Comisión (CSD-9), que se celebraría en abril de 2001, fuera

LA ENERGÍA Y EL PROGRAMA 21

La importancia de la energía para el desarrollo sostenible se reconoce plenamente en el Programa 21. A este respecto, en su capítulo 9 se expresa con toda claridad lo siguiente:

“La energía es esencial para el desarrollo económico y social y el mejoramiento de la calidad de la vida. Sin embargo, la mayor parte de la energía del mundo se produce y consume en formas que no podrían perdurar, si la tecnología permaneciera constante, o si las magnitudes globales aumentaran notablemente. La necesidad de controlar las emisiones atmosféricas de gases de efecto invernadero y otros gases y sustancias deberá basarse cada vez más en la eficiencia en la producción, transmisión, distribución y consumo de la energía, y en una dependencia cada vez mayor de sistemas energéticos ecológicamente racionales, sobre todo de las fuentes de energía nuevas y renovables. Será necesario utilizar todas las fuentes de energía en formas que respeten la atmósfera, la salud humana y el medio ambiente en su totalidad.”

La energía —junto con la elaboración de indicadores del desarrollo sostenible— es uno de los 36 temas definidos en el Programa 21, a saber, la agricultura, la atmósfera, la diversidad biológica, la biotecnología, el aumento de la capacidad, las modalidades de consumo y producción, los datos demográficos, la desertificación y la sequía, la educación y la toma de conciencia, la energía, las finanzas, los bosques, el agua dulce, la salud, los asentamientos humanos, los indicadores, la industria, la información, la adopción de decisiones integradas, el derecho internacional, los arreglos institucionales, la ordenación de los recursos de tierras, los grupos principales, las montañas, los océanos y los mares, la pobreza, la ciencia, las islas pequeñas, el turismo equilibrado, la tecnología, los productos químicos tóxicos, el comercio y el medio ambiente, el transporte, los desechos peligrosos, los desechos radiactivos y los desechos sólidos.

la atmósfera y la energía; ese período de sesiones se centrará también en cuestiones relativas a la energía y el transporte.

Más recientemente, como parte de una evaluación mundial, el Consejo Mundial de la Energía exhortó a que se adoptaran medidas de política para alcanzar objetivos relacionados con el acceso a la energía, y su disponibilidad y aceptabilidad. (Véase el artículo conexo en la página 2.)

ELABORACION DE INDICADORES

Indicadores del desarrollo sostenible. Aunque los objetivos del desarrollo sostenible son muy amplios, es necesario establecer un conjunto de parámetros (indicadores) que sean cuantificables para medir y

supervisar los cambios y los progresos que se hagan en el logro de dichos objetivos. En consecuencia, desde que se publicó el Informe Brundtland, diversas organizaciones internacionales y nacionales han venido tratando de elaborar indicadores aplicables a uno o más aspectos del desarrollo sostenible.

La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) ha realizado una labor precursora. Durante los últimos diez años, la OCDE creó varios conjuntos sectoriales de indicadores ambientales, entre ellos, los relacionados con el transporte, la energía y la agricultura, así como un conjunto de indicadores derivados de la contabilidad de los recursos ambientales. Gracias a este trabajo, se ha definido un

conjunto básico de cerca de 50 indicadores ambientales.

Otra iniciativa de la OCDE es la preparación de un marco conceptual, denominado modelo de "presión, estado y respuesta" (PSR), para clasificar la naturaleza de los diferentes indicadores ambientales. En este modelo, que se basa en los vínculos de causalidad, los indicadores de las presiones ambientales describen las presiones "directas" e "indirectas" que las actividades humanas ejercen sobre el medio ambiente, incluidos los recursos naturales; los indicadores de las condiciones ambientales ("estado") están relacionados con la calidad del medio ambiente y con la calidad y la cantidad de los recursos naturales; y los indicadores de las medidas adoptadas por la sociedad muestran en qué grado ésta responde a los problemas ambientales con acciones y reacciones individuales y colectivas que procuran:

1) mitigar o prevenir los efectos negativos en el medio ambiente debidos a actividades humanas o adaptarse a ellos; 2) detener o invertir los daños ambientales ya causados, y 3) preservar y conservar la naturaleza y los recursos naturales.

La elaboración de indicadores recibió un gran impulso tras la aprobación del Programa 21. En el capítulo 40 del Programa 21 se pide en particular a los países y las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que desarrollen el concepto de indicadores del desarrollo sostenible (ISD). En 1995, la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (CSD) estableció un programa de trabajo quinquenal sobre indicadores del desarrollo sostenible (WPISD), a fin de ayudar a los encargados de adoptar decisiones a nivel nacional. Se decidió que era preciso que los ISD, además de abordar las cuestiones ambientales, incluyeran también

las cuestiones sociales, económicas e institucionales, ya que cada uno de estos ámbitos representa una dimensión definida y esencial del desarrollo sostenible. En 1996, en cooperación con numerosos gobiernos y organizaciones, la CSD confeccionó una lista de trabajo preliminar de 134 ISD que abarcan los diversos capítulos del Programa 21.

No se considera que los indicadores incluidos en la lista de trabajo del WPISD sean un conjunto exhaustivo. Se aspira a que, después de introducirles algunas mejoras necesarias, sean utilizados sólo como un conjunto básico al que podrían incorporarse otros indicadores o conjuntos de indicadores que abarcaran determinados aspectos del desarrollo sostenible. La lista de trabajo de la CSD se ha sometido a pruebas voluntarias a nivel nacional en 22 países de diversas regiones del mundo. El objetivo que persigue la CSD es contar con un conjunto acordado de indicadores básicos del que puedan disponer todos los países en el año 2001.

Para esclarecer la naturaleza de los diferentes indicadores, la CSD aprobó el esquema de la OCDE y lo amplió sustituyendo el concepto de "presión" por el de "fuerzas propulsoras". En este marco DSR (fuerzas propulsoras, estado y respuesta) de la División de Desarrollo Sostenible, los indicadores de las "fuerzas propulsoras" comprenden las actividades, procesos y modalidades humanas que repercuten positiva o negativamente en el desarrollo sostenible; los indicadores del "estado" se refieren a los efectos del desarrollo sostenible, y los indicadores de las "respuestas" ponen de relieve las opciones de política y otras reacciones a los cambios en el "estado" del desarrollo sostenible.

Posteriormente, en 1998, la División de Desarrollo Sostenible del Departamento de Asuntos

Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (DDS/DAES) definió un conjunto de 43 indicadores fundamentales y un conjunto básico provisional de 17 indicadores destinados a medir los cambios en las modalidades de consumo y producción. En estos conjuntos se abarcaron todos los "recursos fundamentales" --energía, materiales, agua y tierra-- y los "sectores de consumo": movilidad, bienes de consumo y servicios al consumidor, viviendas y economía doméstica, alimentos y recreo.

Después que los gobiernos nacionales y las organizaciones internacionales sometían a prueba los indicadores del conjunto básico provisional, se prevé incluirlos en la lista revisada de indicadores del desarrollo sostenible de la CSD.

Entre otras actividades conexas, cabe mencionar en especial la labor sobre indicadores ambientales que realizan la Oficina de Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT) y el Organismo Europeo del Medio Ambiente (EEA) de la Comisión Europea. Estas organizaciones también adaptaron y ampliaron el enfoque de la OCDE en un nuevo esquema denominado modelo de fuerzas propulsoras, presión, estado, impacto y respuesta (DPSIR). La EUROSTAT está elaborando los indicadores de las fuerzas propulsoras, la presión y la respuesta, mientras que el EEA se ocupa de los relativos al estado y al impacto. Recientemente, la EUROSTAT presentó un conjunto de 60 indicadores de causas que contiene seis indicadores por cada uno de los diez temas principales (contaminación del aire, cambio climático, disminución de la diversidad biológica, medio marino y zonas costeras, agotamiento de la capa de ozono, agotamiento de recursos, dispersión de sustancias tóxicas,

problemas ambientales de las zonas urbanas, desechos, contaminación del agua y recursos hídricos) definidos en el Quinto Plan de Acción sobre el Medio Ambiente de la Unión Europea (UE). También se propone considerar la posibilidad de incorporar estos 60 indicadores a 10 índices, uno por cada esfera de política, lo que permitirá compararlos mejor con índices económicos como el producto interno bruto. La mayoría de los Estados Miembros de la UE aprobaron el modelo DPSIR como la forma más apropiada de estructurar la información ambiental.

Se han elaborado o se están elaborando indicadores del desarrollo sostenible adaptados a situaciones nacionales concretas en varios países, entre ellos, el Reino Unido, los Estados Unidos, el Canadá, Francia, los Países Bajos y los países nórdicos. Por lo general, en esta labor se aplican los enfoques CEM y DPSIR para definir y clasificar diversos indicadores apropiados.

Algunas organizaciones, entre las que se cuentan el Banco Mundial y el Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente establecido por el Consejo Internacional de Uniones Científicas, también se esfuerzan por elaborar indicadores agregados o un pequeño número de índices del desarrollo sostenible definiendo y evaluando los vínculos existentes entre sus diversos elementos sociales, económicos, ambientales e institucionales. Este proceso entraña la aplicación de fórmulas matemáticas más o menos complejas para combinar varios indicadores en un solo índice y asignar a cada uno la magnitud adecuada según su importancia relativa.

A modo de ejemplo podemos citar dos indicadores de este tipo: el indicador del "ahorro verdadero" (definido como la tasa real de ahorro de una nación

después de tenerse debidamente en cuenta el agotamiento de los recursos naturales y los daños causados por la contaminación) y el indicador de la "riqueza de la nación" (enfoque agregado que representa las reservas de activos producidos, el capital natural y los recursos humanos, incluidos el trabajo no calificado, el capital humano y el capital social).

Aunque este enfoque agregado podría ser muy útil para reducir el número de indicadores, tiene la grave desventaja de que los coeficientes de ponderación utilizados para agregar diferentes indicadores reflejan preferencias subjetivas, lo que constituye un problema de opción política. Por tanto, en algunos casos, podrían obtenerse resultados que no fueran reales.

INDICADORES DEL DESARROLLO ENERGETICO SOSTENIBLE

Hasta el presente ha sido muy limitada la elaboración de indicadores del desarrollo energético sostenible (IDES). Sin embargo, se observan varios indicadores relacionados con la energía en las iniciativas de diversas organizaciones internacionales y nacionales. Entre ellas se encuentra el trabajo de la OCDE sobre los indicadores ambientales, en particular sobre los indicadores sectoriales de la energía y el medio ambiente, que con mucho es el estudio más detallado de los indicadores relacionados con la energía. Estos indicadores sectoriales de la energía y el medio ambiente fueron elaborados con objeto de promover la integración de los intereses ambientales en la formulación de las políticas energéticas en los países de la OCDE. Utilizando un esquema CEM ajustado, se clasificaron estos indicadores en tres temas: 1) tendencias del sector energético de importancia ambiental, 2) sus interacciones con el medio

ambiente y los recursos naturales, y 3) consideraciones económicas y políticas afines.

Otro trabajo, realizado por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) de la OCDE, ha consistido en la elaboración de algunos indicadores relacionados con el uso y el rendimiento de la energía en diversos sectores económicos y los ha vinculado a las emisiones de carbono con la ayuda de un modelo denominado modelo de indicadores de la energía y las emisiones. Aunque en la lista de indicadores del WPISD no figuran explícitamente cuestiones energéticas, también se incluyen algunos de los indicadores relacionados con la energía que se definieron en relación con determinados capítulos del Programa 21.

La DDS/DAES definió algunos indicadores que se refieren concretamente al sector energético como parte de su trabajo sobre la "evolución de las modalidades de producción y consumo" (capítulo 4 del Programa 21). También figuran en los trabajos de la EUROSTAT, el EEA y diversos proyectos nacionales, diferentes indicadores relacionados con la energía que, en general, abordan cuestiones ambientales.

Además, el OIEA ha creado un conjunto de siete indicadores sobre cuestiones ambientales relacionadas con la gestión de los desechos radiactivos (capítulo 22 del Programa 21). El Organismo está elaborando también conjuntos completos y básicos de IDES en cooperación con organizaciones internacionales y Estados Miembros. (*Véase el recuadro de la página 18.*)

Así pues, hasta ahora, la mayor parte del trabajo realizado en materia de indicadores se refiere sólo a la dimensión ambiental de la sostenibilidad, e incluso éste se encuentra disperso. Todavía no se ha hecho un enfoque amplio del sector energético que abarque las cuatro dimensiones de la sostenibilidad.

INDICADORES DEL DESARROLLO ENERGÉTICO SOSTENIBLE: INICIATIVAS DEL OIEA

El OIEA presentó un proyecto sobre "indicadores del desarrollo energético sostenible (IDES)" como parte de su programa de trabajo relativo a la Evaluación comparativa de las fuentes de energía para el bienio 1999-2000. Este proyecto es ejecutado por la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear. Las tareas previstas son: 1) determinar los principales componentes del desarrollo energético sostenible y establecer un conjunto coherente de indicadores apropiados, teniendo en cuenta los indicadores del Programa 21, 2) establecer la relación existente entre los IDES y los indicadores del Programa 21, y 3) examinar las bases de datos y los instrumentos del Organismo para determinar las modificaciones que requiere la aplicación de los IDES.

Las primeras dos tareas se llevan a cabo con la ayuda de expertos de diversas organizaciones internacionales y Estados Miembros. Por ejemplo, se han celebrado dos reuniones de grupos de expertos, una en mayo de 1999 y otra en noviembre de 1999. Se determinó que los nueve asuntos siguientes eran las cuestiones clave que debían abordarse en relación con el desarrollo energético sostenible: el desarrollo social, el desarrollo económico, la compatibilidad ambiental y la gestión de desechos, el agotamiento de recursos, el suministro adecuado de energía y las disparidades, el rendimiento energético, la seguridad energética, las opciones de suministro energético y la fijación de los precios de la energía.

Inicialmente se elaboró una lista preliminar de alrededor de 100 IDES que abarcaban estas cuestiones clave. Se confeccionó un nuevo modelo de marco conceptual adaptado concretamente al sector de la energía, aprovechando para ello el trabajo realizado por otras organizaciones en la esfera del medio ambiente. El modelo se basa en el enfoque de "causa, síntoma y solución" e incluye las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible: social, económica, ambiental e institucional.

Respecto de cada una de las dimensiones de la sostenibilidad, el modelo ayuda a organizar los indicadores definidos, de forma tal, que se aprecien sus vínculos mutuos, y para ello los clasifica como indicadores de las fuerzas propulsoras, de los efectos y de las

medidas de respuesta. Los indicadores correspondientes a la dimensión institucional se clasifican sólo como medidas correctivas de política o medidas de respuesta, de acuerdo con los indicadores de los efectos de las otras tres dimensiones de la sostenibilidad.

En el marco de este modelo conceptual se han elaborado dos listas provisionales de IDES: una lista completa y una básica. En éstas figuran indicadores de los siguientes temas y subtemas relacionados con la energía que corresponden a las dimensiones económica, social y ambiental del desarrollo energético sostenible:

Dimensión económica: niveles de actividad económica; intensidad energética del uso final en sectores seleccionados y diferentes industrias manufactureras; eficiencia del suministro energético; seguridad energética; y fijación de los precios de la energía.

Dimensión social: acceso a la energía y disparidades.

Dimensión ambiental: contaminación del aire (calidad del aire de las zonas urbanas; preocupación por el cambio climático en el mundo); contaminación del agua; desechos; uso de la tierra; riesgos de accidentes; agotamiento de los recursos energéticos, y deforestación.

En el conjunto provisional completo aparecen 28 indicadores de las fuerzas propulsoras, 13 de los efectos y 29 de las medidas de respuesta. La lista básica provisional de IDES fue presentada en el Taller internacional sobre los indicadores del desarrollo sostenible de la CSD que se celebró, en Barbados, en diciembre de 1999.

Si bien durante algún tiempo se seguirá tratando de perfeccionar la lista provisional completa y la lista básica de IDES, está previsto someterlas a prueba por países con un alcance limitado y con la ayuda de equipos nacionales que se dedican a formular sus estrategias de energía sostenible en colaboración con el OIEA. Se espera que esta labor ayude al Organismo, por una parte, a hacer una contribución útil a los trabajos de la CSD sobre cuestiones relacionadas con la energía y, por otra, a modificar sus propias bases de datos e instrumentos metodológicos, a fin de que sean más eficaces para abordar las cuestiones relativas al desarrollo energético sostenible.

La necesidad de obtener un conjunto amplio de indicadores del desarrollo energético sostenible recibe una atención cada vez mayor. Se puso de manifiesto en el programa de trabajo aprobado por las Naciones Unidas en el período extraordinario de sesiones de la Asamblea General, celebrado

en 1997, y en la decisión de que las cuestiones relativas a la energía constituyeran uno de los temas principales del noveno período de sesiones de la CSD en abril de 2001.

Estos acontecimientos son motivo de satisfacción. Mediante una variedad de actividades, el

OIEA desempeña un papel destacado en los esfuerzos internacionales encaminados a establecer conjuntos útiles de indicadores que ayudarán a los gobiernos a medir y evaluar los progresos alcanzados en el difícil camino del desarrollo energético sostenible. □

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PRODUCIDOS POR LAS CADENAS DE GENERACION DE ELECTRICIDAD EVALUACION DE LA DIFERENCIA

POR JOSEPH V. SPADARO, LUCILLE LANGLOIS Y BRUCE HAMILTON

Durante el pasado decenio se han venido generalizando en todo el mundo los debates sobre el impacto de las actividades humanas en el régimen climático mundial a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG). Hasta ahora, esos debates se han centrado principalmente en las liberaciones antropógenas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y compuestos halogenados que contienen flúor, cloro y bromo. Las concentraciones de estos gases en la atmósfera han aumentado considerablemente desde la era preindustrial, y, de hecho, en el caso del metano se han duplicado con creces.

En un esfuerzo por estabilizar estas concentraciones atmosféricas a un nivel que reduzca al mínimo el riesgo de importantes cambios climáticos globales, más de 130 países ratificaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en la Cumbre para la Tierra, celebrada en el Brasil, en 1992. A este esfuerzo inicial siguió la tercera reunión de la Conferencia de las Partes, celebrada en Kyoto (diciembre, 1997), en la que las autoridades acordaron objetivos de reducción de las emisiones de GHG específicos para cada país.

En la actualidad, los países industrializados, o países incluidos en el Anexo I, son responsables de gran parte de la liberación de gases de efecto invernadero en todo el mundo. Las actividades relacionadas con la producción de electricidad y el sector del transporte generan casi las dos terceras partes de las emisiones de GHG. Por tanto, el

cumplimiento del Protocolo de Kyoto exigirá de los países incluidos en el Anexo I un fuerte compromiso con el desarrollo y la explotación de las fuentes de energía, cuyas emisiones tienen bajo contenido de carbono. Las mejoras de la tecnología de conversión del combustible en energía para su uso también desempeñarán un papel importante, ya que estos países aspiran a satisfacer sus futuras demandas de energía. Como los países en desarrollo no están obligados por el Protocolo de Kyoto, y su consumo de energía va en aumento, la tasa de emisión de GHG crece bastante rápidamente y se espera que a finales del primer cuarto del siglo XXI su proporción de liberaciones sea la más alta a nivel mundial.

Dado que el sector de generación de electricidad es un importante emisor de gases de efecto invernadero (en la actualidad representa la tercera parte del total de las emisiones mundiales), el OIEA ha iniciado --en el marco de su programa de evaluación comparativa de las fuentes de energía-- un estudio de las emisiones de GHG generadas por todas las actividades (cadenas) relacionadas con la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles, energía nucleoelectrónica y fuentes de energía renovables. Desde octubre de 1994 hasta junio de 1998, el OIEA patrocinó la celebración de seis reuniones de grupos asesores que abarcaron las siguientes cadenas de combustible: lignito, carbón, petróleo, gas, energía nuclear, de biomasa, hidroeléctrica, eólica, solar y de biomasa. Estas reuniones tuvieron un doble

resultado: el primero, que los participantes formularon un conjunto coherente de factores de emisión de GHG para la cadena energética completa de la generación de electricidad; el segundo, que señalaron el camino hacia opciones tecnológicas y de combustible que podrían explotarse para facilitar el cumplimiento de los compromisos contenidos en la Convención Marco. En este artículo se exponen y examinan los resultados y las principales conclusiones de esas reuniones.

FACTORES DE EMISION DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Todos los factores de emisión de GHG correspondientes a los distintos tipos de combustible se han analizado en diversos estudios. Los resultados se expresan en gramos de carbono equivalente (comprendidos CO₂, CH₄, N₂O, etc.) por kilovatio-hora de electricidad (gC_{eq}/kWh). En el gráfico de la página 21 se muestran datos de centrales nucleares en explotación (tecnología del decenio de 1990) y factores de emisión correspondientes a sistemas que se prevé estarán en funcionamiento a corto o medio plazo (tecnologías de 2005-2020).

Las estimaciones reflejan diferencias en la metodología de evaluación, el rendimiento de

Los autores son funcionarios de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear del OIEA.

La lista completa de las referencias utilizadas para este artículo puede solicitarse a los autores.

GASES DE EFECTO INVERNADERO Y DESARROLLO ENERGETICO

Varias hojas informativas publicadas por la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ponen de manifiesto cómo las actividades humanas producen gases de efecto invernadero. Entre los aspectos principales figuran los siguientes:

■ La mayoría de las actividades humanas importantes emiten gases de efecto invernadero, y muchas de ellas son ya esenciales para la economía mundial.

■ El dióxido de carbono proveniente de la quema de combustibles fósiles es la fuente que por sí sola genera más emisiones de estos gases como resultado de actividades humanas. Al suministro y uso de combustibles fósiles corresponden unas tres cuartas partes de las emisiones de dióxido de carbono generadas por actividades humanas.

■ La mayoría de las emisiones vinculadas al uso de la energía ocurre cuando se queman combustibles fósiles. El petróleo, el gas natural y el carbón suministran la mayor parte de la energía empleada para producir electricidad, hacer funcionar los automóviles, calentar las casas y suministrar electricidad a las fábricas. Si el combustible se quemara completamente, el único subproducto que contendría carbono sería el dióxido de carbono. Pero, como la combustión suele ser incompleta, también se producen monóxido de carbono y otros hidrocarburos. La producción de óxido nítrico y otros óxidos de nitrógeno obedece a que, por efecto de la quema del combustible, el nitrógeno presente en este último o en el aire se combina con el oxígeno de la atmósfera.

■ La extracción, el procesamiento, el transporte y la distribución de los combustibles fósiles también liberan gases de efecto invernadero.

Para más información, puede consultarse el juego de material informativo sobre cambio climático en el sitio de la Convención Marco en Internet, cuya dirección es www.unfccc.de.

conversión, las prácticas de preparación del combustible y el subsiguiente transporte hasta la central nuclear, y cuestiones locales como la mezcla combustible supuesta para las necesidades de electricidad relacionadas con la construcción de la central y la fabricación del equipo. Las tasas futuras incluyen mejoras del proceso de conversión del combustible en energía para servicio, reducciones durante la extracción y el transporte del combustible, y reducción de las emisiones durante la construcción de la central y el equipo.

En el caso de los combustibles fósiles, la tasa total de emisión es la suma de las emisiones de las chimeneas durante la quema del combustible y las liberaciones ocurridas en las actividades iniciales y finales, o cadenas. Por lo general, las emisiones de GHG generadas durante la construcción y la clausura de una central nuclear y los aportes de las líneas

eléctricas que conectan la central a la red eléctrica son insignificantes. Por ejemplo, la construcción de una central y su clausura sólo producirían el 1% del total de las emisiones de GHG.

En cuanto a las tecnologías de la energía hidráulica, la solar y la eólica, el tamaño y el tipo de la central son factores clave en el análisis. Aspectos como la ubicación geográfica y las disposiciones locales que regulan la construcción influyen mucho en la tasa de emisión. En el gráfico se muestra el impacto de estos factores en la tasa de emisión de gases de efecto invernadero.

Los resultados de las reuniones de los grupos asesores celebradas con el apoyo del OIEA muestran siempre que a las tecnologías de combustibles fósiles corresponden los factores de emisión más altos, al gas natural corresponde aproximadamente la mitad, igual que al carbón o el lignito, y las dos terceras partes de la estimación

corresponden al petróleo combustible. Por otra parte, la energía nuclear y la hidráulica producen las menores liberaciones de GHG, por ejemplo, de 50 a 100 veces menos que el carbón (en dependencia de la tecnología que se use). Las emisiones de GHG generadas por la energía solar están en un punto medio, y superan a las de la energía nuclear en aproximadamente un orden de magnitud.

ENFOQUE ANALITICO

El objetivo de la evaluación del ciclo de vida (LCA) es determinar las cargas ambientales asociadas a la creación de un producto, teniendo en cuenta los flujos de masa y energía en cada etapa del procedimiento. En el caso de la generación de electricidad el producto final es 1 kWh de energía.

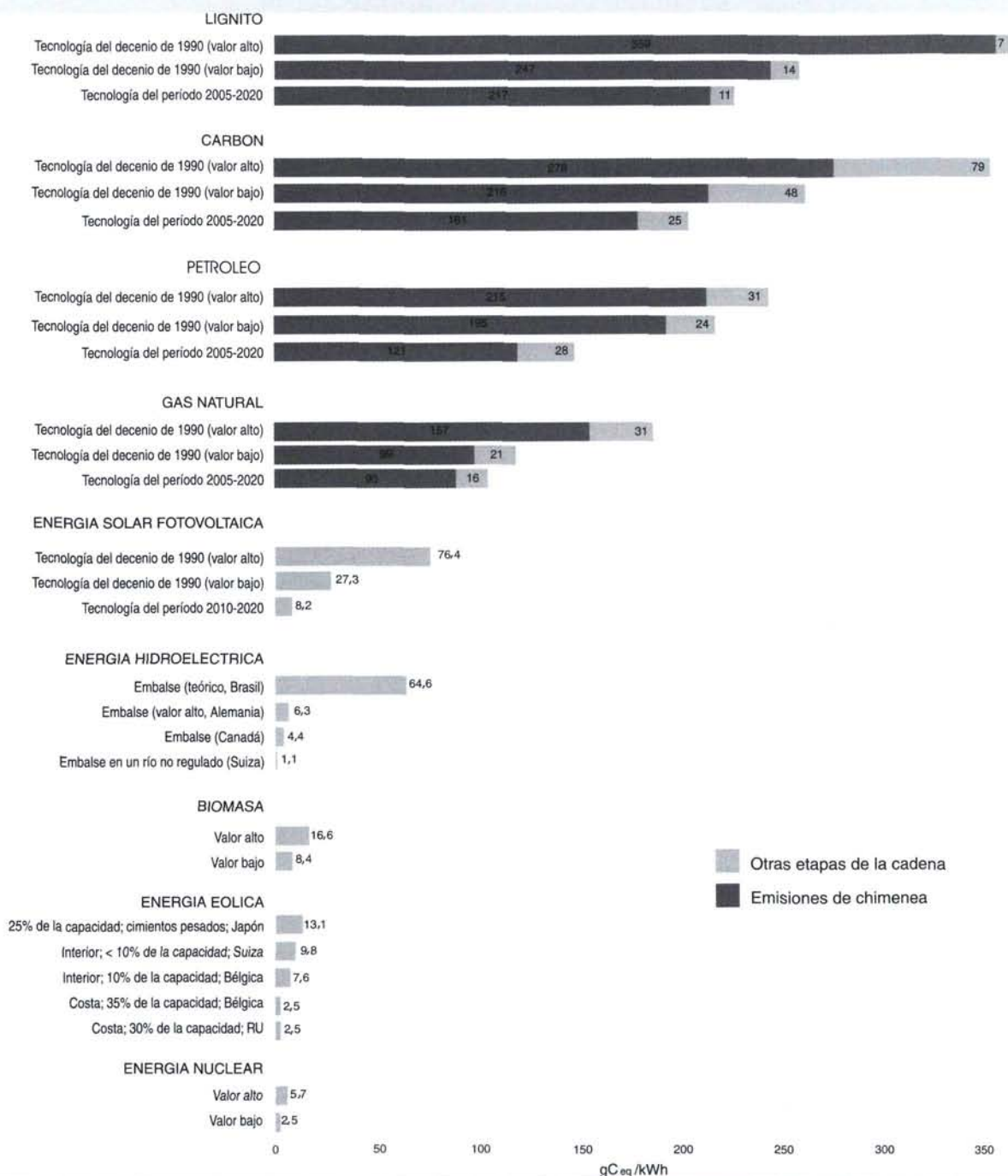
En ocasiones esta evaluación o análisis de la cadena de proceso (ACP) se complementa con un análisis insumo-producto (AIP). En este último se toman en cuenta las emisiones indirectas imputables a los diferentes sectores económicos que contribuyen a la creación del producto final, como la electricidad utilizada en el procesamiento, el diseño de las máquinas y la mano de obra.

No tener en cuenta estos insumos da lugar a una subestimación de las consecuencias para el medio ambiente, puesto que se reducen artificialmente las fronteras del sistema que ha de abarcar el análisis. Por ejemplo, cuando se comparan las tasas de emisión de GHG de los combustibles fósiles, el resultado que se obtiene aplicando el AIP es 30% mayor que el que se obtiene con el ACP. En el caso de la energía nucleoelectrónica, puede ocurrir una desviación aún más marcada, de hasta un factor de dos.

FRONTERAS DEL SISTEMA EN EL ANALISIS

Al comparar distintos sistemas energéticos, es importante la selección de la frontera del

ALCANCE DEL TOTAL DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO GENERADAS POR LAS CADENAS DE PRODUCCION DE ELECTRICIDAD



sistema. Por ejemplo, si se pasan por alto las actividades iniciales y finales de los ciclos de los combustibles fósiles se subestimaría la tasa de emisión total de GHG entre el 5% y el 25%. En el caso de la energía

nucleoeléctrica y los combustibles de fuentes renovables, en el punto de generación no se emiten GHG, pero hay liberaciones atmosféricas durante la extracción, preparación y transporte del combustible, la

construcción y la clausura de la central, la fabricación del equipo y la descomposición de materia orgánica. El nivel de las emisiones depende mucho de la tecnología y la ubicación geográfica de la central nuclear.

El cálculo de la cadena energética completa, en el que se abarcan todas las etapas desde el principio hasta el final, tal vez sea la forma más justa de comparar las cargas climáticas y ambientales de los distintos combustibles y las distintas tecnologías de producción de electricidad. Las capacidades analíticas y el sentido común serán los que, en última instancia, determinarán la selección de las fronteras del sistema. Las intensidades de emisión deben incluir, por lo menos, la cadena de suministro de combustible, la etapa de producción de energía y, en el caso de la energía nuclear y las fuentes de energía renovables, los aportes de la construcción de la central y las necesidades de materiales. Un análisis más detallado podría extender la frontera del sistema hasta el uso final de la energía, es decir, hasta su aplicación.

En el caso de tecnologías intermitentes como las de la energía eólica, la solar y la hidroeléctrica en menor grado, surge la duda de si debe incluirse o no la energía auxiliar (secundaria) en el sistema que se analiza. El método que se prefiere es calcular por separado las emisiones correspondientes a los sistemas primario y auxiliar. Este método tiene tres ventajas. La primera es que las emisiones correspondientes al sistema primario se determinan estrictamente sobre la base de la utilización de una tecnología dada. La segunda es que la influencia del rendimiento o disponibilidad anual (horas de funcionamiento por año) puede determinarse claramente. Y la tercera es que permite comparar las distintas opciones en materia de sistemas auxiliares.

POTENCIAL DE CALENTAMIENTO ATMOSFERICO

El potencial de calentamiento atmosférico (PCA) es la medida de la capacidad que tiene un gas en la atmósfera para atrapar el calor que irradia la superficie terrestre en

comparación con un gas de referencia, que en las hipótesis suele ser el dióxido de carbono. La permanencia de los gases en la atmósfera es muy variable, y, en consecuencia, los resultados se integran a diferentes intervalos. Por lo general se escoge un horizonte cronológico de 100 años.

A continuación figuran las estimaciones más recientes del PCA (con horizonte cronológico de 100 años). Fueron realizadas por el Grupo internacional de expertos sobre el cambio climático respecto de los gases de efecto invernadero que más comúnmente emite la cadena de generación de electricidad:

- dióxido de carbono (CO₂) = 1;
- metano (CH₄) = 21;
- óxido nitroso (N₂O) = 310;
- hexafluoruro de azufre (SF₆) = 23 900;
- tetrafluoruro de metano (CF₄) = 6500;
- carbonos hidrofluorados (HFC): HFC-134a = 1300;
- carbonos clorofluorados (CFC): CFC-114 = 9300;
- carbonos hidroclorofluorados (HCFC): HCFC-22 = 1700.

RENDIMIENTO DE CONVERSION

El rendimiento de conversión del combustible en electricidad y el factor de carga de la central nuclear influyen en la tasa de emisión de GHG durante la quema del combustible. El factor de emisión de GHG disminuye cuando aumenta el rendimiento de conversión o el factor de carga. Las emisiones de CO₂ dependen del contenido de carbono del combustible y del rendimiento de conversión; las tasas de N₂O están determinadas fundamentalmente por características de los procesos, en tanto que las descargas de metano están vinculadas fundamentalmente a las prácticas de suministro de combustibles fósiles. En términos generales eso significa que la tasa de emisión varía en sentido inverso al rendimiento de conversión. Con

un rendimiento del 40% exactamente, un aumento adicional del 1% reduce la tasa de emisión de GHG en 2,5%. Con rendimientos menores, la reducción de la tasa de emisión es más marcada, en tanto que para tasas de conversión más altas sucede lo contrario. El rendimiento térmico siempre disminuye con la reducción del factor de carga, y el cambio depende mucho de la tecnología.

Los rendimientos de conversión característicos de los sistemas actuales están dentro de las escalas siguientes: entre 27% y 40% para las centrales alimentadas con lignito; entre 30% y 45% para las alimentadas con carbón; entre 34% y 43% para las alimentadas con petróleo; y entre 35% (en las aplicaciones de carga punta) y 55% para las alimentadas con gas natural. Las centrales nucleares de menores rendimientos suelen ser las ubicadas en países en desarrollo.

A medio plazo, se espera que los rendimientos de conversión de las mejores tecnologías disponibles sean del orden de 50% a 55% para el carbón y de 60% a 65% para las centrales eléctricas alimentadas con gas.

En el caso del combustible nuclear y los combustibles de fuentes renovables, las emisiones al medio ambiente que generen las mejoras de la conversión energética tendrán un impacto menor porque no hay emisiones de chimenea y las liberaciones provienen del suministro de combustible, la construcción de la central y la fabricación de los materiales. De hecho, las necesidades de combustible y el total de las emisiones disminuirán a medida que tecnologías más avanzadas permitan aumentar los rendimientos.

FUTUROS SISTEMAS DE GENERACION

Las tecnologías más modernas y eficientes inevitablemente desplazarán a los sistemas actuales, aunque a corto y medio plazos

FACTORES QUE CONTRIBUYEN A LAS TASAS DE EMISION

Numerosos factores influyen en la tasa de emisión de gases de efecto invernadero. A continuación se resumen los parámetros predominantes por tipo de combustible.

Combustibles fósiles

- Características del combustible como el contenido de carbono y el valor calórico;
- Tipo de mina y ubicación;
- Prácticas de extracción del combustible (que influyen en los requisitos de transporte y en las liberaciones de metano);
- Pérdidas de transmisión en el caso del gas natural;
- Rendimiento de la conversión;
- Mezcla combustible para necesidades de electricidad asociadas con el suministro de combustible y la construcción y clausura de la central.

Energía hidráulica

- Tipo (ríos no regulados o embalses);
- Ubicación de la central (trópicos frente a clima de las regiones septentrionales);
- Uso de energía para construir la presa;
- Emisiones generadas durante la construcción de la central (hormigón y acero), que predominan en la generación total efectuada en ríos no regulados y embalses "tipo alpino" (montañosos). Respecto de embalses grandes, cuya relación volumen-superficie es elevada (ubicados por lo general en regiones septentrionales como el Canadá y Finlandia) y en regiones tropicales húmedas (Brasil), la descomposición de la biomasa que queda cubierta durante las inundaciones y la oxidación del sedimento superficial (causante de grandes emisiones de CH₄) influyen en la tasa de emisión de GHG. Las emisiones de CO₂ exceden las tasas de CH₄ en no menos de un factor de diez para los embalses del "tipo septentrional".

Biomasa

- Propiedades de la materia prima (contenido de humedad y valor calorífico);
- Uso de energía para necesidades relativas a la materia prima (cultivo, cosecha y transporte);
- Tecnología de la planta

El factor de emisión de dióxido de carbono de la quema de biomasa es neutro, es decir, que el carbono liberado durante la quema de la biomasa es igual a la absorción biogénica durante el crecimiento de las plantas.

Energía nucleoelectrónica (reactor de agua ligera)

- Uso de energía para la extracción, conversión y enriquecimiento del combustible y para la construcción/clausura de la central (más los materiales);
- Enriquecimiento del combustible por difusión de gases, proceso que consume mucha energía y puede aumentar las liberaciones de GHG en un orden de magnitud cuando se compara con el enriquecimiento por centrifugación;
- Emisiones generadas en la etapa de enriquecimiento, que son muy específicas de cada país, pues dependen de la mezcla combustible local;
- Reprocesamiento del combustible (óxido de uranio u óxido mezclado), que puede representar entre el 10% y el 15% del total de la carga de GHG correspondiente a la energía nuclear.

Energía eólica

- Uso de energía en la fabricación de las aspas y la construcción de la instalación (torre y cimientos);
- Mezcla de electricidad y reglamentos de construcción, que son muy específicos de cada país y de cada emplazamiento (por ejemplo, instalación en el interior o instalación costera);
- El rendimiento anual o factor de capacidad (depende de las condiciones naturales de los emplazamientos), que determinan la frecuencia de funcionamiento (disponibilidad) de la instalación. La velocidad media del viento es el parámetro clave cuando se calcula el grado de intermitencia de la generación (un aumento de 50% en la velocidad del viento, casi duplica el rendimiento anual).

Energía fotovoltaica solar

- Cantidad y clase de silicón usada para fabricar las celdas;
- Tipo de tecnología (material amorfo o cristalino);
- Tipo de instalación (en el techo o en la fachada);
- Mezcla combustible para necesidades de electricidad;
- Rendimiento anual y vida útil supuesta de la instalación, que son consideraciones importantes para calcular la emisiones por kWh (válidas también para la energía eólica). La energía solar y la eólica generan emisiones relativamente bajas por kW, pero los valores por kWh son altos debido a factores de capacidad más bajos (es decir, tecnologías intermitentes).

(durante los próximos 10 a 20 años) en los países industrializados no se prevén cambios radicales en las tecnologías de generación de electricidad debido a las cuantiosas sumas ya invertidas en tecnología

e infraestructura energéticas. Para los países en desarrollo, actualmente abocados a decisiones difíciles que incluyen problemas económicos, sociales, políticos y ambientales, el establecimiento de

nuevos sistemas energéticos no está tan claro.

La mitigación de los problemas ambientales y los factores políticos y económicos promoverán el interés en fomentar y poner en

práctica el uso de tecnologías mejoradas y en ampliar el uso de fuentes renovables como la biomasa, la energía eólica y la energía solar.

En lo que respecta a los sistemas de combustibles fósiles, los mayores cambios obedecerán a mejoras en el rendimiento de conversión de las tecnologías actuales (por ejemplo, la explotación de ciclos combinados), reducciones de la tasa de fuga de metano en la transmisión de gas natural, mayor recuperación del metano durante la extracción de combustible, al control de las propiedades químicas de los combustibles (por ejemplo, el lavado del carbón para aumentar su valor calórico) y a la ubicación óptima de la central eléctrica para reducir al mínimo las emisiones durante el transporte del combustible y las pérdidas en la transmisión de energía. En Europa, los expertos han calculado que las emisiones de los futuros sistemas alimentados con combustibles fósiles podrían ser de 35% a 50% menores que las tasas actuales.

En cuanto a la energía nuclear, los cambios más importantes se deberán al enriquecimiento del combustible por centrifugación (o tecnología de láser) más que al proceso de difusión de los gases mediante el uso intensivo de energía, las mejoras en el rendimiento de la conversión, una mayor utilización del reprocesamiento del combustible y futuros adelantos de la tecnología nuclear para la generación de electricidad. *(Véanse los artículos conexos en las páginas 43 y 51.)*

Las mejoras de la tecnología de las turbinas repercutirán en las emisiones generadas por la energía hidroeléctrica, mientras que en el caso de los sistemas intermitentes, la reducción de las necesidades de material y componentes y los cambios en el rendimiento de la conversión incrementarán la eficacia, lo que, a su vez, reducirá los costos y las emisiones. La ubicación geográfica de las

centrales hidroeléctricas, así como el tipo de instalación, seguirán siendo cuestiones importantes.

OBSERVACIONES FINALES

Los gases de efecto invernadero pueden influir en el cambio climático mundial, dado que obstaculizan el proceso natural de intercambio de calor entre la atmósfera terrestre y el espacio ultraterrestre. La reducción de las concentraciones de GHG en la atmósfera se ha convertido en una prioridad internacional como lo prueba la firma del Protocolo de Kyoto, en virtud del cual se reducirán las emisiones de los países industrializados (Anexo I) en 5% por debajo de los niveles de 1990 durante el período de compromiso comprendido entre los años 2008 y 2012.

Para conseguir el objetivo de reducción proyectado podrían ponerse en práctica varias opciones técnicas. En lo que concierne a las emisiones relacionadas con la generación de electricidad, tal vez el factor más importante a corto plazo sea lograr una utilización más eficiente de la energía en todas las etapas del ciclo del combustible, incluidos su preparación, transporte, y conversión en electricidad en la central eléctrica, y en el lugar del uso final (que no se ha examinado en este artículo).

Las estrategias para reducir las liberaciones de metano durante la extracción del combustible y durante la transmisión del gas son muy importantes. El cambio de combustible en favor de los que tengan un contenido de carbono menor o bajo, como el gas, la energía nuclear y las fuentes de energía renovables, desempeñará un papel muy importante en la reducción de las emisiones. Estos cambios son técnicamente viables, en virtud de los conocimientos y la experiencia que se tienen hoy día, exigen modificaciones mínimas en el estilo de vida de los consumidores y representan un rendimiento razonable de capital

(gas y energía nuclear para la generación de base y fuentes renovables de energías en mercados con finalidades concretas o para aplicaciones de carga punta).

En el presente artículo se ha proporcionado información sobre los factores de emisión de GHG de diferentes combustibles, determinados mediante el enfoque de la cadena energética completa, con el que se trata de cuantificar las emisiones liberadas a la atmósfera durante todas las etapas de la generación de electricidad, es decir, desde el principio hasta el final. Las tecnologías de combustibles fósiles registran los factores de emisión más elevados, y, entre ellos, los del carbón suelen duplicar los del gas natural.

Tomando en consideración la amplitud de las variaciones observadas en la tecnología de conversión del combustible en electricidad, cabe afirmarse que los factores de emisión de GHG pueden ser de un orden de magnitud mayores que los de los actuales sistemas fotovoltaicos solares y de hasta dos órdenes de magnitud mayores que de la energía nuclear y la energía hidráulica. Las estimaciones de GHG correspondientes a las cadenas de la energía eólica y la de biomasa se sitúan entre los resultados correspondientes a la energía solar y la nuclear.

Nunca se insistirá demasiado en esta importante conclusión: ninguna tecnología que se emplee en relación con el suministro y el uso de energía, ya sea en la producción de electricidad, en el transporte u otras actividades, entraña un nivel cero de emisiones de GHG. Sin embargo, las variaciones de los factores de emisión correspondientes a las diferentes opciones pueden ser muy significativas. No cabe duda de que ello influirá en el proceso de adopción de decisiones relacionado con la selección de las centrales eléctricas que se incluirán en los futuros sistemas nacionales de energía. □

LOS MECANISMOS FLEXIBLES DE KYOTO Y LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA RECONSIDERANDO LAS OPCIONES

POR HANS-HOLGER ROGNER

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es el objetivo más importante del Protocolo de Kyoto que los países aprobaron en diciembre de 1997. Sin embargo, lograrla no será fácil: reducciones como las que se estipulan en el Protocolo, entrañarían la sustancial reestructuración de la producción y el uso de la energía en la mayoría de los países industrializados. En el Protocolo se declara que esos países (denominados Partes incluidas en el anexo I) "se asegurarán, individual o conjuntamente, de que sus emisiones antropógenas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de los gases de efecto invernadero [...] no excedan de las cantidades atribuidas a ellas [...] con miras a reducir el total de sus emisiones a un nivel inferior en no menos de 5,2% al de 1990 en el período de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012". (Véase el recuadro de la página 27.)

Desde la firma, en 1992, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), los gobiernos se han esforzado por definir políticas que puedan satisfacer simultáneamente las exigencias de la política interna y las necesidades de la gestión ambiental mundial. Es probable que la generación de electricidad se convierta en uno de los principales objetivos de las políticas; primero, porque la generación de electricidad produce aproximadamente la tercera parte de las emisiones de dióxido de carbono globales; segundo, porque es un sector con un número relativamente reducido de participantes y fuentes de emisión más fáciles de regular y controlar que, digamos, millones de tubos de escape de vehículos.

Alrededor del 63% de la electricidad mundial se genera con combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y en los países en desarrollo con gran consumo de electricidad los porcentajes son muy superiores: más del 80% en China y la India. En 1998, las emisiones anuales de carbono generadas por la quema de combustibles fósiles llegaron a casi 6,5 gigatoneladas (Gt) de carbono (C). Aunque históricamente la mayor parte de esas emisiones se ha generado en los países industrializados, las emisiones de carbono de los países en desarrollo han aumentado con rapidez, en 32% desde 1990 hasta 1998.

Ese incremento se debe, en gran medida, al rápido crecimiento del sector de suministro de electricidad, que en el futuro se espera crecerá a un ritmo más acelerado que en los países incluidos en el anexo I. Los pronósticos de la Agencia Internacional de Energía (AIE) indican que unos 770 GW, de los 1380 GW que se añadirán a la capacidad neta global entre 2000 y 2020, se generarán en los países en desarrollo. En lo tocante a las diversas fuentes de energía que se utilizarán, más del 75% serán combustibles fósiles (carbón: 348 GW; gas natural: 210 GW; productos derivados del petróleo: 49 GW; energía nuclear: 30 GW; energía hidroeléctrica: 124 GW; y otras fuentes renovables: 9 GW). Esos pronósticos de rápido aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) en los países en desarrollo (o países no incluidos en el anexo I), indujeron a varios países incluidos en el anexo I a solicitar una "participación significativa de los países en desarrollo".

Además, la experiencia ha demostrado que permitir el comercio

de los agentes económicos --en este caso las unidades de reducción de emisiones (ERU) de GHG nacionales o los derechos de emisión-- puede disminuir considerablemente el costo de cumplir el objetivo de reducir las emisiones agregadas. En el artículo 17 del Protocolo se prevé ese comercio, pero se expresa claramente que los derechos que se adquieran serán suplementarios a las medidas nacionales. El comercio de los derechos de emisión implica que si una parte desea emitir más de la cantidad atribuida, tiene que comprar la cantidad correspondiente de derechos de emisión a otras partes, obligando así a las partes que venden a reducir sus emisiones nacionales por encima de las metas establecidas. Dado su carácter suplementario, las Partes sólo pueden comprar fracciones de sus reducciones de emisión, mientras que las cantidades máximas no se han especificado todavía. Evidentemente, el comercio de los derechos de emisión está restringido a las partes sujetas a la limitación de las emisiones.

El comercio de los derechos de emisión introduce un elemento de flexibilidad para que se puedan cumplir los compromisos de reducción de las emisiones, pero no propicia una "participación significativa de los países en desarrollo". Además, las partes no incluidas en el anexo I se oponen decididamente a la mera idea de emprender la adopción de costosas medidas de mitigación de GHG,

El Sr. Rogner es Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA.

que desviarían sus escasos recursos financieros de otros proyectos de desarrollo vitales y, por ende, se convertirían en un impedimento para sus aspiraciones de desarrollo económico.

MECANISMO PARA UN DESARROLLO LIMPIO - PROTOCOLO DE KYOTO

El mecanismo para un desarrollo limpio (CDM), concebido según el concepto de Implementación Conjunta (JI), se introdujo al último momento durante la Conferencia de Kyoto de 1997. El CDM es un medio que permitiría a los países en desarrollo procurar su desarrollo económico al mismo tiempo que tener acceso a recursos adicionales, a fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para ser más precisos, según se define en el artículo 12 del Protocolo de Kyoto, el CDM es un nuevo mecanismo de cooperación que incluye a los países en desarrollo con el propósito explícito de ayudarlos a lograr el desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, mientras que ayuda a los países industrializados a que cumplan sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones contraídos en virtud del artículo 3.

Las razones para establecer este mecanismo (y la JI) son la gran variación que existe en materia de costos de mitigación de GHG entre las regiones, mientras que la repercusión en la estabilidad climática no depende de la ubicación geográfica de las emisiones ni de la mitigación de éstas. Por tanto, la eficiencia económica recomienda reducir las emisiones de GHG donde puedan lograrse los mayores efectos de mitigación al más bajo costo. En general, los costos de mitigación son menores en las regiones con instalaciones energéticas antiguas o ineficaces y equipo con grandes perspectivas de crecimiento energético que en regiones con medios de producción y uso de la

energía modernos y sumamente eficaces y una demanda energética casi estancada.

Según esos mecanismos, una firma emisora de GHG de un país incluido en el anexo I que procura opciones de mitigación a un costo mínimo, puede invertir en un país en desarrollo o en otro país incluido en el anexo I, posiblemente en economías en transición, si los costos de mitigación específicos expresados en dólares de los Estados Unidos por tonelada de carbono equivalente (\$/ton de C equivalente) de las emisiones de GHG evitadas son menores que los costos de mitigación interna. El país receptor obtiene tecnología moderna a un costo inferior a lo que sería en otros casos, mientras que la firma inversora recibe créditos de emisión de GHG certificados (CER) abonables al compromiso de reducción que hayan hecho a escala nacional.

Las Partes en la FCCC están negociando las normas y los reglamentos que han de regir este mecanismo (CDM) y su aplicación (JI). Aunque no es probable que el carácter de éstos se determine con exactitud antes de finales de 2000, varios principios son evidentes:

■ **Complementaridad.** El proyecto de CDM/JI debe constituir una inversión que de otro modo no haría el país receptor, por ejemplo, por razones de costo o disponibilidad de capital. Ello exige definir y/o especificar un proyecto de referencia con el cual pueda compararse el proyecto de CDM/JI. La reducción de las emisiones debe ser adicional a la que se habría producido en ausencia del proyecto de CDM/JI.

■ **Realidad.** El proyecto debe traducirse en beneficios mensurables, reales y a largo plazo en relación con la reducción de los GHG. La reducción de las emisiones tiene que ser real, responsable, comprobable y verificable.

■ **Sostenibilidad.** El proyecto debe contribuir al desarrollo sostenible del país receptor.

En virtud de esos mecanismos, una Parte incluida en el anexo I invertiría en un proyecto de tecnología limpia en un país que no podría costársela, pero que produce menos emisiones de GHG que la tecnología asequible que habría utilizado en su lugar. En el sector de la generación de energía, es probable que la tecnología de referencia en el caso de la mayoría de los países no incluidos en el anexo I, sea la generación con carbón, de bajo a mediano rendimiento, a menudo con una tecnología de control de la contaminación que no es tan avanzada y, por tanto, con significativos niveles de emisión de contaminantes. Las centrales nucleares o las instalaciones de energía eólica podrían reunir los requisitos como tecnologías admisibles, dado sus gastos de capital más altos y sus insignificantes emisiones de GHG y otros contaminantes. Las centrales alimentadas con carbón, con alto rendimiento de conversión y control de las emisiones, también podrían satisfacer los requisitos. La sustitución de plantas de carbón por las de gas natural o las mejoras del rendimiento en todo el sistema energético son otras posibles opciones de mitigación.

El patrocinador de un país incluido en el anexo I, por ejemplo, una empresa de electricidad que está obligada a restringir las emisiones nacionales, ahora tiene que determinar el valor de estos créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones con las opciones y los costos de mitigación de GHG nacionales. Si los costos de mitigación del proyecto de CDM/JI son menores, la empresa de electricidad puede optar por pagar la inversión o la diferencia de costos de generación que exista entre el proyecto de CDM/JI y el de referencia a cambio de créditos de emisión certificados y de unidades de reducción de emisiones por la cantidad de emisiones evitadas. Después, estos créditos y estas unidades pueden abonarse al

UNA OJEADA AL PROTOCOLO DE KYOTO

El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, aprobado en 1997, compromete a todos los países industrializados a cumplir metas individuales y jurídicamente vinculantes con miras a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en el período comprendido entre el año 2008 y el 2012 hasta llegar a reducir el total de sus emisiones en no menos del 5% a niveles inferiores a los de 1990.

Las metas individuales para estos países (denominados Partes incluidas en el anexo I) figuran en el anexo B del Protocolo. Las obligaciones respecto de la reducción de las emisiones pueden resumirse de la siguiente manera: los países de Europa occidental aceptaron una reducción del 8% en relación con las emisiones de 1990, con excepción de Islandia y Noruega, a los que se les permitió el 110% y el 101% de las emisiones de 1990 respectivamente. Los países de la Unión Europea pueden acordar entre ellos diferentes niveles de reducción de las emisiones, siempre y cuando sus emisiones totales combinadas se mantengan 8% por debajo de los niveles de 1990.

En general, las naciones de Europa oriental tienen las mismas obligaciones que las naciones de Europa occidental, con algunas excepciones: Croacia queda en el 95%, y Hungría y Polonia en el 94% de las emisiones del año de base. No es necesario que 1990 sea el año de base de los países de esta región, sino que podría ser una fecha posterior, por ejemplo, 1995. A la Federación de Rusia y Ucrania se les permitió mantener los niveles de emisión de 1990. Japón y Canadá aceptaron una reducción del 6% respecto de los niveles de emisión de 1990. Los Estados Unidos aceptaron reducir las emisiones en 7% por debajo de los niveles de 1990; a Australia se le permitió aumentar las emisiones en 8% por encima de los niveles de 1990; y a Nueva Zelandia se le permitió emitir hasta los niveles de 1990.

La reducción de las emisiones prevista abarca los seis principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), junto con algunas actividades en el cambio del uso de la tierra y la silvicultura que absorben el dióxido de carbono de la atmósfera ("sumideros" de carbono).

El Protocolo también establece tres mecanismos innovadores, conocidos como implementación conjunta (JI), el comercio de los derechos de emisión y el mecanismo



para un desarrollo limpio (CDM), los cuales fueron concebidos para ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a reducir los costos que supone el cumplimiento de sus objetivos de emisión. La implementación conjunta es un mecanismo de cooperación que incluye a dos o más asociados de los países sujetos a compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones (Partes incluidas en el anexo I) con costos marginales de mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero claramente diferentes. Toda Parte incluida en el anexo I podrá transferir a cualquiera otra de

esas Partes, o adquirir de ella, las unidades de reducción de emisiones resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropógenas por las fuentes o incrementar la absorción antropógena por los sumideros de los gases de efecto invernadero en cualquier sector de la economía. El CDM también está dirigido a promover el desarrollo sostenible de los países en desarrollo.

Aunque esos denominados "mecanismos de flexibilidad" se acordaron en principio en el Protocolo, ahora deben concretarse sus detalles operacionales. Además, las Partes deben elaborar el sistema de cumplimiento marco esbozado en el Protocolo y también debe seguirse trabajando en las disposiciones relativas al cambio del uso de la tierra y la silvicultura, obligaciones en cuanto a presentación de informes y la vulnerabilidad de los países en desarrollo al cambio climático y a las medidas de mitigación. En la cuarta Conferencia de las Partes (CoP-4), celebrada en 1998, las Partes acordaron un programa de trabajo (el "Plan de Acción de Buenos Aires") para ultimar esos detalles, que serían completados por la CoP-6 en el año 2000.

El Protocolo de Kyoto estuvo abierto a la firma entre el 16 de marzo de 1998 y el 15 de marzo de 1999. Ochenta y cuatro países firmaron el Protocolo durante ese período, lo que indica que aceptan su texto y que tienen la intención de ratificarlo.

Para que entre en vigor, el Protocolo debe ser ahora ratificado por 55 Partes en la Convención, incluidas las Partes del anexo I que responden por el 55% de las emisiones de dióxido de carbono de este grupo en 1990. Aunque algunos países ya lo han ratificado, muchos más esperan por el resultado de las negociaciones sobre los detalles operacionales del Protocolo en la CoP-6. Muchas Partes desean poner en vigor el Protocolo en 2002, a tiempo para celebrar el décimo aniversario de la firma de la Convención.

DATOS ILUSTRATIVOS DEL ESTUDIO DE CASO MUESTRAL DEL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (CDM)

| Características | Unidades | Carbón de referencia | CDM-Carbón | CDM-Nuclear | CDM-Eólica | CDM-Gas |
|--|-----------------------|----------------------|------------|-------------|------------|------------|
| Técnicas | | | | | | |
| Vida útil de la central | año | 25 | 25 | 25 | 15 | 25 |
| Capacidad neta | MWe | 600 | 600 | 935 | 12 | 450 |
| Factor de carga | % | 75 | 75 | 80 | 40 | 80 |
| Rendimiento neto | % (BPC*) | 33,8 | 47,5 | 33 | 1 | 55 |
| Reducción de azufre (SO ₂) | % | 0 | 90 | - | - | - |
| Oxidos de nitrógeno(NO _x) | % | 0 | 80 | - | - | - |
| Partículas | % | 99,5 | 99,5 | - | - | - |
| Económicas | | | | | | |
| Costo de inversión** | \$EE.UU./kWe | 1090 | 1661 | 2432 | 998 | 836 |
| Ubicación | % | 100 | 30 | 15 | 15 | 10 |
| Tasa real de descuento | % | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Costos fijos de O&M | \$EE.UU./kWe/año | 21,1 | 43,9 | 37,9 | 27,8 | 23,71 |
| Costos variables de O&M | \$EE.UU./MWh | - | - | - | - | - |
| Costos de combustible | Dólares/GJ | 1,70 | 1,70 | 0,72 | 0 | 3,9 |
| Emisiones y desechos | | | | | | |
| Cenizas | g/kWh | 57,9 | 41,4 | - | - | - |
| Sedimentos procedentes de la reducción | g/kWh | - | 20,5 | - | - | - |
| Desechos radiactivos de actividad alta | kg/MWh | - | - | x | x | - |
| Metales pesados | gHM***kWh | 0,038 | 0,027 | - | - | - |
| Dióxido de azufre SO ₂ | g/kWh | 9,09 | 0,65 | - | - | 0,15 |
| Oxidos de nitrógeno NO _x | g/kWh | 3,01 | 0,61 | - | - | 1,13 |
| Monóxido de carbono CO | g/kWh | 1,08 | 0,77 | - | - | 0,45 |
| Metano | g/kWh | - | - | - | - | 0,03 |
| Oxido nitroso N ₂ O | g/kWh | 0,02 | 0,02 | - | - | 0,018 |
| Partículas | g/kWh | 0,2 | 0,14 | - | - | 0,045 |
| Dióxido de carbono CO ₂ | g C/kWh | 321 | 230 | - | - | 99 |
| Emisiones totales de GHG | g C/kWh equiv. | 327 | 236 | 0 | 0 | 106 |

*Bajo poder calorífico. **Los costos de inversión incluyen el interés durante la construcción. ***(gramos metales pesados). Fuente: OIEA

compromiso de mitigación de la empresa de electricidad.

No obstante, en el Protocolo se declara que los mecanismos flexibles que se apliquen a los efectos de cumplir los compromisos contraídos en virtud del artículo 3 serán suplementarios a las medidas nacionales de mitigación. Es decir, las naciones sólo pueden comprar una parte de las reducciones de las emisiones nacionales (las Partes en la FCCC tienen todavía que negociar las cantidades permisibles).

ESTUDIO DE CASO MUESTRAL DE LAS OPCIONES DEL CDM

El estudio de un caso genérico hipotético puede ilustrar la evaluación de los proyectos de CDM/JI. El punto de partida es la clásica central eléctrica alimentada con carbón, es decir, la opción que permite incrementar la capacidad a

un costo mínimo en un país no incluido en el anexo I; en otras palabras, el proyecto de referencia. En oposición a ese proyecto, se propone como opciones de CDM/JI una central eléctrica avanzada alimentada con carbón, una central nuclear estándar disponible en el mercado, un polo de energía eólica y una moderna turbina de gas de ciclo combinado (CCGT).

Al evaluar, es necesario dar los siguientes pasos:

- Determinar la tecnología de referencia; es decir, la tecnología que se escogería en una situación en la que todo siguiera igual (sin considerar el cambio climático);
- Calcular los costos de generación y de las emisiones de GHG de la central de referencia;
- Seleccionar las opciones del CDM/JI;
- Evaluar las necesidades de una inversión adicional y los costos

nivelados de generación de electricidad correspondientes a cada opción del CDM/JI;

- Determinar las emisiones de GHG que se evitan en cada opción del proyecto de CDM/JI en comparación con el proyecto de referencia; y

- Determinar los costos específicos de reducción de la contaminación correspondientes a cada opción del proyecto de CDM/JI sobre la base de los costos de inversión y de los costos totales nivelados de generación.

Mitigación de los GHG basada en los costos de inversión. Sobre la base de los datos utilizados en el estudio de caso, se rectifican las necesidades de inversión totales según las diferentes características de capacidad y disponibilidad de las diversas opciones del CDM/JI, incluida la tecnología de referencia. (Véase el cuadro.)

COMPARACION GENERICA DE LOS COSTOS DE MITIGACION DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO

| | Unidades | Carbón de referencia | CDM-carbón | CDM-nuclear | CDM-eólica | CDM-gas |
|--|-----------------------|-------------------------|------------|-------------|------------|---------|
| Basado en las diferencias de costos de inversión | | | | | | |
| Gastos de capital totales de la central | Millones de \$EE.UU | 654 | 997 | 2274 | 12 | 376 |
| Corrección por diferencia de capacidades y disponibilidades | Millones de \$EE.UU | 1087 | 1657 | 2274 | 1866 | 782 |
| Inversión de CDM | Millones de \$EE.UU | - | 569 | 1187 | 1087 | -305 |
| Emisiones de GHG | Millones de ton C/año | 2,14 | 1,55 | 0 | 0 | 0,69 |
| Emisiones de GHG evitadas | Millones de ton C/año | - | 0,60 | 2,14 | 2,14 | 1,45 |
| Costos de mitigación basados sólo en los gastos de capital nivelados | \$/ton C equivalente | - | 101 | 57 | 48 | -25 |
| Basado en las diferencias de costos de generación nivelados | | | | | | |
| Costos de generación totales | milésimas \$/kWh | 39,60 | 46,39 | 49,25 | 45,38 | 42,93 |
| Emisiones de GHG totales | g C/kWh equivalente | 327 | 236 | 0 | 0 | 106 |
| Emisiones de GHG | Millones de ton C/año | 1,290 | 0,931 | 0 | 0 | 0,333 |
| Emisiones de GHG reducidas | g C/kWh equivalente | - | 91 | 327 | 327 | 221 |
| Emisiones de GHG evitadas | Millones de ton C/año | - | 0,359 | 1,290 | 1,290 | 0,956 |
| Costos de mitigación | \$/ton C equivalente | - | 74,6 | 29,5 | 17,7-77,0 | 15,1 |

Notas: CDM = Mecanismo de Desarrollo Limpio; GHG = gases de efecto invernadero. Fuente: OIEA

La evaluación de las emisiones de GHG muestra que todas las opciones del CDM/JI generan beneficios reales, mensurables y a largo plazo en relación con la emisión de GHG. Salvo la turbina de gas de ciclo combinado, todas las opciones del CDM/JI resultarían idóneas sobre la base de su complementariedad financiera; sus beneficios en cuanto a las emisiones de GHG y su apoyo al desarrollo sostenible (menos emisiones de contaminantes que afectan la calidad del aire y la acidificación regional). La opción de la turbina de gas resulta ser la opción de costo mínimo, con costos negativos de mitigación de los GHG, es decir, ésta debe ser la tecnología de referencia real y no la central alimentada con carbón. Los costos de mitigación (en \$/ton de C equivalente evitada) son de 101 dólares de los Estados Unidos/ton de C para la opción de carbón avanzada, 57 dólares/ton de C para la opción nuclear y 48 dólares/ton de C para la eólica. Sin embargo, en este cálculo sólo se consideran los gastos de capital y se pasan por alto los gastos de operación y mantenimiento (O y M), así como los de combustible, que pueden representar una parte

importante de los costos totales de generación.

Mitigación de los GHG basada en los costos totales de generación.

Los costos nivelados de generación se calculan a partir de los datos ilustrativos en los que no se presupone ningún aumento del precio del combustible. Sólo se utilizan los datos reales de centrales, es decir, no se hacen las correcciones por los diferentes factores de capacidad y disponibilidad de las centrales. Todas las opciones del CDM/JI tienen costos de generación más altos que la tecnología de referencia, de 39,60 milésimas de dólar por kWh.

Opción del CDM: central alimentada con carbón. Como la central eléctrica avanzada alimentada con carbón emite anualmente unos 0,931 millones de toneladas de carbono, ésta evita la emisión de unos 0,359 millones de toneladas de carbono cada año en comparación con la central de referencia alimentada con carbón. La contrapartida de las emisiones totales o de las emisiones evitadas durante el proyecto del CDM/JI es de unos 9 millones de toneladas de carbono. El costo de las emisiones de carbono evitadas es, por tanto,

de 74,6 dólares/ton de C. Dicho de otra manera, el proyecto generaría créditos de emisión certificados y unidades de reducción de emisiones por valor de 85 dólares/ton de C.

Opción del CDM: central nuclear. Como una central nuclear tiene un factor de emisión de GHG de cero, la del proyecto de CDM/JI evita la emisión de aproximadamente 1,29 millones de toneladas de carbono anuales en comparación con la central de referencia alimentada con carbón. La contrapartida de las emisiones totales durante el proyecto de CDM/JI es de 32 millones de toneladas de carbono. El costo de las emisiones de carbono evitadas o el valor de los créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones es, por tanto, de 29,5 dólares/ton de C.

Opción del CDM: energía eólica. Al igual que la central nuclear, la opción eólica tiene un factor de emisión de cero y el polo de energía eólica del proyecto evita la emisión de unos 1,29 millones de toneladas de carbono cada año en comparación con la central de referencia alimentada con carbón. La contrapartida total de las emisiones durante el proyecto es de

19,2 millones de toneladas de carbono. El costo de las emisiones de carbono evitadas o el valor de los créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones es, por tanto, de 17,7 dólares/ton de C sobre la base del costo de generación por kWh diferencial entre la central de referencia alimentada con carbón y la opción eólica.

Sin embargo, la opción eólica, dada su disponibilidad intermitente, no sustituye en realidad a la capacidad de base garantizada del carbón. De ahí que al calcular los costos de mitigación se tengan que usar solamente los costos de combustible y los costos variables de la electricidad producida con carbón desplazada y no la diferencia total de los costos de generación. Si fuera así, aumenta el valor de los créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones de la opción eólica a 77 dólares/ton de C.

Opción del CDM: gas. Una central de turbinas de gas de ciclo combinado emite alrededor de 0,333 millón de toneladas de carbono cada año y evita la emisión de 0,956 millón de toneladas de carbono en comparación con la central de referencia alimentada con carbón. La contrapartida de las emisiones totales durante este proyecto de CDM/JI es de 23,9 millones de toneladas de carbono. El costo de las emisiones de carbono evitadas o el valor de los créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones es de 15,1 dólares/ton de C. Sin embargo, en este ejemplo se presupone la existencia de una infraestructura de suministro de gas, que no abunda en los países en desarrollo. Por tanto, aunque en materia económica este proyecto parece atractivo, esta opción no es realizable en regiones que carecen de la infraestructura necesaria.

La inclusión del costo de creación de esas infraestructuras puede ser, de por sí, un posible proyecto de CDM.

El patrocinador de un país incluido en el anexo I, digamos, una empresa de electricidad, tiene ahora que determinar el valor de los

créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones con las opciones y los costos de mitigación de las emisiones de GHG nacionales. Si con los proyectos de CDM/JI se obtienen costos de mitigación inferiores, la empresa eléctrica puede optar por pagar la inversión o la diferencia de costos de generación que exista entre el CDM/JI y el proyecto de referencia a cambio de créditos de emisión certificados y de las unidades de reducción de emisiones por la cantidad de las emisiones evitadas. Después, los créditos y las unidades pueden abonarse al compromiso de mitigación de la empresa.

El valor de mercado de los créditos y de las unidades puede ser mayor o menor que el costo de mitigación del carbono calculado en este ejemplo según sea el rendimiento económico y el volumen de mercado de los proyectos de CDM/JI o del comercio de los derechos de emisión competidores de otros lugares. Además, la asignación de créditos de emisión entre el receptor y el inversor estaría sujeta a negociación. Otros elementos negociables podrían ser la duración del proyecto, la cuestión de la dinámica de referencia, las sanciones por incumplimiento, y otros, todos los cuales pueden inclinar la balanza a favor o en contra de la viabilidad de un proyecto de CDM/JI. Los beneficios económicos para el asociado de un país no incluido en el anexo I son: menores costos de tecnología, algunas veces costos de combustible inferiores (como en los casos de la central de carbón avanzada, de la central nuclear y del polo de energía eólica), tecnología, capital y transferencia de conocimientos especializados, así como la reducción sustancial de las emisiones de contaminantes local y regionalmente.

En el presente estudio de caso genérico todas las opciones reúnen los requisitos según el criterio de complementariedad. Constituyen decisiones en materia de inversión que no se tomarían si sólo se tuvieran en cuenta criterios

puramente económicos, pero que indican beneficios claros y a largo plazo en relación con emisiones de GHG. Además, todos los proyectos contribuirían al desarrollo sostenible porque se reducen los contaminantes atmosféricos locales y se obtienen otros beneficios para la salud y el medio ambiente.

RECONSIDERANDO LAS OPCIONES

En noviembre del año en curso, la Sexta Conferencia de las Partes (CoP-6) continuará negociando las normas y reglamentos de los mecanismos flexibles. Las anteriores CoP eludieron debatir formalmente el papel de la energía nuclear. Queda por ver si la energía nucleoelectrica se incluirá entre las tecnologías limpias y sostenibles. El papel de la energía nucleoelectrica debe reconsiderarse, dado el potencial riesgo de cambio climático, y los muy escasos medios viables desde el punto de vista técnico y económico que permiten mitigar drásticamente las emisiones de GHG a corto plazo. Cuando menos, no se deben imponer limitaciones adicionales a los países que desean incluir la energía nucleoelectrica en sus planes de desarrollo sostenible.

La energía nuclear puede generar créditos de emisión negociables eficaces en función de los costos entre los países incluidos en el anexo I. No permitir a los países en desarrollo valerse de opciones similares, como, por ejemplo, las que ofrece el CDM/JI, sería sumamente discriminatorio, y carecería de fundamento a la luz del derecho internacional.

El CDM fortalece el papel clave que los países en desarrollo pueden desempeñar en la solución del problema de la limitación de las futuras emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, y responde a sus justificables necesidades de desarrollo económico. La financiación de proyectos nucleoelectricos en los países en desarrollo a cambio de créditos de emisión satisface ambos objetivos. □

FUERZAS PROPULSORAS DEL CAMBIO CLIMATICO

LA ENERGIA NUCLEAR Y LOS ULTIMOS ESCENARIOS DE EMISION DEL IPCC

POR VLADIMIR KAGRAMANIAN, SERGUEI KONONOV, Y HANS-HOLGER ROGNER

El desarrollo del mundo en los próximos 100 años está preñado de incertidumbres. Con todo, los analistas pueden evaluar vías de desarrollo alternativas y diversos conjuntos de fuerzas propulsoras para formarse una imagen del futuro, en realidad, varias imágenes, según las hipótesis de que se valen.

Durante los últimos decenios, científicos e investigadores han dedicado gran atención a estudiar los problemas del cambio climático, y a elaborar modelos de su posible evolución futura, su repercusión y las formas de mitigar sus efectos potenciales. Los estudios son complejos, pues entrañan evaluaciones de los progresos sociales, económicos y tecnológicos registrados en diversas esferas.

A principios del año 2000, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) aprobó un *Informe especial sobre escenarios de emisión (SRES)* correspondiente al período que termina en 2100. El informe contiene 40 escenarios, preparados con seis modelos computarizados, del mundo y sus principales regiones, y se centra fundamentalmente en los principales gases de efecto invernadero (GHG) y el dióxido de azufre. Los escenarios se diseñaron para que sirvan de base para las evaluaciones del cambio climático y su repercusión. (Véanse los recuadros de las páginas 32 y 33.)

Los nuevos escenarios se basan en la “no intervención” con respecto al cambio climático,

es decir, en ellos se excluye la adopción de medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se incluyen políticas con respecto a otros factores ambientales, por ejemplo, los progresos registrados en las tecnologías de reducción de los niveles de azufre en los países en desarrollo, que se traducen en emisiones de dióxido de azufre mundiales menores que en anteriores evaluaciones del IPCC.

En el presente artículo se analizan brevemente los últimos escenarios de emisión del IPCC y se estudia en detalle el papel que se prevé para la energía nuclear, lo que puede proporcionar una valiosa perspectiva a largo plazo del desarrollo nuclear. Esa perspectiva es especialmente útil, ya que en los escenarios se elaboraron modelos de los posibles “futuros nucleares”, sin tener en cuenta consideraciones específicamente relacionadas con el cambio climático. Por el contrario, los escenarios se centraron en la competencia técnica y económica entre las opciones de suministro de energía como fuerza propulsora decisiva para determinar la mezcla combustible en el sistema energético.

CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS ESCENARIOS

Los 40 escenarios incluidos en el SRES se dividieron en cuatro grupos (llamados “grupos de escenarios”): A1 (17

escenarios); A2 (6 escenarios); B1 (9 escenarios) y B2 (8 escenarios). Cada grupo se constituyó sobre la base de un conjunto de directrices cualitativas (denominadas “argumentos”). Se seleccionó un escenario representativo (denominado el “escenario indicador” o el “indicador”) que sería ilustrativo de cada argumento, lo cual no supone, sin embargo, que ese escenario tenga más probabilidades que los demás. (Véase el recuadro de la página 32.)

LA PARTICIPACION NUCLEAR Y LA MEZCLA DE ENERGIA

En el SRES se aplica un enfoque dinámico a las tecnologías y los recursos energéticos, en otras palabras, los avances que se han registrado en materia de tecnología ofrecen más oportunidades para la ampliación de la base de recursos.

En los cuatro escenarios indicadores, la mezcla de energía primaria muestra lo siguiente:

- Para el año 2100, se producirá un sustancial incremento de la energía primaria, del 40% en el B1 a un séxtuplo en el A1;
- Todos los escenarios indican una significativa disminución de la participación de los combustibles fósiles;

El Sr. Kagramanian y el Sr. Kononov son funcionarios de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear del OIEA, y el Sr. Rogner es el Jefe de la Sección.

ESCENARIOS DE EMISION DEL IPCC

Hace un decenio, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) --creado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente-- elaboró sus primeros escenarios de emisión a largo plazo para utilizarlos al analizar el complejo problema del cambio climático. A principios del año 2000, el IPCC produjo un nuevo conjunto de escenarios que reflejan los últimos conceptos y conocimientos científicos. Como se explica en un *Resumen para los responsables de formular políticas*, los escenarios están expuestos a diversas interpretaciones y se basan en minuciosas evaluaciones de estudios publicados y en los progresos realizados.

Las futuras emisiones de gases de efecto invernadero serán el producto de sistemas dinámicos muy complejos, que estarán determinados por fuerzas propulsoras como el desarrollo demográfico, el desarrollo socioeconómico y los cambios tecnológicos. Su futura evolución es muy incierta, y en los escenarios se presentan posibles hipótesis de cómo pudiera desenvolverse el futuro. De por sí, son un instrumento apropiado para analizar cómo las fuerzas propulsoras pudieran influir en los resultados de las futuras emisiones y evaluar las incertidumbres conexas. Ayudan a analizar el cambio climático, con inclusión de la elaboración de modelos climáticos y la evaluación de las consecuencias, la adaptación y la mitigación.

Los últimos escenarios del IPCC incluyen un amplio abanico de las principales fuerzas propulsoras de las emisiones de gases de efecto invernadero y de azufre. Cada escenario es una interpretación cuantitativa concreta de uno de los cuatro argumentos. En cada argumento se supone una dirección obviamente diferente para futuros acontecimientos demográficos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales. Todos los escenarios que se basan en el mismo argumento constituyen un "grupo" de escenarios.

En total, se elaboraron 40 escenarios, aplicando el enfoque de modelos múltiples. En trece de ellos se analizan cambios en las hipótesis sobre tecnologías energéticas. En ninguno de los 40 escenarios se supone explícitamente la aplicación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ni los objetivos de emisiones del Protocolo de Kyoto. Sin embargo, en los argumentos y los escenarios se refleja ampliamente la influencia sobre las emisiones de gases de efecto invernadero de las políticas de cambio no climático.

■ **En el argumento y el grupo de escenarios A1** se describe un mundo futuro en el que se producirá un crecimiento económico muy rápido, y en el que la población mundial llegará a cifras máximas a mediados de siglo y disminuirá en lo sucesivo, y en el que nuevas y más eficientes tecnologías se introducirán rápidamente. Los principales temas subyacentes son la convergencia entre las regiones, la creación de capacidades y el aumento de



la interacción cultural y social, y una reducción substancial de las diferencias regionales en el ingreso per cápita. El grupo de escenarios A1 se subdivide en tres grupos que describen otras direcciones del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos se distinguen por su centro de interés tecnológico: gran densidad de combustibles fósiles, fuentes de energía no fósiles o un equilibrio entre todas las fuentes.

■ **El argumento y el grupo de escenarios A2** describen un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es la autonomía y la preservación de las identidades locales. Las modalidades de la fecundidad de todas las regiones convergen muy lentamente, lo que se traduce en el constante aumento de la población mundial. El desarrollo económico tiene una orientación principalmente regional y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros argumentos.

■ **El argumento y el grupo de escenarios B1** describen un mundo convergente con la misma población mundial que llega a una cifra máxima a mediados de siglo y disminuye en lo sucesivo, como en el argumento A1, pero con cambios rápidos en las estructuras económicas con vistas a crear una economía de servicios y de la información, con reducciones en el consumo de materiales, y la introducción de tecnologías limpias y de gran rendimiento desde el punto de vista de los recursos. Se pone énfasis en las soluciones globales para lograr la sostenibilidad económica, social y ambiental, incluido el aumento de la equidad, pero sin otras iniciativas climáticas.

■ **En el argumento y el grupo de escenarios B2** se describe un mundo donde se hace hincapié en las soluciones locales para lograr la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo en el que la población mundial crece continuamente a un ritmo más lento que en el argumento A2, los niveles de desarrollo económico son intermedios, y el cambio tecnológico es más lento y más diverso que en los argumentos B1 y A1. Aunque el escenario también se orienta hacia la protección ambiental y la equidad social, se centra en los planos local y regional.

Para más información sobre el IPCC y los escenarios de emisión, consulte en la Internet las páginas Web del IPCC Web, en <http://www.ipcc.ch>.

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS ARGUMENTOS "INDICADORES" Y LOS GRUPOS DE ESCENARIOS DEL IPCC

| Grupo de escenarios | Argumento del grupo | Población mundial (en miles de millones) | | | PIB per cápita (en miles de \$EE.UU., 1990) | | | Energía primaria (Gigajulios per cápita) | | | CO ₂ (gigatoneladas de carbono) (anuales/acumulativas) | | | Fuente de energía primaria | Participación en la energía primaria | | | |
|---------------------|--|---|------|------|--|------|------|---|------|------|--|------|-----------------|----------------------------|--------------------------------------|--------|-------|-------|
| | | 1990 | 2050 | 2100 | 1990 | 2050 | 2100 | 1990 | 2050 | 2100 | 1990 | 2050 | 2100 | | 1996 | 2050 | 2100 | |
| A1 | Alto crecimiento económico, bajo crecimiento demográfico, rápida introducción de nuevas tecnologías; convergencia para un "mundo homogéneo" con el acortamiento de las diferencias regionales | 5,3 | 8,7 | 7,1 | 4,0 | 20,8 | 74,9 | 66 | 138 | 295 | 7,1 | 16,4 | 13,5 | Combustibles fósiles | 83,4% | 59,9% | 30,7% | |
| | | | | | | | | | | | - | - | - | | Energías renovables* | 14,3% | 29,9% | 65,5% |
| | | | | | | | | | | | - | 738 | 1499 | | Nuclear 1)** | 2,3% | 10,2% | 3,7% |
| | | | | | | | | | | | | | | | Nuclear 2) | 6,5% | 25,6% | 10,5% |
| | | | | | | | | | | | | | Nuclear, GWe*** | 351 | ~5600 | ~3500 | | |
| A2 | Transformación en un "mundo heterogéneo"; las modalidades de la fecundidad no convergen, el crecimiento demográfico es alto, el desarrollo económico sigue fragmentado regionalmente | 5,3 | 11,3 | 15,1 | 3,8 | 7,2 | 16,1 | 59 | 86 | 114 | 7,1 | 17,4 | 29,1 | Combustibles fósiles | 83,4% | 82,0% | 71,9% | |
| | | | | | | | | | | | - | - | - | | Energías renovables | 14,3% | 11,6% | 14,4% |
| | | | | | | | | | | | - | 736 | 1862 | | Nuclear 1) | 2,3% | 6,4% | 13,6% |
| | | | | | | | | | | | | | | | Nuclear 2) | 6,5% | 17,1% | 32,4% |
| | | | | | | | | | | | | | Nuclear, GWe | 351 | ~2800 | ~10600 | | |
| B1 | Un "mundo homogéneo" como en A1, pero con una "desmaterialización" de la economía (predominio de los servicios y la información); elaboración de modelos con hincapié en la sostenibilidad mundial | 5,3 | 8,7 | 7,0 | 4,0 | 15,6 | 46,6 | 70 | 93 | 73 | 7,1 | 11,3 | 4,2 | Combustibles fósiles | 83,4% | 69,8% | 47,7% | |
| | | | | | | | | | | | - | - | - | | Nuclear+ | 16,6% | 30,2% | 52,3% |
| | | | | | | | | | | | - | 606 | 983 | | Energías renovables | | | |
| | | | | | | | | | | | | | Nuclear, GWe | 351 | no calculado | | | |
| B2 | Un "mundo heterogéneo" como en A2, pero con más atención en la sostenibilidad; se trata de encontrar soluciones pertinentes, pero, a diferencia de en B1, regionalmente | 5,3 | 9,4 | 10,4 | 4,0 | 11,7 | 22,6 | 67 | 93 | 130 | 7,1 | 11,0 | 13,3 | Combustibles fósiles | 83,4% | 70,2% | 50,7% | |
| | | | | | | | | | | | - | - | - | | Energías renovables | 14,3% | 24,4% | 38,8% |
| | | | | | | | | | | | - | 562 | 1164 | | Nuclear 1) | 2,3% | 5,5% | 10,5% |
| | | | | | | | | | | | | | | | Nuclear 2) | 6,5% | 14,9% | 26,1% |
| | | | | | | | | | | | | | Nuclear, GWe | 351 | ~2200 | ~6400 | | |

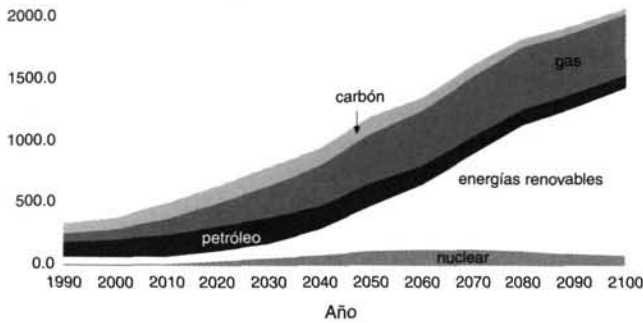
*Las energías renovables incluyen la energía hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica y de biomasa.

**Dos conjuntos de datos --que aparecen como nuclear 1) y nuclear 2)-- reflejan diferencias en el enfoque de los cálculos. Nuclear 1) indica el recálculo hecho por el SRES de la proporción de la energía nuclear en el suministro de energía primaria. El SRES recalculó la electricidad producida con energía nuclear dentro de la energía primaria transformando la unidad de teravatio-horas en exajulios. Esto se traduce en una participación de la energía nuclear de un 2% en 1996, lo que difiere del 7% más usual, que se obtiene teniendo en cuenta el rendimiento térmico de las centrales nucleares. Nuclear 2) aplica el enfoque utilizado por la Agencia Internacional de Energía de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos y aparece en cursivas para reflejar las diferencias.

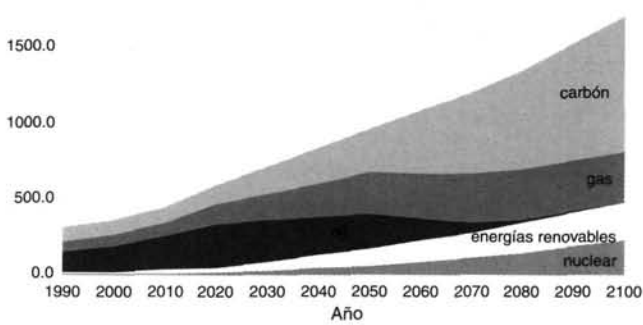
***La capacidad se calcula a partir de los resultados del SRES en energía primaria como E (energía en EJ) 31,71 (unidad de conversión en GW por año)/0,7 (factor de capacidad media supuesto).

ESTRUCTURA DEL SUMINISTRO DE ENERGIA EN LOS ESCENARIOS INDICADORES DEL IPCC (EXA-JULIOS)

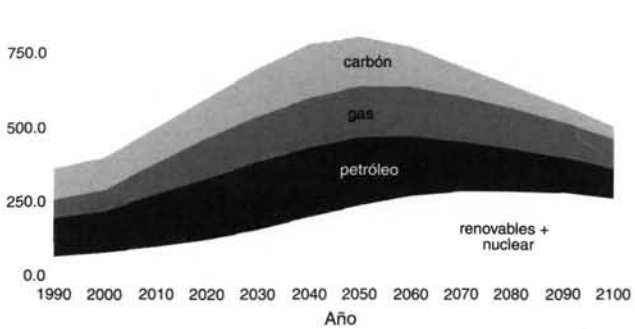
escenario indicador A1



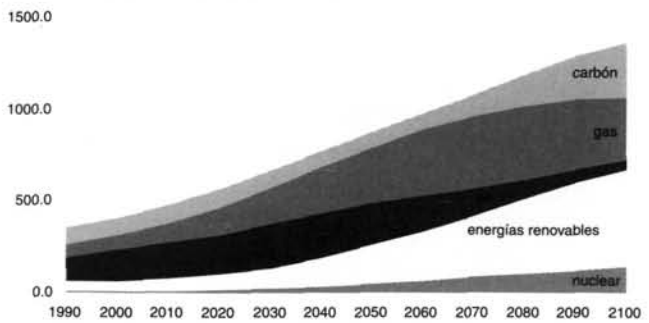
escenario indicador A2



escenario indicador B1



escenario indicador B2



■ La participación combinada de energías renovables y la energía nuclear aumentará el doble o el triple en el año 2100; ■ En el creciente grupo de energía no fósil, la participación nuclear es variable. La participación actual del 6% al 7% de la energía nuclear en la energía primaria pudiera llegar a ser del 10% al 30% en el año 2100, lo que equivaldría a una capacidad nuclear total de 3500 a 10 600 gigavatios eléctricos (GWe).

Al evaluar esta situación prevista, es importante recordar que los escenarios se elaboraron sobre la base de hipótesis de progresos técnicos y económicos diferentes, con las siguientes consecuencias:

■ En el escenario indicador A1, las energías renovables dejarán atrás a los combustibles fósiles y a la energía nuclear en rendimiento económico. Aunque la participación nuclear crecerá significativamente hasta el año 2050, este factor conducirá a su posterior disminución de la cifra máxima de unos 5500 GWe en 2050 a 3500 GWe en 2100.

■ En el escenario indicador A2 se supone que las tecnologías del carbón hacen progresos más rápidos, y que la penetración de las energías renovables es más gradual. La energía nuclear sigue siendo competitiva y su capacidad aumenta hasta 10 600 GWe.

■ En el escenario indicador B1, la participación de la energía no fósil llega hasta un 50% en el año 2100. Para este indicador no se calcularon las otras participaciones correspondientes a la energía nuclear y a las energías renovables. La escala de posibilidades se ilustra mediante dos casos extremos "no indicadores" pertenecientes al grupo B1. En esos escenarios, las participaciones nucleares en el año 2100 serán de 340 GWe y de 4200 GWe respectivamente, lo que prueba que el futuro

nuclear puede variar ampliamente según los factores de competitividad respecto de las energías renovables.

■ En el escenario indicador B2, las capacidades nucleares aumentarán hasta 6400 GWe en el año 2100, reflejo del progreso más lento previsto en la esfera de las energías renovables y de una modalidad regional de desarrollo que apoya a la energía nuclear donde ha resultado viable.

DIMENSIONES REGIONALES DE LOS ESCENARIOS

El SRES presenta un desglose mundial en cuatro regiones. Estas regiones se han designado como OCDE90 (todos los miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, en 1990), REF (países de Europa central y oriental más los Estados recientemente independizados de la antigua Unión Soviética), ASIA (todos los países en desarrollo de Asia), y ALM (el resto del mundo).

Los escenarios ilustran que el desarrollo nuclear puede variar regional y también mundialmente. Por ejemplo, la capacidad nuclear proyectada para el año 2100 para la región OCDE90 en los escenarios A1 y A2 es de 680 GWe y de 3300 GWe, respectivamente; en ASIA, las proyecciones correspondientes son de 1400 GWe y 4100 GWe.

Ello indica un desplazamiento significativo del desarrollo nuclear de la región OCDE90 hacia ASIA y, en menor medida, hacia ALM. Por ejemplo, ya para el año 2050, tanto el escenario A1 como el A2 prevén capacidades nucleares mayores en ASIA que en la OCDE90.

RESUMEN DE LAS SITUACIONES

En resumen, los nuevos escenarios de emisión elaborados por el IPCC muestran la

siguiente escala de desarrollo de la energía nuclear:

■ En la mayoría de los escenarios se supone que la energía nuclear conservará su importante papel en el suministro energético mundial. En el año 2100, la capacidad nuclear mundial prevista para tres de los cuatro escenarios representativos varía entre 3500 GWe y 10 600 GWe, según el éxito que tenga la energía nuclear en su competencia con los combustibles fósiles y las energías renovables, lo que puede compararse con la capacidad nuclear actual que es de alrededor de 350 GWe.

■ Al mismo tiempo, algunos escenarios indican que tal vez las rápidas mejoras que se registren en las opciones de energías renovables (en comparación con las tecnologías nucleares) provoquen el estancamiento o el descenso de la energía nuclear.

En uno de esos escenarios, la capacidad nuclear total aumenta hasta la cifra máxima de 5500 GWe a mediados de siglo, pero después se reduce a 3500 GWe en el año 2100. Algunos otros escenarios indican el estancamiento en el nivel actual de las capacidades nucleares. Por tanto, en el SRES se confirma que el papel que la energía nuclear desempeñará a largo plazo es muy incierto, en particular debido a la incertidumbre en la competitividad prevista de las distintas tecnologías energéticas.

■ En el plano regional, se espera que los países de Asia aumenten substancialmente el uso de la energía nuclear; las tasas del crecimiento nuclear en las otras regiones son menores. En contraste con la situación actual, en el año 2050 es posible que en Asia haya más capacidad nuclear que en los países de la OCDE.

■ Para aumentar la participación de la energía

nuclear en la generación de electricidad se necesitaría hacer importantes progresos tecnológicos, a fin de que las centrales nucleares sigan siendo competitivas con las mejores soluciones tecnológicas. Un amplio crecimiento impondría requisitos más estrictos a la eficiencia de la utilización del uranio en reactores y a los métodos de gestión de desechos.

En la mayoría de los escenarios del SRES se supone que tengan lugar importantes mejoras (que varían de acuerdo con el escenario) en las tecnologías nucleares en comparación con los diseños existentes. Sin embargo, al igual que sucede con las tecnologías no nucleares incluidas en el SRES, esos cambios se introdujeron genéricamente como reducciones de los costos supuestos, y no se consideraron soluciones de diseño específicas. La disponibilidad de esas soluciones sería sumamente importante, como también lo sería una actitud social positiva hacia la energía nuclear (que no se analizó explícitamente en el SRES).

■ En el mandato recibido por el SRES se excluyeron de sus escenarios las políticas de mitigación de los gases de efecto invernadero. De aplicarse esas políticas quizás tengan una repercusión positiva adicional sobre las opciones energéticas no fósiles, incluida la energía nuclear.

En general, el estudio del IPCC muestra que el futuro desarrollo de la energía nuclear no depende necesariamente de las consideraciones relativas al cambio climático, y que la opción nuclear se considera que sigue siendo una parte importante de la mezcla de energía, sin tener en cuenta las políticas de mitigación de los gases de efecto invernadero. Esos son importantes mensajes de un profundo estudio a largo plazo que comprende hasta el final del siglo XXI. □

COMPETITIVIDAD ECONOMICA DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA HACER DIANA EN BLANCOS MOVILES

POR HANS-HOLGER ROGNER Y LUCILLE LANGLOIS



La mayoría de los mercados mundiales de electricidad están tratando de aumentar su competitividad, impulsados en parte por la tecnología, los bajos precios del combustible y la experiencia de que los mercados competitivos son más rentables. En algunos mercados de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), la energía eléctrica se está vendiendo a 0,02 dólares de los Estados Unidos el kilovatio-hora (kWh) aproximadamente. ¿Puede la generación de energía nucleoelectrónica igualar esos precios? De no ser así, ¿puede lograrse que los iguale?

Actualmente, el negocio de las empresas eléctricas consiste en vender un producto (kWh) y servicios comerciales y no un bien estratégico. El exceso de capacidad, el lento crecimiento de la demanda y la reducción de los precios de los productos en los principales países industrializados han obligado a los generadores y los suministradores de energía a preocuparse más por los costos de sus operaciones y la rentabilidad de sus inversiones. Para sobrevivir y prosperar, esas empresas necesitan cada vez más de

un enfoque comercial orientado a la ganancia. Es más, necesitarán reducir sustancialmente los costos en los próximos años. La industria nucleoelectrónica no es la excepción.

¿Qué lugar ocupa la energía nucleoelectrónica en este entorno? La Sección de Estudios Económicos y Planificación del OIEA está realizando una serie de estudios precisamente sobre estas cuestiones, divididas en problemas que afectarán el futuro de la energía nucleoelectrónica a corto, medio y largo plazos, las cuales coinciden aproximadamente con cuestiones que afectan a las centrales existentes, las que son objeto de mejoras y prolongación de su vida útil o las nuevas. En general, los estudios demuestran que la energía nucleoelectrónica tiene posibilidades de ser competitiva en los tres mercados. Con todo, para lograrlo se requerirán cambios significativos por parte de la industria y sus órganos reguladores.

Este artículo se centra en la situación actual de los mercados de muchos países industrializados. Hay también varias lecciones que son aplicables a los países en desarrollo, particularmente en los casos en que se espera que la

financiación de los proyectos de energía eléctrica proceda de los mercados internacionales de capital. La situación general de los países en desarrollo es muy distinta ya que, por lo general, su capacidad de generación de electricidad sigue siendo escasa, y los ingresos necesarios para sufragar los gastos de generación y financiación plantean problemas fundamentales para la expansión futura de la capacidad. Como resultado, los precios competitivos tienen que reflejar no sólo los gastos de explotación, sino también los costos marginales a largo plazo.

CENTRALES NUCLEARES EN EXPLORACION

En el caso de las centrales nucleares que están en explotación y se acercan a la depreciación total, para lograr rentabilidad, los ingresos de la central sólo tienen que cubrir los gastos de explotación marginales. Por consiguiente, muchas centrales nucleares bien dirigidas gozan ahora de una ventaja en cuanto a los costos. Según informes, en los Estados Unidos, por ejemplo, más de las dos terceras partes de las unidades nucleares están produciendo energía por menos del

El Sr. Rogner es Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nucleoelectrónica del OIEA, y la Sra. Langlois es funcionaria de la Sección. Pueden solicitarse a los autores todas las referencias utilizadas para el artículo.

Foto: Las centrales nucleares generan una sexta parte de la electricidad del mundo.

promedio nacional, que es de unos 0,02 dólares el kWh.

Ahora bien, a medida que el costo medio de toda la generación disminuya, los explotadores de las centrales nucleares tendrán menos ventajas en materia de costos. Puesto que los márgenes de la corriente de efectivo neta convergen en condiciones de competencia, los explotadores nucleares tendrán que reducir los costos por unidad y aumentar aún más estos márgenes para poder sobrevivir.

La diferencia entre el éxito y el fracaso depende de diversos factores, que incluyen decisiones inteligentes acerca de la financiación y elección de la tecnología, y estimaciones acertadas del crecimiento de la demanda, junto con una buena gestión de la central que permita controlar los costos y mejorar la eficiencia. Así y todo, en última instancia, la variable más importante para la viabilidad económica es el costo marginal por kWh de generación, en comparación con el precio de mercado y el costo marginal de la generación rival.

Un generador de energía nucleoelectrica debe poder reducir los costos por unidad, especialmente los de explotación y mantenimiento, sin comprometer la seguridad, y lograr elevados niveles de disponibilidad de la central. La gestión deberá ser rigurosa en ambas esferas. En el último decenio, la mayoría de las centrales nucleares competitivas lograron ya mejoras significativas e incluso espectaculares en cuanto a disponibilidad, y reducciones igualmente significativas, o espectaculares, de los costos de explotación y mantenimiento. Los costos de explotación han descendido hasta en un 40%.

Los costos del cumplimiento de las reglamentaciones de seguridad han influido mucho en los costos de producción de energía nucleoelectrica. Al comenzar la liberalización del mercado de la electricidad, surgieron preocupaciones acerca de que la

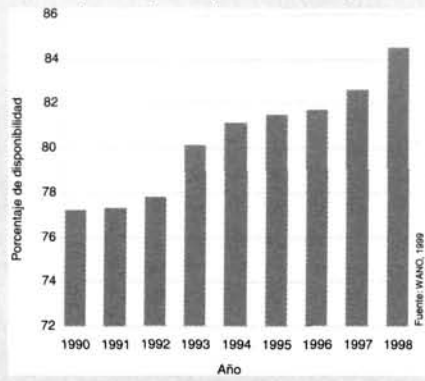
presión de la competitividad podría afectar negativamente la seguridad operacional. La experiencia ha demostrado que no ocurre necesariamente así. Estudios realizados en el Reino Unido y los Estados Unidos muestran una fuerte correlación entre las centrales nucleares comerciales de más éxito y las más seguras. En esos casos, no se ha comprometido la seguridad, sino que se ha hecho parte integrante de los requisitos comerciales de la central.

En realidad, la seguridad operacional nuclear tiene un fuerte elemento comercial: en los mercados privatizados para los directores es un incentivo enorme proteger los bienes productivos de sus accionistas. Reducir gastos en cuestiones relacionadas con la seguridad es costoso en términos comerciales, ya que los órganos reguladores de la seguridad nuclear obligarían a cerrar la central (por ejemplo, en 1997, en Ontario), con lo que se incurre en gastos sin obtener ingresos. Por otra parte, las centrales con una corriente de efectivo insuficiente no pueden financiar el mantenimiento, las reparaciones ni las mejoras necesarias, por muy relacionadas que estén con la seguridad. Los propietarios de las centrales no rentables las cierran, por seguras que sean.

CENTRALES NO TERMINADAS Y PROLONGACIONES DE LA VIDA UTIL

El envejecimiento del parque mundial de centrales nucleares y la posibilidad de prolongarles la vida útil son cuestiones de considerable interés. La terminación de centrales nucleares inconclusas o la prolongación de la vida de las que funcionan satisfactoriamente, puede ser una solución económicamente atractiva y práctica en comparación con la construcción de centrales

COMPORTAMIENTO DE LAS CENTRALES NUCLEARES EN EL DECENIO DE 1990
(porcentaje de disponibilidad media)



nuevas o la clausura de las viejas. No obstante, la decisión debe ponderarse objetivamente.

La decisión de completar un proyecto, renovar una licencia o prolongar la vida de una central nuclear en explotación depende de si el proyecto es o no beneficioso desde el punto de vista financiero. Esta evaluación financiera, en su forma más sencilla, es una comparación de sólo tres elementos: el valor neto actualizado de los costos de terminación comparado con el valor neto actualizado de la corriente de futuros ingresos que se prevé obtener cuando el proyecto esté completado (los ingresos de generación menos los costos, descontados de acuerdo con la estrategia empresarial), comparado con los costos del cierre de la central o de la detención de su construcción. Una vez computadas y comparadas esas cifras, la base para la decisión es más clara, aun en el caso de proyectos financiados por un gobierno o cuando la decisión que debe tomarse es "defensiva", o sea, escoger la opción con la que se pierda menos dinero.

Terminación de un proyecto. Es fácil suponer que la situación de un proyecto sea la base de la que se parta para decidir su terminación. Una central al 90% de su terminación se considera, por tanto, mejor candidata para la conclusión que otra que esté al 60%. Empero, pudiera haber poca correlación entre las estimaciones técnicas de la

terminación y los costos restantes, y estos últimos son los fundamentales para las decisiones futuras en materia de inversión. Una central terminada en el 90% no necesariamente tiene sólo el 10% de sus costos por pagar. Los costos de inversión restantes pudieran ser menores, y con sobrada frecuencia son mucho mayores, e incluso pueden exceder los ingresos previstos de la central terminada.

Cabe señalar que la paralización de un proyecto de construcción puede ser costosa, ya que en la mayoría de los contratos de construcción se prevén costos de cancelación o multas en caso de que se suspenda el proyecto. Completar el proyecto con pérdidas pudiera ser más barato que darlo por terminado. La situación es análoga cuando, sobre la base del valor neto actualizado, debe decidirse si una central nuclear en explotación ha de ser parada. La parada de una central acarrea muchos gastos y tal vez a la empresa le convenga más explotarla, aunque tenga pérdidas.

Prolongación de la vida útil. Este recurso entraña una posibilidad real de continuar utilizando la central nuclear de manera rentable a corto y medio plazos. La prolongación de la vida útil tiene varias ventajas importantes sobre la construcción de centrales nuevas.

En primer lugar, los costos de inversión para la prolongación de la vida útil no son insignificantes, pero sí inferiores a los que requiere una central nueva (nuclear o de otro tipo) y quizás sean sólo una fracción de ellos, en parte porque no se incurre en gastos como los de las obras civiles, la adquisición de tierras y la preparación del emplazamiento. Otra ventaja es que los costos de explotación ya son bajos, pues de lo contrario no se consideraría la posibilidad de prolongar la vida de la central. También debe satisfacerse plenamente el fondo de clausura de la central, lo que reduce aún más los costos de explotación. Por otra parte, las centrales a las que se

prevé prolongar la vida útil suelen tener pocas deudas, que se han amortizado en su mayor parte al momento de la renovación, y llevan asociada una corriente de ingresos con los que se reembolsan las obligaciones financieras contraídas en relación con la prolongación de la vida útil. Si los cálculos económicos son fiables, la financiación no debería representar un problema.

Una licencia para la prolongación de la vida útil también podría derivar en el aumento de la potencia y, por consiguiente, la adición efectiva de nueva capacidad. En muchas centrales se ha logrado aumentar la potencia en 10% y más. Esto es atractivo porque reduce los costos de generación.

La prolongación de la vida útil de las centrales nucleares también puede ser atractiva por motivos ambientales. Esto sucede cuando, en cumplimiento de las normas relativas a la contaminación atmosférica o de los compromisos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero no es aconsejable aumentar la generación en centrales alimentadas con combustibles fósiles.

Antes de decidir cualquier inversión deben tomarse todas las medidas posibles para reducir los costos de terminación previstos. De lo contrario se podría desvirtuar la decisión de inversión, se dificultaría más la financiación, y podría ser imposible comercializar la energía generada. Particularmente en los proyectos de terminación, en los que la experiencia previa con el control de los costos y la gestión de los riesgos probablemente no haya sido buena, los inversores deben tener garantías de un rendimiento con intereses, que podría entrañar el liberar al proyecto de deudas anteriores. Los contratos deben contener incentivos para evitar las demoras en la construcción, y la gestión de los costos de los materiales debe incluir el control de los inventarios, adquisiciones competitivas,

equilibrio entre los materiales importados y locales, y la garantía de que se utilicen los productos adecuados y más asequibles.

Mejoras en materia de seguridad. El mejoramiento de una central por motivos de seguridad podría ser esencial para continuar la explotación, ya sea con el fin de proteger los bienes o de proteger la licencia. Si el aumento de la seguridad no incrementa el producto ni los ingresos, tal vez los propietarios se vean obligados a hacer inversiones que no pueden esperar amortizar. Si el mejoramiento es indispensable para seguir contando con la aprobación regulatoria, hay que sopesar esas inversiones teniendo en cuenta los ingresos esperados y los costos de cierre de la central. Un análisis financiero del valor neto actualizado revelaría los beneficios económicos relativos de esas opciones.

CENTRALES NUCLEARES NUEVAS

La construcción de centrales nucleares nuevas puede costar de dos a cuatro veces más que la de centrales alimentadas con combustibles fósiles. Esto excluye el costo de los riesgos que influyen en la clasificación crediticia de un proyecto, como la no terminación, las fluctuaciones de los tipos de cambio o los sobrecostos. Con arreglo a las normas de inversión de la OCDE, ya se añade una prima de riesgo del 1% a las tasas de préstamos en todos los créditos de exportación de la OCDE que se relacionan con centrales nucleares. ¿Es posible reducir o prevenir suficientemente esos riesgos y costos de manera que la energía nucleoelectrónica pueda competir en los mercados de capital destinado a la financiación de nuevas centrales nucleares?

El éxito comercial es un blanco que se ha venido moviendo rápidamente con la caída de los costos de generación. En 1995, se consideraba que 0,043 dólares el kWh era el objetivo que debía alcanzar una central nuclear nueva

GASTOS DE CAPITAL Y TIEMPOS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS DIFERENTES OPCIONES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

| | Costo por kW _e instalado En \$ EE.UU. | Costo total para 1000-MW de capacidad En miles de millones de \$ EE.UU. | Período de construcción Años | Tamaño típico de la central MW | Costos típicos de las centrales listas para funcionar En miles de millones de \$ EE.UU. |
|-----------------------------|---|--|---------------------------------|-----------------------------------|--|
| Nuclear con LWR | 2100 - 3100 | 2,1 - 3,1 | 6 - 8 | 600 - 1750 | 1,5 - 4,2 |
| Mejores prácticas nucleares | 1700 - 2100 | 1,7 - 2,1 | 4 - 6 | 800 - 1000 | 1,3 - 2,1 |
| Carbón, pulverizado con ESP | 1000 - 1300 | 1,0 - 1,3 | 3 - 5 | 400 - 1000 | 0,5 - 1,3 |
| Carbón con FGD, ESP y SCR | 1300 - 2500 | 1,3 - 2,5 | 4 - 5 | 400 - 1000 | 0,6 - 2,5 |
| Gas natural con CCGT | 450 - 900 | 0,45 - 0,9 | 1,5 - 3 | 250 - 750 | 0,2 - 0,6 |
| Eólica | 900 - 1900 | 0,9 - 1,9 | 0,4 | 20 - 100 | 0,03 - 0,12 |

Notas: Todos los costos incluyen intereses durante la construcción. Los costos por kW_e instalado están calculados a una tasa de descuento del 10%. LWR= Reactor refrigerado con agua ligera; ESP= Precipitador electrostático; FGD= Desulfuración de los gases de combustión; SCR= Reducción selectiva catalítica; CCGT= Turbina de gas de ciclo combinado.

Fuente: OCDE, 1998.

para ser competitiva en los Estados Unidos. En 1998, los costos estimados tenían que ser inferiores a 0,03 dólares el kWh, si no había intervención del gobierno, para que la central fuera potencialmente rentable. El promedio ha bajado a 0,02 dólares en el año 2000, y, de no producirse incrementos sustanciales de la demanda de electricidad (necesidades de nueva capacidad) o aumentos de los precios de los combustibles fósiles, podría bajar más. Este descenso de los costos de generación no fue sólo resultado de la competencia, sino también de los bajos precios del combustible y de significativas mejoras del rendimiento térmico en las centrales alimentadas con carbón y con gas. El rendimiento térmico de las centrales de gas ha aumentado en mucho más del 50%.

Un estudio de los costos proyectados para la generación de electricidad (OCDE, 1998) muestra que los gastos de capital instalados de centrales nucleares nuevas en todo el mundo oscilan entre 1400 dólares y 2800 dólares el kW_e (a una tasa de descuento del 5%) y entre 1700 dólares y 3100 dólares el kW_e (a una tasa de descuento del 10%) incluidos los intereses durante la construcción. De acuerdo con estas comparaciones de costos, la energía nucleoelectrica es la opción menos costosa en seis países a una tasa de

descuento del 5%, y en dos países con un descuento del 10%.

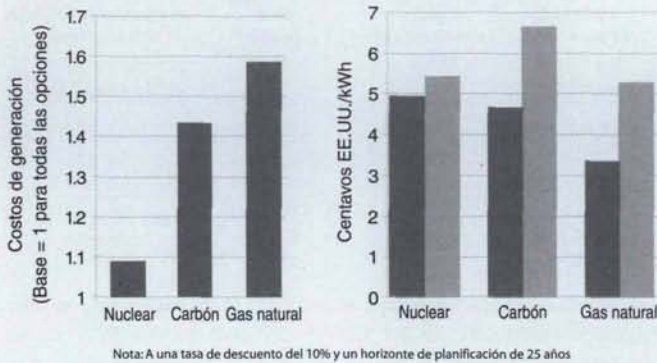
Las estructuras de costo de estas diferentes opciones de generación difieren en cuanto a sensibilidad. Debido a los elevados gastos de capital y los largos plazos de entrega, los costos de las centrales nucleares son muy sensibles a los tipos de interés. Los gastos de capital de las centrales de carbón varían mucho de acuerdo con el grado de disminución de la contaminación que se requiera. Los costos de la generación con gas son sumamente sensibles a los precios del gas, que constituyen una proporción relativamente alta de los costos totales. (*Véanse los gráficos.*) Si se considera una posible duplicación de los precios del combustible en el caso de la energía nucleoelectrica, los costos aumentan en menos del 10%, mientras que para la generación con gas natural experimentan un alza de casi 60%. La inclusión de la energía nucleoelectrica en la mezcla de generación de energía es una protección contra los precios del combustible y la inestabilidad de los tipos de cambio.

¿En las cambiantes circunstancias del mercado, se construirán centrales nucleares nuevas? La energía nucleoelectrica podría resultar demasiado cara y quedar excluida de futuros mercados a menos que la industria adopte medidas drásticas para reducir los

gastos de capital y los riesgos financieros de las nuevas centrales nucleares. La energía nucleoelectrica sí tiene claras ventajas, a saber, bajo costo del combustible, seguridad de los suministros, efectos ambientales mínimos, bajos costos externos y un significativo potencial de mitigación de los gases de efecto invernadero en el contexto del Protocolo de Kyoto. En los casos en que todavía los gobiernos escogen la tecnología, podrían decidirse por la nuclear debido a estas ventajas, pero sólo si no quedan anuladas a causa de los elevados gastos de capital y de generación y sus altos riesgos conexos.

Gastos de capital y riesgos. Las centrales nucleares nuevas a veces se clasifican en centrales de diseño evolutivo y de diseño revolucionario. El primero entraña modificaciones de los diseños existentes para mejorar la seguridad y los aspectos económicos. En esencia, las mejoras del diseño evolutivo son resultado del aprendizaje práctico sobre la base de experiencias anteriores. Así y todo, los diseños evolutivos tienen que probar que las modificaciones hechas darán por resultado reactores comercialmente competitivos (por ejemplo, el diseño podría perder atractivo si la reducción de gastos de capital específicos se debe al aumento del tamaño de la central y, por ende, a costos totales de

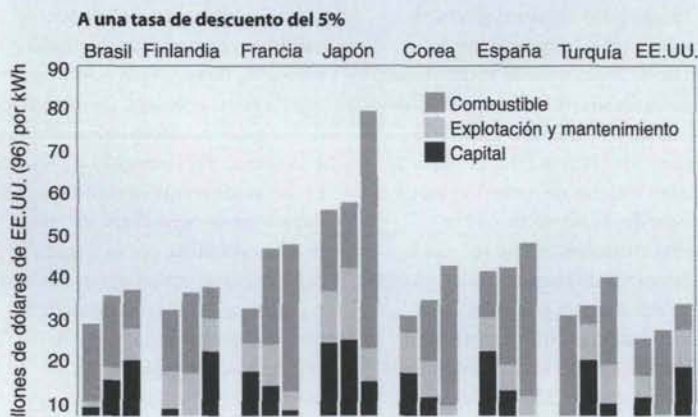
EFFECTO DE LA DUPLICACION DE LOS PRECIOS DEL COMBUSTIBLE SOBRE LOS COSTOS DE GENERACION



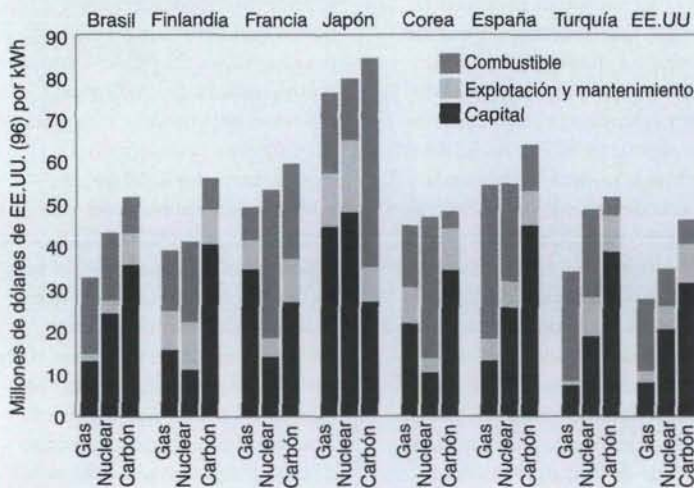
COSTOS DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD EN PAISES SELECCIONADOS

A una tasa de descuento del 5%

COSTOS DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD EN PAISES SELECCIONADOS



A una tasa de descuento del 10%



Fuente: OCDE

inversión más elevados que bien podrían exceder de los umbrales de riesgo de los accionistas).

Los diseños revolucionarios —es decir, diseños radicalmente nuevos que no tienen antecedentes comerciales— quizá ofrezcan más posibilidades para conseguir adelantos competitivos, sobre todo porque se pueden hacer para condiciones particulares del mercado. Además, también suelen ofrecer características de seguridad notablemente mejoradas.

Ahora bien, con excepción del desarrollo del reactor modular de lecho de bolas refrigerado por gas (PBMR) de Sudáfrica, y del reactor avanzado refrigerado con agua ligera (ALWR) de los Estados Unidos, en ningún diseño de reactor avanzado se ha definido como objetivo fundamental un reactor competitivo comercialmente que iguale y mejore los precios reinantes en el mercado, con mayor eficiencia, rentabilidad y rendimiento.

El desarrollo de la mayoría de los demás diseños de reactores avanzados, impulsado por el accidente de Three Mile Island en 1979, se concentra en mejorar la seguridad, aunque con una prima de costo. En el caso del reactor Sizewell-B del Reino Unido, uno de los más caros construidos hasta la fecha, se ha estimado que hasta el 20% del costo de inversión es atribuible a la seguridad “mejorada” de un reactor “mejorado”.

Los elevados costos de inversión son la mayor barrera para la financiación y construcción de nuevas centrales nucleares, y se estima que representan alrededor del 70% del costo total de generación. Conforme a las estimaciones actuales habría que reducir esos costos en 35% aproximadamente para que las centrales nucleares nuevas pudiesen competir con las centrales nuevas de carbón y de gas. Para lograr esos ahorros en los costos se requerirían algunas estrategias, entre ellas, reducir el costo del cumplimiento de los reglamentos de seguridad, y reducir las incertidumbres en

materia de reglamentación que están asociadas a las obligaciones posteriores a la explotación.

Las incertidumbres, los riesgos y las obligaciones son económicamente significativos porque acarrear un costo, a veces elevado, que se puede reducir o controlar. Es preciso estimarlos y tenerlos todos en cuenta, y son tan importantes para los inversores como el costo estimado de la generación. Por consiguiente, reducir las incertidumbres financieras será tan importante como reducir los costos nominales.

Las centrales nucleares nuevas presentan elevados riesgos financieros que no necesariamente son exclusivos de la energía nucleoelectrica y que incluyen los riesgos de la terminación, los relacionados con la regulación y la política, y los riesgos comerciales asociados a los cambios del mercado. Los inversores necesitarán obtener un elevado rendimiento sobre las inversiones para compensarlos. La gran incógnita respecto de la energía nucleoelectrica es si los precios del mercado les permitirán sufragar esas primas y aún así obtener ganancias.

Seguridad eficaz en función de los costos. En el diseño de centrales nucleares nuevas se insiste fundamentalmente en el aumento de la seguridad, y sus costos serán un factor significativo en toda decisión de invertir o no en la energía nucleoelectrica. Por consiguiente, mejorar la eficacia en función de los costos de esas inversiones relacionadas con la seguridad puede contribuir a la financiación de centrales nuevas. Aunque no se puede determinar con precisión qué parte de los costos totales corresponde a los costos de seguridad de las centrales nucleares nuevas, ésta es significativa; algunas estimaciones oscilan entre el 40% y el 60%.

Se están estudiando algunos enfoques para reducir los costos del mejoramiento de la seguridad en los nuevos diseños de reactores, muchos de los cuales incluyen

establecer una norma sin ninguna consecuencia significativa fuera del emplazamiento, incluso en los escenarios de los peores accidentes (en lugar de establecer requisitos y reglamentos de comportamiento para cada caso). Estos enfoques incluyen, entre otros:

- el uso de diseños de seguridad pasiva;
- la reducción del número de componentes y materiales sujetos a los requisitos de calidad de la "pureza nuclear", que en algunos componentes pueden añadir el 200% al costo de adquisición;
- el paso a reglamentos de seguridad bien fundados en cuanto a los riesgos; y
- la prescripción reglamentaria de los objetivos en lugar de los medios, lo que permite mayor flexibilidad en el cumplimiento.

En los últimos 20 años se han establecido algunos objetivos y requisitos de seguridad nuevos para las centrales nucleares, pero se ha prestado escasa atención a los costos y beneficios económicos, y a formas alternativas y quizás más rentables de lograr los objetivos de seguridad deseados. Este enfoque se vio alentado por el hecho de que la mayoría de las centrales nucleares eran explotadas en mercados monopolistas en que los costos podían compensarse con tarifas, de modo que no constitúan una preocupación fundamental. Pero los tiempos y los mercados han cambiado, y los criterios de regulación también deben cambiar a fin de poder hacer una definición más clara de la seguridad de una central y, al mismo tiempo, proporcionar flexibilidad para lograr este objetivo.

Los riesgos de seguridad asociados a las centrales nucleares actuales se han reducido ya a niveles muy bajos, mientras que los riesgos financieros asociados a la construcción de centrales nucleares nuevas son grandes y siguen aumentando. Los inversores examinarán a fondo las nuevas centrales y los nuevos diseños de centrales sobre la base de los análisis costo-beneficio y del valor

neto actualizado. Estos análisis se pueden utilizar para determinar las mejoras, cuyo costo más bajo podría ser aún muy elevado, que podría ser desproporcionado con respecto a los consiguientes beneficios en materia de seguridad o a los costos asociados a los riesgos que hay que reducir, y que podrían poner en peligro la viabilidad económica y financiera de la central. Para una empresa que vende energía en mercados cada vez más competitivos y conscientes de los costos, el costo neto de las medidas de seguridad --como todos los costos de generación-- es una preocupación crucial. También es importante a la hora de escoger las tecnologías nucleares frente a las no nucleares para la generación de electricidad.

Esta cuestión de la disminución de los rendimientos no es exclusiva de la seguridad nuclear, sino que de hecho rige la mayoría de las normas de protección ambiental y sanitaria. Por ejemplo, en la lucha contra la contaminación atmosférica, el costo de su eliminación entre el 90% y el 98% podría ser tolerable, pero el costo de eliminar el 2% restante es exorbitante en relación con los beneficios que se obtienen. Es preciso afirmar claramente que el nivel de gastos relacionados con la seguridad no da la medida del nivel de seguridad de una central. Lo que hay que lograr es reducir los costos de seguridad y, al propio tiempo, no comprometer la seguridad, sino mejorarla.

En este enfoque no se formulan juicios acerca de qué nivel de seguridad es apropiado, pero sí deben tomarse en consideración las consecuencias económicas, el análisis financiero de los requisitos de seguridad propuestos y un análisis de fondo de los costos y beneficios en la esfera de la seguridad.

Gestión de las obligaciones asociadas a la clausura y la disposición final de los desechos. El segundo impedimento más importante para la inversión en centrales nucleares nuevas es el de

las obligaciones posteriores a la explotación, a saber, los costos y riesgos asociados a la clausura y la disposición final de los desechos. En este caso, es preciso aplicar el análisis de las estimaciones de los costos técnicos y su financiación a la práctica de la gestión de las obligaciones.

Se cuenta con la técnica y la tecnología necesarias para ello. Los planes técnicos y las estimaciones de costos para la clausura y la disposición final de los desechos se han investigado minuciosamente y se actualizan periódicamente, sobre todo como base para velar por que se reserven suficientes fondos para sufragar el posible costo de estas operaciones. Además, las normas establecidas para esas actividades son buenas.

Con todo, las estimaciones actuales de los costos sin duda diferirán de los costos en que se incurrió en última instancia, ya que seguramente cambiarán las circunstancias en que se basó su predicción. Como ejemplo cabe mencionar la disponibilidad de instalaciones para la disposición final de desechos y las políticas que rigen su uso; el cierre prematuro de centrales; cambios en las normas de radiación permisibles para el vertido de materiales y los emplazamientos; políticas de regulación que influyen en aspectos económicos de las operaciones de las centrales, la clausura y la disposición final de los desechos; cambios en las normas tributarias y contables; y reestructuración, privatización o aumento de la competencia.

Dado que la clausura y la disposición final de desechos requieren largos plazos de ejecución, por lo general las empresas tienen tiempo para adaptarse a las circunstancias cambiantes, suponiendo que se cuente con técnicas y disposiciones para la gestión de los riesgos, y que haya flexibilidad para cambiar las estrategias adecuadamente. No cabe duda de que la clausura y la disposición final de los desechos

pueden lograrse y se lograrán. Las únicas incógnitas son el momento oportuno, las prioridades, los rendimientos y, por consiguiente, los costos, que en su mayoría escapan del control de los directores de las centrales nucleares. La decisión de cuán caros y eficientes han de ser la clausura y la disposición final de los desechos es básicamente política. La principal decisión que deben tomar los propietarios y los explotadores de centrales nucleares es cómo incorporar mejor las incertidumbres y reducirlas al mínimo.

Por consiguiente, lo que importa es cómo están preparadas las empresas para encarar el cambio imprevisto. Por lo general, la industria nuclear no está bien equipada en este sentido. Tampoco se examinan periódicamente las consecuencias económicas de los cambios en materia de regulación. En consecuencia, es probable que la industria y la sociedad incurran en ineficiencias y costos económicos significativos, y los riesgos financieros asociados a estas operaciones posteriores al cierre pueden aumentar de manera rápida y desenfrenada. La atención debe centrarse en la gestión eficiente de los costos y en el reconocimiento de los costos que entrañan la incertidumbre y los cambios políticos y de regulación.

Se requiere prudencia en vez de previsión: es necesario adoptar disposiciones estratégicas y financieras en relación con las incertidumbres políticas que inciden sobre las obligaciones posteriores a la explotación. La evaluación continua de los riesgos, vinculada al resultado neto de la empresa, junto con la adopción de disposiciones financieras prudentes para situaciones que pueden comprometer sus bienes o sus ingresos son estrategias habituales de gestión de los riesgos empresariales. Con todo, salvo escasas excepciones, esas técnicas no son habituales entre los propietarios de centrales nucleares

y los titulares de licencias de explotación.

La forma en que se gestionen los riesgos y los costos determinará con el tiempo qué tecnologías de generación se conservarán o se eliminarán gradualmente, se descartarán o no y se seleccionarán o no para centrales futuras. Los proyectos de alto costo y alto riesgo requerirán altos rendimientos. ¿Puede la industria nuclear costear las recompensas que se exigen en los mercados competitivos, o reducir los riesgos comerciales y financieros de los inversores a niveles asequibles? Estos objetivos son semejantes a los blancos móviles de un campo de tiro.

PREPARAR EL CAMINO

¿Cuál es, entonces, el futuro de la energía nucleoelectrónica? Cabe esperar que las centrales en explotación, que sean eficientes, prosperen. No se construirán nuevas centrales sin una iniciativa clara y firme de la industria nuclear en cuanto a cambiar los requisitos de diseño, la orientación comercial, y el contexto de regulación.

Si bien es cierto que la energía nucleoelectrónica ofrece muchos beneficios ambientales, sobre todo en lo tocante a reducir la contaminación atmosférica y las emisiones de gases de efecto invernadero, esos beneficios no bastan por sí solos para garantizar un futuro nuclear. Quienes cifren sus esperanzas de crecimiento nuclear en el Protocolo de Kyoto -- y pasen por alto las reformas -- estarán condenados a la desilusión. Por último, los encargados de trazar las políticas deben encarar la cuestión de la disposición final de los desechos, y estar dispuestos a dejar que la industria demuestre que dispone de la tecnología necesaria para la gestión de los desechos nucleares. Esto es indispensable para conformar las percepciones del público acerca de la seguridad de la disposición final de los desechos nucleares como proceso industrial. □

LA NECESIDAD DE GENERAR ENERGÍA NUCLEOELECTRICA

OPINION SOBRE EL INCIERTO FUTURO ENERGETICO DEL MUNDO

POR RICHARD RHODES Y DENIS BELLER

El mundo necesita más energía. La energía multiplica el trabajo humano y aumenta la productividad. Con ella se construyen e iluminan escuelas, se purifica el agua, se mueve la maquinaria agrícola, se hacen funcionar las máquinas de coser y las ensambladoras de robots, se almacena y se mueve información. La población mundial crece a un ritmo sostenido y en 1999 sobrepasó los seis mil millones de habitantes. Sin embargo, una tercera parte de ellos --es decir, dos mil millones de personas-- no tienen acceso a la electricidad. El desarrollo depende de la energía y si no hay desarrollo se padece: pobreza, enfermedades y muerte. Tales circunstancias crean inestabilidad y favorecen la violencia generalizada. Por tanto, la seguridad nacional exige que las naciones desarrolladas ayuden a aumentar la producción de energía en los países en desarrollo más populosos. En aras de la seguridad tecnológica y física, ese aumento en el suministro energético deberá proceder de diversas fuentes.

En un informe publicado en 1999 sobre la energía nuclear y el cambio climático, la Real Sociedad y la Real Academia de Ingeniería de Gran Bretaña calcularon que "en el plano mundial, cabe esperar que nuestro consumo de energía, al menos, se duplique en los próximos 50 años y crezca en un factor de hasta cinco en los 100 años siguientes, a medida que la población mundial crezca y las personas procuren aumentar su nivel de vida." Incluso con fuertes



medidas de conservación, habría que triplicar la producción energética mundial en el año

2050, a fin de sustentar el consumo en sólo una tercera parte del índice per cápita actual de los

El Sr. Rhodes es autor de The Making of the Atomic Bomb, Dark Sun y otros libros. El Sr. Beller es ingeniero nuclear y miembro del personal técnico del Laboratorio Nacional de Los Alamos, Estados Unidos.

El presente artículo se basa en el ensayo del autor publicado en Foreign Affairs, vol. 70, No. 1 (enero-febrero de 2000) y se publica aquí con la autorización de New York Times Syndicate.

Foto: Labores de mantenimiento en líneas de transmisión eléctrica en Indonesia.. (Cortesía: PNUD)

Estados Unidos. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) calcula un crecimiento del 65% de la demanda mundial de energía para el año 2020, dos terceras partes del cual tendría lugar en países en desarrollo.

La Real Sociedad y la Real Academia han advertido que "en vista de los probables niveles de consumo en el futuro, constituirá un inmenso desafío satisfacer la demanda mundial de energía sin ocasionar un daño no sostenible a largo plazo al medio ambiente". Ese daño incluye la contaminación superficial y atmosférica, así como el calentamiento de la Tierra.

CAMBIO INOCU PARA EL FUTURO

Actualmente, la mayor parte de la energía mundial se genera a partir de petróleo (39%), carbón (24%), gas natural (22%), energía hidroeléctrica (6,9%) y energía nucleoelectrica (6,3%). Si bien el petróleo y el carbón continúan siendo las fuentes principales, su participación en el mercado comenzó a disminuir hace decenios. Entre tanto, la participación del gas natural y la energía nucleoelectrica ha aumentado sostenidamente, y debe continuar aumentando.

Contrariamente a lo que afirman las organizaciones que se oponen a la opción nuclear, la energía nucleoelectrica no está muerta ni agonizante. Francia genera alrededor del 75% de su electricidad a partir de la energía nucleoelectrica; Bélgica, 58%; Suecia, 47%; Suiza, 36%; Japón, 36%; España, 31%; Reino Unido, 29%; y los Estados Unidos (el mayor productor de energía nuclear del mundo), 20%. La República de Corea y China han dado a conocer ambiciosos planes para ampliar sus capacidades de generación de energía nucleoelectrica; en el caso de la primera, construyendo 16 nuevas centrales que aumentarían la capacidad en más

del 100%. Con 433 reactores en explotación en todo el mundo, la energía nucleoelectrica satisface las necesidades anuales de electricidad de más de mil millones de personas.

En los Estados Unidos y en todo el mundo, la seguridad nuclear y el rendimiento de la energía nuclear han aumentado de manera notable desde 1990. En 1998 y 1999, el factor de capacidad por unidad (la fracción de la capacidad que una central eléctrica realmente genera) de los reactores en explotación alcanzó niveles históricos.

En 1999, el factor de capacidad medio en los Estados Unidos fue del 85% para unos 100 reactores, comparado con el 58%, en 1980, y el 66%, en 1990. A pesar de la reducción del número de centrales eléctricas, la industria nuclear estadounidense generó el 9% más de electricidad en 1999 que en 1998. Los costos de producción medios de la energía nuclear son hoy de sólo 1,9 centavos por kilovatio-hora (kWh), mientras la electricidad generada a partir de gas cuesta 3,4 centavos por kWh.

Sólo con el aumento de la capacidad y el rendimiento, la energía nucleoelectrica ha sido la industria estadounidense que más ha contribuido al cumplimiento de los compromisos contraídos por Estados Unidos en Kyoto de limitar las liberaciones de dióxido de carbono a la atmósfera. Entre tanto, los niveles de exposición de los trabajadores a las radiaciones y los desechos producidos por unidad de energía han descendido hasta límites no registrados hasta ahora.

Como las tecnologías más importantes y complejas demoran más de medio siglo para diseminarse por el mundo, el gas natural compartirá con la energía nucleoelectrica la supremacía en la generación de electricidad durante el próximo siglo. Queda aún por determinar cuál de las dos realizará la mayor contribución, pero ambas son fuentes menos contaminantes y más seguras que los combustibles que han comenzado a sustituir, y su predominio debe apoyarse.

Hasta los ambientalistas deberán acoger con agrado la transición y reconsiderar su propensión a las fuentes de energía renovables.

LA ENERGIA A PARTIR DEL CARBONO

Entre las fuentes generadoras de energía eléctrica, el carbón es la más nociva para el medio ambiente. (El petróleo, actualmente la principal fuente de energía, sustenta el transporte, y por ello se le coloca en una categoría aparte.) Estudios recientes realizados por la Facultad de Salud Pública de Harvard indican que los contaminantes procedentes de la quema del carbón provocan en los Estados Unidos solamente alrededor de 15 000 muertes prematuras al año. Utilizado para generar aproximadamente una cuarta parte de la energía primaria del mundo, la quema del carbón libera desechos tóxicos en cantidades tan grandes que no se pueden contener en condiciones de seguridad. Esos desechos se dispersan directamente en la atmósfera o se solidifican y se vierten. Parte de ellos se mezcla incluso con materiales de construcción.

Además de emitir productos químicos nocivos en forma de gases o partículas tóxicas --como óxidos de azufre y de nitrógeno (componentes de la lluvia ácida y del smog), arsénico, mercurio, cadmio, selenio, plomo, boro, cromo, cobre, flúor, molibdeno, níquel, vanadio, zinc, monóxido y dióxido de carbono, y otros gases de efecto invernadero-- las centrales eléctricas alimentadas con carbón son también la principal fuente mundial de liberaciones radiactivas al medio ambiente. Durante la quema del carbón, se emite uranio y torio, elementos ligeramente radiactivos que se encuentran en toda la corteza terrestre.

La extracción de carbón libera el gas radón radiactivo, resultado de la desintegración del uranio en la corteza terrestre y que además está normalmente bajo tierra. Una central eléctrica de 1000 megavatios

eléctricos (MWe) alimentada con carbón libera aproximadamente cien veces tanta radiactividad al medio ambiente como una central nuclear comparable. Las emisiones de uranio y torio a nivel mundial procedentes de la quema del carbón ascienden a un total de 37 300 toneladas (métricas) anuales, de las cuales los Estados Unidos aportan unas 7300 toneladas. Como el uranio y el torio son combustibles nucleares potentes, la quema del carbón también desecha más energía potencial que la que produce.

Los desechos radiactivos que se generan durante la quema del carbón y que no son tenidos en cuenta ponen de relieve las desventajas políticas a que la energía nucleoelectrica se tiene que enfrentar. A diferencia de las centrales de carbón, las leyes en vigor obligan a las centrales nucleares a invertir en costosos sistemas que limitan la liberación de radiactividad. El combustible nuclear no se recicla con eficacia en los Estados Unidos por temor a la proliferación. Esos factores han deformado la economía del desarrollo de la energía nucleoelectrica y creado un problema políticamente difícil respecto de la disposición final de los desechos. Si a las centrales de carbón se les obligara a incurrir en gastos similares, la generación de electricidad a partir del carbón dejaría de ser más barata que la de origen nuclear.

ENERGIA RENOVABLE: NUEVAS REALIDADES

Las fuentes de energía renovables --energía hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica y la biomasa-- acarrear altos costos de inversión de capital y consecuencias significativas, aunque generalmente no reconocidas, para el medio ambiente. La energía hidroeléctrica no es ni siquiera una verdadera fuente renovable, puesto que las presas se entarquinan con el tiempo. La mayoría de las fuentes renovables concentran una energía

extremadamente diluida, cuya concentración requiere grandes extensiones de tierra y masas de colectores. La fabricación de colectores solares, el vertido de hormigón para campos de molinos de viento y el anegamiento de muchas millas cuadradas de tierra detrás de las presas provocan daños y contaminación.

Las células fotovoltaicas que se utilizan para captar la energía solar son grandes semiconductores; en su fabricación se producen metales y disolventes residuales muy tóxicos, cuya disposición final exige una tecnología especial. Una central helioeléctrica de 1000 MWe generaría 6850 toneladas de desechos peligrosos sólo a partir de la transformación de metales durante un período de vida útil de 30 años. Para construir una central heliotérmica similar (con espejos dirigidos hacia una torre central) habría que utilizar metales que generarían 435 000 toneladas de desechos de fabricación, de los cuales 16 300 estarían contaminados con plomo y cromo y se considerarían peligrosos.

Un sistema de energía solar mundial consumiría, al menos, el 20% de los recursos mundiales de hierro conocidos. Además, se necesitaría un siglo para construirlo y una parte considerable de la producción mundial anual de hierro para mantenerlo. La energía necesaria para fabricar suficientes colectores solares, a fin de cubrir 500 000 millas cuadradas de la superficie terrestre y distribuir la electricidad mediante sistemas de transmisión a larga distancia agravaría en sí seriamente la carga mundial de contaminación y gases de efecto invernadero. Un sistema de energía solar mundial sin el apoyo de los combustibles fósiles o la energía nuclear también sería peligrosamente vulnerable a la disminución de la radiación solar debida a sucesos volcánicos como la erupción del Tambora, en 1815, que liberó 40 kilómetros cúbicos de ceniza a la atmósfera. Esa

ceniza redujo significativamente la radiación solar durante varios años, lo que provocó una falta generalizada de cultivos durante el siguiente "año sin verano".

Las granjas eólicas, además de necesitar millones de libras de hormigón y acero para su construcción (lo que crea enormes cantidades de materiales de desecho), son de bajo rendimiento y poca capacidad (por ser intermitentes). También ocasionan contaminación visual y acústica, y matan grandes cantidades de aves. Todos los años, una sola granja eólica de California causa la muerte de varios cientos de aves de presa, incluidas docenas de águilas reales; las turbinas eólicas han matado más águilas que las que perecieron en el desastroso derrame de petróleo del Exxon Valdez. La Sociedad Nacional Audubon ha iniciado una campaña para salvar al cóndor de California con la creación de una granja eólica que se prevé construir al norte de Los Angeles. Una granja eólica equivalente, en producción y capacidad, a una central de 1000 MWe alimentada con combustibles fósiles o una central nuclear necesitaría más de 4000 grandes molinos de viento, ocuparía desde varios cientos a mil millas cuadradas y produciría electricidad al doble o al triple del costo de los combustibles fósiles, incluso con subsidios considerables y sin tener en cuenta los costos ocultos de la contaminación.

Aunque ya se ha desarrollado al menos una cuarta parte de la capacidad potencial mundial de energía hidroeléctrica, ésta ha perdido, como es lógico, el respaldo de los ambientalistas en los últimos años, las presas que la producen inundan grandes extensiones de tierra, desplazan a poblaciones rurales, cambian la ecología de los ríos, causan la muerte de peces y están expuestas a un catastrófico derrumbe. El Banco de Exportación e Importación de los Estados Unidos

respondió en parte al cabildeo de los ambientalistas cuando rechazó financiar el proyecto chino de 18 000 MWe Tres Gargantas. De hecho, la generación de energía hidroeléctrica puede liberar a la atmósfera más gases de efecto invernadero que la generación a partir de combustibles fósiles: la vegetación sumergida en el agua embalsada detrás de muchas presas se descompone anaeróbicamente y libera abundantes cantidades de metano, gas, cuyo efecto invernadero es peor que el del dióxido de carbono.

Entretanto, las fuentes geotérmicas --que explotan el calor interno de la tierra que emana de las zonas de géiseres o de los volcanes-- son de por sí limitadas y en muchas ocasiones coincide en que son lugares pintorescos (como el Parque Nacional de Yellowstone, en los Estados Unidos) que los ecologistas desean naturalmente preservar.

Debido a esas y otras desventajas, organizaciones como el Consejo Mundial de Energía y la AIE han pronosticado que la generación de energía hidroeléctrica continuará teniendo no más de su actual participación del 6,9% en el suministro de energía primaria del mundo, mientras todas las demás fuentes renovables, aunque fuertemente subsidiadas, aumentarán su actual participación del 0,5% y se situarán entre el 5% y el 8% en el año 2020. En los Estados Unidos, principal generador de energía a partir de fuentes renovables en el mundo, esa producción en realidad descendió en 9,4% entre 1997 y 1998: la energía hidroeléctrica, en 9,2%; la geotérmica, en 5,4%; la eólica, en 50,5%; y la solar, en 27,7%.

Así pues, igual que el sueño de controlar la fusión termonuclear, la realidad de un mundo movido por una energía pura generada a partir de fuentes renovables continúa alejándose, a pesar de las costosas y muy subsidiadas actividades de investigación y desarrollo. En

1997, las inversiones federales de los Estados Unidos en actividades de I+D por cada mil kWh fueron de sólo 5 centavos para las esferas nuclear y del carbón, 58 centavos para el petróleo y 41 centavos para el gas, pero de más de 4 700 dólares para la energía eólica y 17 000 dólares para la fotovoltaica. Estas impresionantes inversiones públicas en las fuentes renovables habrían sido más provechosas de haberse realizado para reducir los efectos contaminantes de las centrales de carbón y los automóviles.

Según Robert Bradley, del Instituto de Investigación sobre la Energía, de Houston, en los Estados Unidos, las actividades relacionadas con la conservación y las fuentes de energía renovables distintas de la hidroeléctrica se han beneficiado de una inversión acumulativa de 20 años de los contribuyentes que fluctúa entre unos 30 y 40 mil millones de dólares, "los mayores gastos públicos en la esfera de la energía en tiempos de paz de la historia de los Estados Unidos." Además, Bradley estima que solamente con "los 5800 millones de dólares invertidos por el Departamento de Energía en los subsidios a las energías eólica y solar" se pudo haber sufragado "la sustitución de entre 5000 y 10 000 MWe de las centrales de carbón más contaminantes del país por unidades de ciclo combinado alimentadas con gas, que habrían reducido las emisiones de dióxido de carbono entre uno y dos tercios". La sustitución del carbón por la energía nuclear habría reducido aún más las emisiones totales.

A pesar de las grandes inversiones, las actividades en pro de la conservación y las fuentes renovables distintas de la energía hidroeléctrica continúan siendo pertinazmente no competitivas y contribuyen sólo de forma marginal al suministro energético de los Estados Unidos. Si la nación más próspera del mundo no puede darse ese lujo, ¿quién puede? China no; evidentemente,

espera generar menos del 1% de su energía comercial con fuentes renovables distintas de la energía hidroeléctrica en 2025. El carbón y el petróleo seguirán representando el grueso del suministro energético de China en ese año, a menos que los países desarrollados ofrezcan incentivos que convengan al país más poblado del mundo de cambiar sus planes.

COMPARACION DE LAS OPCIONES

El gas natural tiene muchas virtudes como combustible comparado con el carbón o el petróleo, y su participación en la generación de energía en el mundo sin duda aumentará en la primera mitad del siglo XXI. Sin embargo, su suministro es limitado y su distribución desigual; es caro como fuente energética comparado con el carbón o el uranio, y contamina la atmósfera. Una central de gas natural de 1000 MWe emite 5,5 toneladas diarias de óxidos de azufre, 21 toneladas de óxidos de nitrógeno, 1,6 toneladas de monóxido de carbono y 0,9 toneladas de partículas de materia. En los Estados Unidos, la producción de energía con gas natural liberó unos 5500 millones de toneladas de desechos en 1994. Los incendios y explosiones provocados por el gas natural también constituyen riesgos significativos. Un gasoducto de una milla de largo y tres pies de diámetro, con una presión de 1000 libras por pulgada cuadrada, contiene el equivalente de dos tercios de una kilotonelada de energía explosiva; un millón de millas de esos grandes gasoductos circunvalan la Tierra.

La gran ventaja de la energía nucleoelectrónica es que puede extraer una enorme cantidad de energía de un reducido volumen de combustible. La fisión nuclear, que transforma la materia directamente en energía, es varios millones de veces tan energética como la quema de productos químicos, que solamente rompe

los enlaces químicos. Una tonelada de combustible nuclear produce energía equivalente a entre 2 y 3 millones de toneladas de combustible fósil. La quema de 1 kg de leña puede generar 1 kilovatio-hora de electricidad; 1 kg de carbón, 3 kWh; 1 kg de petróleo, 4 kWh. Sin embargo, un kilogramo de combustible de uranio en un moderno reactor de agua ligera genera 400 000 kWh de electricidad, y si ese uranio se recicla, un kilogramo puede generar más de 7 000 000 kWh. Esas diferencias espectaculares en cuanto a volumen ayudan a explicar las enormes diferencias que existen entre el combustible nuclear y los combustibles fósiles desde el punto de vista de sus efectos en el medio ambiente. Para explotar una central eléctrica de 1000 MWe durante un año se necesitan 2000 vagones de carbón o 10 superpetroleros comparado con sólo 12 metros cúbicos de uranio natural. Por otra parte, las centrales alimentadas con combustibles fósiles, incluso las que tienen sistemas para controlar la contaminación, liberan miles de toneladas de gases nocivos, partículas y cenizas portadoras de metales pesados (y radiactivas), además de desechos sólidos peligrosos: hasta 500 000 toneladas de azufre del carbón, más de 300 000 toneladas del petróleo y 200 000 toneladas del gas natural.

En contraste, una central nuclear de 1000 MWe no libera gases nocivos ni otros contaminantes* y mucha menos radiactividad *per cápita* que la que liberan los aviones comerciales, un detector de humos casero o

**Hoy día, el uranio se refina y se convierte en conjuntos combustibles utilizando la energía del carbón que, desde luego, sí libera contaminantes. Si la energía nucleoelectrica se pudiera utilizar para calor industrial o si se reciclaran los conjuntos combustibles, esta fuente de contaminación industrial se eliminaría o reduciría considerablemente.*

un televisor. Produce unas 30 toneladas de desechos de actividad alta (combustible gastado) y 800 toneladas de desechos de actividad baja e intermedia, unos 20 metros cúbicos en total después de compactados (casi el volumen de dos automóviles). Todas las centrales nucleares en explotación en el mundo producen alrededor de 3000 metros cúbicos de desechos anualmente. En comparación, la industria estadounidense genera unos 50 millones de metros cúbicos de desechos sólidos tóxicos al año.

Naturalmente, los desechos de actividad alta son muy radiactivos (los desechos de actividad baja pueden ser menos radiactivos que la ceniza de carbón, que se utiliza para hacer hormigón y yeso, ambos se agregan a algunos materiales de construcción). No obstante, gracias a su pequeño volumen y a que no son liberados al medio ambiente, esos desechos de actividad alta pueden ser cuidadosamente aislados tras barreras múltiples. Los desechos generados por el carbón, diseminados por el paisaje en forma de humo o enterrados a poca profundidad, conservan su toxicidad siempre. Los desechos nucleares radiactivos se descomponen de manera sostenida y pierden el 99% de su toxicidad después de transcurridos 600 años, lo que es bien conocido dada la experiencia humana en materia de cuidado y mantenimiento, como lo prueban, por ejemplo, las estructuras del Panteón romano y la Catedral de Nuestra Señora.

La disposición final de los desechos nucleares constituye un problema político en los Estados Unidos debido a un temor generalizado que no guarda proporción con el riesgo real. Sin embargo, no es un problema técnico, como lo demuestran los proyectos avanzados de Francia, Suecia y el Japón. Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación atmosférica bajo techo y al aire libre ocasiona unos

tres millones de muertes cada año. Sustituir enormes y dispersas cantidades de desechos tóxicos generados por los combustibles fósiles por volúmenes de desechos nucleares pequeños y debidamente contenidos mejoraría de manera tan evidente la salud pública que resulta sorprendente que los médicos aún no hayan exigido esa conversión.

El costo de producción de la electricidad de origen nuclear generada en las actuales centrales estadounidenses ya es totalmente competitivo comparado con la electricidad generada con combustibles fósiles, aunque la energía nucleoelectrica producida con nueva tecnología es algo más costosa. No obstante, ese aumento del precio es engañoso. Las grandes centrales nucleares requieren mayores inversiones de capital que centrales de carbón o gas similares, sólo porque a las centrales nucleares se les exige establecer y mantener costosos sistemas para evitar la emisión de radiactividad al medio ambiente.

Si a las centrales alimentadas con combustibles fósiles se les exigiera igualmente aislar los contaminantes que generan, su costo sería mucho más elevado que el de las centrales nucleares. La Unión Europea y el OIEA han determinado que "para cantidades equivalentes de energía generada, las centrales de carbón y petróleo... debido a sus grandes emisiones y enormes necesidades de combustible y transporte, registran los costos externos y las pérdidas en vidas humanas equivalentes más elevados. Los costos externos son unas diez veces mayores que los de las centrales nucleares y pueden representar una fracción significativa de los costos de generación". En cuanto a las pérdidas en vidas humanas equivalentes por gigavatio generado (es decir, reducción de la esperanza de vida a causa de la exposición a contaminantes), el carbón causa la muerte a 37 personas anualmente; el petróleo a 32; el gas a 2 y la

energía nucleoelectrónica a 1. Es decir, comparados con la energía nucleoelectrónica, los combustibles fósiles (y las fuentes renovables) han gozado de libertad respecto de la protección del medio ambiente, la salud pública y la seguridad.

Incluso la estimación de la pérdida de una vida a causa de la energía nucleoelectrónica es debatible. Esa estimación depende, como se afirma en la vieja teoría del "modelo lineal sin umbral" (LNT), de si la exposición a las radiaciones en cantidades considerablemente menores que los niveles de radiación natural existentes anteriormente aumenta o no el riesgo de cáncer. Aunque la mencionada teoría impone regímenes de confinamiento complejos y costosos para las operaciones de las centrales nucleares y la disposición final de desechos, no existen pruebas de que la exposición a la radiación de bajo nivel aumente el riesgo de cáncer. De hecho, existen pruebas válidas de que no es así. Existen incluso pruebas suficientes de que la exposición a dosis bajas de radiactividad mejora la salud y prolonga la vida, probablemente al estimular el sistema inmunológico de manera muy similar a como lo hacen las vacunas (el mejor estudio, sobre los niveles de radiactividad de fondo del radón en cientos de miles de hogares en más del 90% de los condados de los Estados Unidos, descubrió una disminución significativa en los índices de cáncer del pulmón con el aumento de los niveles de radón entre fumadores y no fumadores). De manera que la radiactividad de bajo nivel procedente de la generación de energía nucleoelectrónica representa, en el peor de los casos, un riesgo insignificante. Las autoridades encargadas de las cuestiones relacionadas con la geología y la ingeniería del carbón argumentan lo mismo sobre la radiactividad de bajo nivel que genera la quema del carbón; por ejemplo, en un resumen analítico de US

Geological Survey se concluye que "los elementos radiactivos contenidos en el carbón y la ceniza volante no deben motivar alarma". No obstante, el desarrollo de la energía nucleoelectrónica se ha visto obstaculizado, y la disposición final de los desechos nucleares innecesariamente demorada, por limitaciones no impuestas a la industria del carbón.

Ningún sistema tecnológico es inmune a los accidentes. Los rebosamientos y roturas ocurridos recientemente en presas de Italia y la India provocaron varios miles de muertes. En los accidentes de las minas de carbón, los incendios en centrales alimentadas con petróleo y con gas y las explosiones en los gasoductos y oleoductos normalmente mueren cientos de personas. El desastre de 1984 ocurrido en la planta de productos químicos de Bhopal ocasionó la muerte inmediata a unas 3000 personas y el envenenamiento a varios cientos de miles. Según el Organismo para la Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, entre 1987 y 1996, más de 600 000 liberaciones accidentales de productos químicos tóxicos ocasionaron la muerte en los Estados Unidos a un total de 2565 personas y 22 949 resultaron lesionadas.

En comparación, los accidentes nucleares han sido pocos y de mínimas consecuencias. El reciente y muy comentado accidente ocurrido en Japón se produjo en una instalación de procesamiento de combustible para un reactor de investigación y no en una central eléctrica. No ocasionó muertes ni lesiones al público. La explosión de Chernóbil se debió a un error humano al operar un reactor de diseño intrínsecamente defectuoso, al cual no se le hubiera otorgado licencia en Occidente. Ese accidente provocó daños severos a los seres humanos y al medio ambiente localmente, incluidas 31 muertes, la mayoría a causa de la exposición a las radiaciones.

El cáncer de la tiroides, que pudo haberse evitado mediante una rápida profilaxis con yodo, ha aumentado entre los niños ucranianos expuestos a la precipitación radiactiva. Se han diagnosticado más de 800 casos y se prevén varios miles más; aunque la enfermedad es susceptible de tratamiento, ya han fallecido tres niños. Los cálculos realizados sobre la base del LNT prevén 3420 muertes por cáncer entre los residentes de la zona de Chernóbil y el personal de los equipos de limpieza. El reactor de Chernóbil carecía de una estructura de contención, sistema de seguridad esencial que se exige en los reactores de Occidente. Los cálculos realizados después del accidente indican que esa clase de estructura habría confinado la explosión y, por consiguiente, la radiactividad, por lo que no habría habido ni lesionados ni muertos.

Esas cifras, correspondientes al peor accidente en la historia de la energía nucleoelectrónica, son notablemente bajas comparadas con importantes accidentes en otras industrias. Más de 40 años de operaciones comerciales con la energía nucleoelectrónica demuestran que ésta es mucho más segura que los sistemas basados en combustibles fósiles desde el punto de vista de los accidentes industriales, daño al medio ambiente, efectos en la salud y riesgo a largo plazo.

REEVALUACION DEL RECICLADO

Casi todo el uranio utilizado en los reactores nucleares es inerte, producto no fisionable inutilizable para armamentos. Sin embargo, los reactores en explotación producen plutonio fisionable que pudiera utilizarse en bombas, por lo que la comercialización de la energía nucleoelectrónica ha despertado preocupaciones acerca de la proliferación de los armamentos. En 1977, el Presidente Carter pospuso indefinidamente el reciclado del

combustible nuclear "gastado", aduciendo riesgos de proliferación. Esa decisión puso fin, en efecto, al reciclado nuclear en los Estados Unidos, aun cuando esa práctica reduce el volumen y la radiotoxicidad de los desechos nucleares y pudiera prolongar por miles de años los suministros de combustible nuclear. Otras naciones evaluaron los riesgos de manera diferente y la mayoría no siguió el ejemplo de los Estados Unidos. Francia y el Reino Unido actualmente reprocessan el combustible gastado; Rusia acumula el combustible y el plutonio separado para la arrancada de futuros ciclos de combustible de reactores rápidos; el Japón ha comenzado a utilizar uranio reciclado y combustible de mezcla de óxidos de plutonio (MOX) en sus reactores y recientemente aprobó la construcción de una nueva central nuclear que utilizará únicamente combustible de MOX en el año 2007.

Aunque, en teoría, el plutonio procedente de los reactores de potencia puede utilizarse para fabricar explosivos nucleares, el combustible gastado es refractario, altamente radiactivo y su procesamiento no está al alcance de los terroristas. Las armas fabricadas con plutonio de calidad apropiada para reactores serían calientes, inestables y de resultados inciertos. La India ha extraído plutonio apto para armamentos de un reactor de agua pesada canadiense, y prohíbe la inspección de algunos reactores de doble finalidad que ha construido. Sin embargo, nunca se ha desviado plutonio de las instalaciones de reprocesamiento británicas o francesas ni nunca se han producido embarques de combustible para la producción de armas; las inspecciones del OIEA son eficaces para evitar esos desvíos. El Organismo ha llegado a la conclusión de que el riesgo de la proliferación "no se ha eliminado completamente y no llegará a eliminarse aun cuando

la energía nucleoelectrónica dejara de existir. Un régimen de no proliferación cada vez más fuerte seguirá siendo la piedra angular de los esfuerzos encaminados a impedir la proliferación de las armas nucleares".

Irónicamente, enterrar el combustible gastado sin extraerle el plutonio mediante su reprocesamiento en realidad aumentaría el riesgo de proliferación nuclear a largo plazo, dado que la desintegración de los isótopos menos fisionables y más radiactivos del combustible gastado después de uno a tres siglos aumentan las cualidades explosivas del plutonio que contiene, y su atractivo para su uso en armamentos. Además de prolongar casi indefinidamente los recursos mundiales de uranio, el reciclado posibilitaría convertir el plutonio en energía útil a la vez que lo va descomponiendo hasta convertirlo en desechos nucleares inocuos, no fisionables y de período más corto.

Cientos de toneladas de plutonio de calidad apropiada para armamentos, cuya producción cuesta a las superpotencias nucleares miles de millones de dólares, se han convertido en excedentes militares durante los últimos diez años. En vez de enterrarse parte de ese material estratégicamente preocupante, pero valioso desde el punto de vista energético --como Washington ha propuesto-- debe reciclarse y convertirse en combustible nuclear. Un sistema internacional para el reciclado y la gestión de ese combustible impediría la proliferación encubierta. Como previeron Edward Arthur, Paul Cunningham y Richard Wagner del Laboratorio Nacional de Los Alamos, esa clase de sistema combinaría el almacenamiento recuperable con la fiscalización internacional, el procesamiento de todo el plutonio separado en combustible de MOX para reactores de potencia, y, a más largo plazo, para reactores avanzados integrados de

procesamiento de materiales que recibirían, controlarían y procesarían todo el combustible procedente de los reactores de todo el mundo, generarían electricidad y reducirían el combustible gastado a desechos nucleares de período corto preparados para su almacenamiento geológico permanente.

LA PROXIMA NOVEDAD

Se necesitará una nueva generación de centrales eléctricas modulares pequeñas --que pueda competir con el gas natural y estén diseñadas para garantizar la seguridad, impedir la proliferación y facilitar el funcionamiento-- a fin de extender los beneficios de la energía nucleoelectrónica a países en desarrollo más pequeños que carecen de una infraestructura nuclear. El Departamento de Energía ha asignado fondos para tres diseños de las mencionadas centrales de "cuarta generación". Eskom, central eléctrica sudafricana, ha anunciado sus planes de comercializar un reactor modular de lecho de bolas refrigerado por gas que no requiere sistemas de refrigeración de emergencia del núcleo y físicamente no pueden "fusionarse". Eskom estima que el reactor producirá electricidad a un costo aproximado de 1,5 centavos el kWh, y que es más barata que la electricidad producida por una planta de gas de ciclo combinado. El Massachusetts Institute of Technology y el Idaho National Engineering and Environmental Laboratory trabajan en un diseño similar destinado a suministrar calor a alta temperatura para procesos industriales como la generación de hidrógeno y la desalación.

El petróleo se utiliza hoy fundamentalmente en el transporte, pero el motor de combustión interna ha sido perfeccionado hasta el máximo. Sólo será posible alcanzar mayores reducciones de la contaminación ocasionada por el transporte, abandonando el petróleo y creando sistemas



energéticos no contaminantes para autos y camiones. La recarga de las baterías de los autos eléctricos tan sólo transferirán la contaminación de una fuente móvil a una centralizada, a menos que la fuente centralizada de electricidad sea nuclear. Las pilas de combustible, cuya comercialización ya está próxima, pueden ser una mejor solución. Como estas pilas de combustible generan electricidad directamente de combustibles gaseosos o líquidos, pueden ser reabastecidas en uso, de manera muy similar a como lo son hoy los motores de combustión interna. Cuando funcionan con hidrógeno puro, las pilas de combustible sólo producen agua como desecho. Como el hidrógeno puede obtenerse del agua utilizando calor o electricidad, es posible prever una infraestructura energética con un efecto contaminante mínimo utilizando el hidrógeno generado por la energía nucleoelectrónica en el transporte, la electricidad de origen nuclear y el calor para procesos industriales para la mayor parte de las demás aplicaciones, y el gas natural y los sistemas de fuentes renovables como sistemas de apoyo.

Un compromiso de tal magnitud con la energía nucleoelectrónica no sólo podría detener, sino, a la larga, incluso revertir la continua acumulación

del carbono en la atmósfera. Entre tanto, las pilas de combustible que utilicen gas natural pudieran reducir significativamente la contaminación atmosférica.

ENERGÍA PARA EL FUTURO

A fin de satisfacer las crecientes necesidades mundiales de energía, en el informe de la Real Sociedad y de la Real Academia se propone “crear un órgano internacional para las actividades de investigación y desarrollo de la esfera de la energía, financiado mediante donaciones de los países sobre la base del PIB o del consumo nacional total de energía”, que sería “un organismo de financiación que respaldaría las actividades de investigación y desarrollo, así como a los encargados de las demostraciones en otros lugares y no un centro de investigación en sí”. Su presupuesto pudiera llegar a un nivel anual de aproximadamente 25 000 millones de dólares, “casi el 1% del presupuesto mundial total para la energía”. Si en realidad desea desarrollar suministros energéticos de alto rendimiento y en forma responsable, dicho órgano deberá concentrarse en la opción nuclear, en establecer un sistema internacional y seguro de almacenamiento y reprocesamiento del combustible nuclear, así como en proporcionar conocimientos especializados para seleccionar el emplazamiento,

financiar sistemas modulares de energía nucleoelectrónica en los países en desarrollo, y otorgarles licencias.

Según Arnulf Gruebler, Nebojsa Nakicenovic y David Victor, quienes estudian la dinámica de las tecnologías energéticas, “la participación de la energía suministrada por electricidad aumenta con rapidez en la mayoría de los países y en el mundo entero”. A lo largo de su historia, la humanidad ha descarbonizado de forma gradual sus principales combustibles, abandonando decididamente las fuentes ricas en carbono más contaminantes. Así, el mundo ha pasado del carbón (que tiene un átomo de hidrógeno por átomo de carbono y predominó desde 1880 hasta 1950) al petróleo (que tiene dos átomos de hidrógeno por uno de carbono y ha predominado desde 1950 hasta hoy). El gas natural (cuatro átomos de hidrógeno por uno de carbono) aumenta constantemente su participación en el mercado. No obstante, la fisión nuclear no produce carbono alguno.

La realidad física --no los argumentos sobre la codicia empresarial, los riesgos hipotéticos, la exposición a las radiaciones o la disposición final de los desechos-- debe tomarse como base para adoptar decisiones cruciales para el futuro del mundo. Debido a que la diversidad y la redundancia son importantes para la seguridad tecnológica y física, las fuentes de energía renovables deben mantener un lugar en la economía energética del próximo siglo. Sin embargo, la energía nucleoelectrónica debe ser fundamental. A pesar de su historial destacado, ha sido relegada en cambio por sus opositores a la misma nebulosa zona de polémicos conflictos ideológicos que el aborto y la evolución. Merece algo mejor. La energía nucleoelectrónica es inocua para el medio ambiente, práctica y costeable. No constituye un problema, sino que es una de las mejores soluciones. □

Foto: Central nuclear de Forsmark (Suecia). Cortesía: Göran Hansson

DESARROLLO FUTURO DE REACTORES NUCLEARES Y CICLOS DEL COMBUSTIBLE NECESIDAD DE INNOVAR

POR D. MAJUMDAR, J. KUPITZ, H. ROGNER, T. SHEA, F. NIEHAUS Y K. FUKUDA

Parece inevitable que el desarrollo y el crecimiento demográfico mundiales puedan poner a prueba la habitabilidad de la Tierra según avance el siglo. Sobre todo, urge cada vez más cubrir las crecientes necesidades de electricidad y agua mediante formas que protejan el medio ambiente.

En los últimos 50 años, la energía nuclear dejó de ser un nuevo adelanto científico para convertirse en una fuente de energía importante de las diversas fuentes utilizadas en más de 30 países. Durante 1999, diecisiete países dependieron de la energía nucleoelectrica para satisfacer el 25%, o más, de sus necesidades de electricidad. Al mismo tiempo, cada vez más países muestran interés en desarrollar y demostrar las diversas aplicaciones de la energía nuclear, como, por ejemplo, el uso de reactores para la desalación del agua de mar.

Dadas estas circunstancias, cabría prever que se observara una tendencia ascendente en la generación de energía nucleoelectrica. Pero, ése no es el caso, y es incierta la futura contribución de la energía nucleoelectrica a la solución de los problemas que supone el desarrollo energético sostenible. El panorama mundial es diverso: no se están construyendo nuevas centrales nucleares en Europa occidental y América del Norte. Sin embargo, en varios países de Asia y en regiones de Europa oriental, la energía nucleoelectrica sigue creciendo.

Los principales factores de la diversidad de este panorama son las preocupaciones y percepciones erróneas relacionadas con tres tipos de problemas temáticos:

- la seguridad tecnológica y física;
- la vinculación entre la energía nucleoelectrica y las armas nucleares;
- los aspectos ambientales y económicos de la energía nucleoelectrica y su ciclo del combustible.

Para que la energía nucleoelectrica pueda contribuir de manera significativa a satisfacer la demanda de energía futura, deben solucionarse estos problemas temáticos. En realidad, la aceptación de la energía nucleoelectrica como opción energética futura dependerá del éxito con que se apliquen las soluciones a los problemas que se enfrentaron durante la implantación de la energía nuclear en el siglo XX.

Cada problema temático puede abordarse desplegando actividades en tres esferas interdependientes.

■ **Tecnología.** Las características de la tecnología misma son, en gran medida, determinantes de

los aspectos clave de la seguridad tecnológica y física; de la no proliferación y de los factores ambientales y económicos.

■ **Marco jurídico e institucional.**

Los contratos comerciales, las leyes, las regulaciones, los tratados y las convenciones intergubernamentales establecen las normas básicas que influyen en el desarrollo y la utilización de la energía nucleoelectrica.

■ **Supervisión y controles.** Los controles que ejercen los propietarios y explotadores de las instalaciones nucleares, los gobiernos locales y nacionales, las organizaciones regionales e internacionales, así como grupos de ciudadanos interesados, sirven para velar por que se establezca y mantenga la estructura de supervisión requerida para las operaciones nucleares.

En cada una de estas tres esferas interdependientes se han adoptado y se seguirán adoptando diversas medidas; de hecho, en los últimos cincuenta años se creó una industria que ha utilizado provechosamente la energía nuclear, hasta el punto que, en la actualidad, ésta satisface la sexta

El Sr. Majumdar es un experto de los Estados Unidos de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del Departamento de Energía Nuclear del OIEA, y el Sr. Rogner es Jefe de la Sección.

El Sr. Kupitz es Jefe de la Sección de Desarrollo de la Tecnología Nucleoelectrica del Departamento y el Sr. Fukuda es Jefe de la Sección del Ciclo del Combustible y de Materiales Nucleares del Departamento. El Sr. Shea es Jefe de la Oficina de la Iniciativa Trilateral del Departamento de Salvaguardias del OIEA.

El Sr. Niehaus es Jefe de la Sección de Evaluación de la Seguridad del Departamento de Seguridad Nuclear del OIEA.

parte de las necesidades mundiales de electricidad. Ese logro es significativo.

No obstante, los problemas de hoy día son diferentes de los afrontados en los últimos decenios, y varían considerablemente según las regiones del mundo. Estos problemas son especialmente difíciles en los países en desarrollo que necesitan la electricidad para aliviar la carga de la pobreza y satisfacer las necesidades humanas básicas que plantea el desarrollo sostenible. Es preciso hacer más para ayudar a los países en desarrollo interesados en adoptar la opción nuclear para generar electricidad.

Entre los medios disponibles para encarar las dificultades inherentes a cada uno de los tres problemas temáticos, muy pocos pueden ser objeto de mejoras sencillas o a corto plazo. Ellos requerirán esfuerzos sostenidos durante mucho tiempo, y una cooperación que permita encontrar soluciones innovadoras convincentes respecto de las principales interrogantes, preocupaciones y percepciones erróneas.

Teniendo en cuenta la situación energética y las exigencias del desarrollo sostenible mundiales, el fortalecimiento de las bases que permitan ampliar la aportación potencial de la energía nucleoelectrica al suministro de electricidad debe ser un objetivo principal. Esas medidas pueden adoptarse en el marco de programas coherentes que aborden las tecnologías, los marcos jurídicos e institucionales y los sistemas de supervisión necesarios para obtener el apoyo político y del público.

A lo largo de su existencia, el OIEA ha contribuido de manera decisiva al establecimiento y a la coordinación de las actividades internacionales relacionadas con aplicaciones de la energía nuclear con fines pacíficos. En momentos en que la energía nucleoelectrica se encuentra en la encrucijada

de su desarrollo futuro, las actividades del Organismo en las esferas de la energía nucleoelectrica y del ciclo del combustible han cobrado más importancia. En el presente artículo se pasa revista a la situación mundial en el contexto de los grandes retos actuales y se analiza la necesidad de adoptar medidas coordinadas y a largo plazo, esenciales para asegurar progresos en el desarrollo de la energía nucleoelectrica en los inicios del siglo. A medida que se amplíe el mercado mundial de la energía, la energía nuclear podrá aumentar su aportación a la generación de electricidad, así como a usos finales no eléctricos de la energía, mediante la diversificación de las aplicaciones en diferentes campos.

LA SITUACION MUNDIAL

La contribución de la energía nuclear a los suministros de energía futuros depende de varios factores decisivos. El grado de compromiso mundial con las estrategias energéticas sostenibles y el reconocimiento del papel que desempeña la energía nuclear en las estrategias sostenibles repercutirán en su uso futuro. Una tecnología de eficacia comprobada, la competitividad económica, los acuerdos financieros y la aceptación del público, son otros factores clave que influyen en las decisiones de construir nuevas centrales. La percepción del público sobre las opciones energéticas y otras cuestiones ambientales conexas, así como la información al público y su educación, también desempeñarán una importante función. La continua vigilancia durante la explotación segura de las centrales actuales es otro factor importantísimo para preservar las posibilidades de la energía nucleoelectrica, a fin de contribuir a las estrategias energéticas futuras.

En esencia, para enfrentar los problemas relacionados con

la energía nucleoelectrica, es preciso realizar actividades de investigación y desarrollo en las esferas científica y técnica, no sólo para perfeccionar la actual tecnología de los reactores nucleares y del ciclo del combustible, sino también para desarrollar reactores y ciclos del combustible nuevos e innovadores, que sean resistentes a la proliferación, y logren mayor rendimiento con menos costo y márgenes elevados de seguridad.

Siete esferas temáticas. Las perspectivas mundiales de la energía nucleoelectrica pueden describirse atendiendo a los siete temas siguientes.

Tecnología. La tecnología nucleoelectrica ha venido desarrollándose durante cinco decenios. En los años sesenta, comenzaron a hacerse numerosos pedidos de centrales nucleares comerciales, y su explotación amplia con fines comerciales comenzó en el decenio de 1970. En la actualidad, la energía nucleoelectrica suministra alrededor del 6% al 7% de la energía primaria mundial. La mayoría de las centrales nucleares en explotación han tenido un buen comportamiento y siguen mejorándose.

Sin embargo, se han enfrentado problemas en varios campos y, en algunos casos, se procedió a la parada o la terminación prematuras de las centrales, pero éstas nunca funcionaron. Las construcciones iniciales alcanzaron su punto máximo en el decenio de 1970, y las conexiones a la red, en los años ochenta; en ambos casos, los niveles actuales son muy inferiores a los logrados anteriormente.

Hoy día, puede considerarse que las actividades relacionadas con el desarrollo de la tecnología de la industria de la energía nucleoelectrica tienen lugar en el marco de las tres categorías generales siguientes:

■ **Instalaciones comerciales** actualmente en explotación. Mejoras introducidas en el mantenimiento, las operaciones, el apoyo técnico, el suministro de combustible y la prolongación de la vida útil.

■ **Diseños evolutivos.** Mejoras logradas en el diseño y explotación para su implantación futura a cercano plazo, que entrañan cambios discretos respecto de las instalaciones comerciales actualmente en explotación.

■ **Diseños innovadores.** Avances logrados en el diseño y explotación, que entrañan cambios de envergadura respecto de las instalaciones comerciales actualmente en explotación, con vistas a su futura implantación a largo plazo.

En años recientes, en varios países, se ha generado un sinnúmero de ideas relacionadas con nuevos diseños de reactores de potencia y de ciclos del combustible. Algunos de esos diseños podrían rejuvenecer la energía nucleoelectrica, pero sólo si se desarrollan y se prueba su eficacia en condiciones que fomenten su éxito y conduzcan a la consecución de sus objetivos comerciales. El tiempo de ejecución de una innovación nuclear es largo. Se prevé que el desarrollo y las pruebas de un nuevo concepto de reactor nuclear requerirán entre 15 y 20 años, lo que dependerá del apoyo político permanente y la disponibilidad de suficientes recursos. Puede que transcurra mucho más tiempo para que pueda seleccionarse y probarse el candidato más prometedor que se convierta en el instrumento que permita la sustancial ampliación de la energía nucleoelectrica. Es preciso adoptar medidas energéticas para mantener y ampliar los necesarios conocimientos especializados adquiridos.

Seguridad. El elevado margen de seguridad nuclear actual se ha logrado mediante continuas mejoras, basadas en la

acumulación de experiencias a escala mundial. Las medidas de seguridad se han introducido, por lo general, atendiendo al criterio de que sean "razonablemente posibles", como se señala en *La seguridad de las instalaciones nucleares* de la Colección Seguridad del OIEA. Algunos países aplican el análisis costo-beneficio convencional para tomar decisiones sobre las mejoras. En caso de incertidumbre, deben adoptarse decisiones conservadoras. Dado el alto nivel de rendimiento actual y futuro del soporte físico (hardware), es preciso hacer hincapié en la gestión de la seguridad operacional.

Existe un amplio consenso internacional, que incluye a las autoridades reguladoras y a la industria, sobre las metas de seguridad en relación con los reactores futuros. El Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear (INSAG) las ha recomendado y requieren, básicamente, aumentar la seguridad de las futuras centrales nucleares en un factor de diez, en comparación con las metas fijadas para los reactores existentes (es decir, metas anuales de 10^{-5} para la frecuencia de daño en el núcleo y 10^{-6} para las grandes liberaciones radiactivas en el caso de las centrales futuras). En el INSAG-12 se afirma que "otro objetivo de las centrales nucleares futuras es la eliminación práctica de las secuencias de accidentes que podrían dar lugar a grandes liberaciones de radiactividad tempranas, mientras que durante el proceso de diseño se considerarían los accidentes graves que podrían entrañar fallos de contención tardíos, aplicando hipótesis realistas y el análisis de la estimación óptima, para que sus consecuencias sólo requieran medidas de protección limitadas en cuanto a superficie y tiempo".

Sin introducir cambios en la tecnología, esas mejoras aumentarían el costo de la energía

nucleoelectrica, tanto en gastos de capital como en gastos de explotación. Por ende, el reto en relación con el desarrollo y la demostración de las centrales futuras está en cómo aumentar la seguridad hasta esos ambiciosos niveles, y reducir al mismo tiempo los costos para poder competir en el mercado de la energía.

Lógicamente, no se trata, en principio, de un imposible. El aumento simultáneo de la seguridad operacional y del rendimiento económico de la tecnología ha sido siempre una de las principales fuerzas propulsoras de la inventiva y la innovación técnicas.

En los diseños evolutivos se estudian las formas de aumentar la seguridad que, en lo referente al soporte físico, incluye el uso de tecnología de control moderna, la simplificación de los sistemas de seguridad, el empleo de diseños avanzados y la ampliación de los plazos de respuesta requeridos para hacer funcionar los sistemas de seguridad y la acción del explotador. Respecto del soporte lógico (software), con esas soluciones puede aliviarse la carga de tener que demostrar el cumplimiento de los requisitos. Asimismo, el aumento de los conocimientos técnicos y el perfeccionamiento de los códigos de computadoras contribuyen a que las operaciones sean seguras. Otro aspecto es la "adopción de decisiones racionales sobre los riesgos", con objeto de centrar las actividades en cuestiones de seguridad importantes; ello podría traducirse en el establecimiento de requisitos más estrictos, en algunos casos, y más flexibles, en otros. También se presta atención a la simplificación del proceso de concesión de licencias y al aumento de su previsibilidad.

En los diseños innovadores se hace un uso aún mayor de las características que aumentan la seguridad inherente. Los diseños tratan de demostrar, en particular, que los diseños avanzados o las

nuevas características pueden obviar la necesidad de usar determinados sistemas de seguridad que los reactores actuales requieren; estos sistemas no se necesitarían en lo absoluto o sólo se necesitarían para proteger las inversiones de la central, y no la salud ni la seguridad del público. En ese caso, el equipo podría incluso estar instalado; pero no tendría que cumplir las funciones esenciales de seguridad, lo que hoy día aumenta su costo significativamente. Esos diseños también reducirían sensiblemente los esfuerzos necesarios para formular medidas de gestión de accidentes y adoptar medidas de preparación para emergencias.

Seguridad física. Medidas de protección adecuadas y un marco internacional sólido son indispensables para impedir la posesión no autorizada de materiales nucleares y otros materiales radiactivos peligrosos, y prevenir la destrucción deliberada de instalaciones nucleares o la dispersión intencional de esos materiales durante su transporte.

Gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos. Este tema sigue preocupando al público. El déficit de capacidad para el almacenamiento del combustible gastado es un gran problema en varios países. Al mismo tiempo, el combustible gastado tendrá que ser almacenado durante más tiempo en el mismo emplazamiento, debido a la falta de una instalación de disposición final. Como no se ha podido demostrar la posibilidad de instalación permanente para la disposición final, las preocupaciones se han multiplicado, y creado incertidumbres respecto de la explotación futura, reduciendo aún más el apoyo del público, la disposición política y la viabilidad financiera. Los conceptos innovadores de los ciclos del combustible nuclear que entrañan nuevas tecnologías pueden ayudar a mitigar la carga ambiental reduciendo el volumen y la toxicidad de los dese-

chos nucleares para aumentar la seguridad, la resistencia a la proliferación y la rentabilidad de la energía nucleoelectrica.

No proliferación. La posibilidad de un vínculo potencial entre la energía nucleoelectrica y las armas nucleares es fundamental para el régimen internacional de no proliferación y constituye la base de las salvaguardias del OIEA. Se sabe que quince Estados han creado métodos de enriquecimiento del uranio y, aunque hoy en día el reprocesamiento químico se realiza en un solo Estado que no posee armas nucleares, persiste la preocupación de que las operaciones nucleoelectricas actuales y futuras podrían fomentar y proporcionar tecnologías esenciales relacionadas con la adquisición de armas nucleares.

A raíz de los sucesos ocurridos en el Iraq y la República Popular Democrática de Corea, el régimen de no proliferación internacional se ha ampliado y fortalecido, e incluye la disposición de los Estados a abstenerse de ayudar a los proliferadores potenciales a adquirir tecnologías y conocimientos especializados clave, el control sobre los proveedores de materiales, instalaciones y equipo delicados y el fortalecimiento de las salvaguardias del OIEA, sobre todo en relación con la capacidad de esos Estados para detectar operaciones de enriquecimiento y reprocesamiento no declaradas. Todo Estado que actualmente emprenda un programa que esté dirigido a adquirir armas nucleares encontraría obstáculos mucho mayores contra la ayuda internacional, tendría muchas más posibilidades de ser detectado antes de que ese programa pudiera tener éxito, y existirían más probabilidades de que se adopten medidas concertadas contra la proliferación, en caso de que se revelara dicho programa.

Economía. La tendencia mundial a la supresión de

reglamentaciones y al aumento de la competencia en la generación de electricidad --junto con el mantenimiento de los precios bajos de los combustibles fósiles y el suministro excesivo de la capacidad de generación de la carga básica en los países desarrollados-- ha afectado la ampliación de las centrales nucleares. Aunque la mayoría de las existentes son rentables, se están haciendo muy pocos pedidos de nuevas centrales.

En muchas regiones del mundo, la disponibilidad de gas natural barato y avances decisivos en materia de tecnología de turbinas de gas, así como los progresos realizados en las tecnologías del carbón, han restado atractivo económico a las centrales nucleares nuevas en países que no tienen fácil acceso al gas natural ni al carbón, o que asignan gran importancia a la seguridad energética.

Los estudios realizados por la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), así como en los Estados Unidos y el OIEA, han demostrado que debido a la elevada rentabilidad y los correspondientes períodos de reembolso cortos que suelen preverse hoy, las centrales nucleares nuevas tendrán dificultades para ser competitivas en regiones que tienen fácil acceso al gas, o reservas nacionales de carbón. Los elevados gastos de capital iniciales y los relativamente largos plazos de construcción, han neutralizado con creces la ventaja de los costos del combustible nuclear. Actualmente pueden construirse algunos sistemas de gas natural con un costo de capital mucho menor que el de una central nuclear equivalente y en un plazo de menos de la tercera parte. Por tanto, se prevé que, a cercano plazo, la capacidad de energía nucleoelectrica crecerá solamente en el limitado número

de países que carecen de recursos energéticos autóctonos o infraestructuras de gas natural.

Aceptación política y del público. Si bien los reactores nucleares de potencia existentes funcionan en condiciones fiables y seguras, surgen preocupaciones y se tienen percepciones erróneas cuando la seguridad depende de complejos sistemas técnicos y de los conocimientos del personal que los opera. Pese a la elaboración de diseños evolutivos, cuyas características de seguridad han sido mejoradas respecto de las centrales existentes, en muchos países ha disminuido el apoyo a la energía nucleoelectrica. Es preciso desplegar mayores esfuerzos para comunicar, de manera más eficaz, los progresos que se están haciendo y fomentar la comprensión del público en cuanto a la energía nucleoelectrica en el contexto de la demanda mundial de energía, los sistemas energéticos comparativos y los entornos regulatorios y tecnológicos en que funcionan los sistemas de generación de electricidad.

NECESIDAD DE INNOVAR

A más largo plazo, la situación del mercado energético mundial sigue siendo incierta. No obstante, en numerosos análisis, incluida la reciente Declaración del Consejo Mundial de Energía, se apoya energicamente la necesidad de mantener la energía nucleoelectrica como opción. (Véase el artículo conexo de la página 2.) El continuo crecimiento demográfico y de la demanda de energía, sobre todo en los países en desarrollo, junto con el aumento de la experiencia y los conocimientos sobre el fenómeno del cambio climático mundial, subrayan la necesidad a nivel mundial de establecer acelerada y ampliamente centrales alimentadas con combustible no fósil para generar electricidad.

En marzo de 2000, el Grupo Intergubernamental de Expertos

sobre el cambio climático (IPCC) aprobó un informe especial sobre escenarios de emisión (SRES) para el período que termina en el año 2100. Esos escenarios prevén una gran demanda de tecnologías energéticas libres de carbono en el período posterior a 2020.

Las proyecciones de la implantación de la energía nuclear son, por lo general, bastante amplias. En los escenarios se prevé una participación de la energía nuclear variable, pero se señalan, invariablemente, grandes posibilidades de que la energía nuclear crezca, de los 350 GWe actuales a entre 2000 GWe y 5000 GWe en 2050, y de 3500 GWe a 10 600 GWe en 2100. (Véase el artículo conexo de la página 31.) En esencia, el nivel de la capacidad para 2050 en esos escenarios se traduce en aumentos de la capacidad de energía nucleoelectrica mundial de 50 GWe a 150 GWe anuales desde 2020 hasta 2050.

Teniendo en cuenta los retos ya mencionados, es difícil prever que la capacidad de la energía nuclear se multiplique por cinco o por diez sobre la base únicamente de las tecnologías evolutivas existentes. Es preciso llevar a cabo actividades de I+D innovadoras, que garanticen la plena participación de la energía nucleoelectrica en el mercado energético mundial del futuro. Examinemos los aspectos siguientes:

■ **Costo.** Es necesario aumentar la competitividad nuclear en un mercado energético sin reglamentaciones, sobre todo en regiones que tienen fácil acceso al gas y/o a pequeñas redes de distribución locales, y para aplicaciones nucleares no eléctricas.

■ **Compatibilidad de la infraestructura.** De acuerdo con las proyecciones, el futuro aumento de la demanda de electricidad tendrá lugar mayormente en países que no están muy familiarizados con la energía nucleoelectrica. No todos ellos pueden desarrollar con

rapidez la infraestructura necesaria para la explotación de reactores y los servicios de la etapa inicial y de la parte final del ciclo del combustible nuclear. Asimismo, en el plano local, el examen de la seguridad y los requisitos para la concesión de licencias con vistas a la construcción y explotación de las centrales, deben ser viables a un costo razonable.

■ **Seguridad.** Gracias a las actividades de investigación y desarrollo en curso, se aumenta aún más la seguridad de los reactores futuros. Uno de los objetivos es la conveniente eliminación de las secuencias de accidentes que podrían provocar grandes emisiones de radiactividad tempranas. A fin de reducir los costos, ello requiere soluciones innovadoras que aumenten la seguridad simplificando los sistemas y haciendo un mejor uso de los diseños y las características de seguridad avanzadas.

■ **Salvaguardias.** El gran aumento del número de centrales nucleares en el mundo y el consiguiente incremento de la cantidad de plutonio en el combustible gastado, son motivos de preocupación en relación con las salvaguardias del OIEA. Sin embargo, más aún lo serían la propagación del enriquecimiento del uranio crítico y las tecnologías de extracción de plutonio.

Los costos de las inspecciones requeridas para tener suficientes garantías de seguridad de que los Estados siguen cumpliendo sus compromisos de no proliferación, varían mucho según la tecnología empleada: si la línea de base es un reactor de agua ligera, los trabajos de inspección de un reactor de potencia en servicio son aproximadamente cinco veces mayores, los de una planta de enriquecimiento de uranio diez veces mayores y los de una planta de procesamiento químico 100 veces mayores.

En los diseños de los reactores y en los ciclos del combustible

TECNOLOGÍAS INNOVADORAS RELACIONADAS CON EL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

| Atributo | Proceso y sistema | Países interesados | Características |
|--|---|----------------------------|--|
| Composición y Proceso del combustible | Piroproceso | Japón, Rusia, EE.UU. | El volumen de desechos nucleares es menor y la instalación de procesamiento es más sencilla que para el proceso en condiciones de humedad (se prevén ventajas económicas y ambientales). |
| | Combustible vibrocompactado | Rusia, Suiza | La partícula combustible se produce directamente a partir de una solución ácida derivada del reprocesamiento (se prevén ventajas económicas en comparación con la tecnología a base de polvo). |
| | Sistema DUPIC | Canadá, República de Corea | El plutonio no se separa del combustible gastado del PWR (se prevé resistencia a la proliferación) |
| | Combustible de torio (torio-uranio, torio-plutonio) | India, EE.UU. | El recurso de torio es abundante. El combustible con composición de torio-uranio genera menos actínidos inferiores (MA) que el combustible de uranio-plutonio. |
| | Combustible de matriz inerte | Francia, Japón, Suiza | Debido al óxido químicamente estable, el combustible gastado se considera como una forma de desecho (mitigación ambiental). |
| Sistema de partición y transmutación (P-T) | Sistema acondicionado por aceleradores | Francia, Japón, EE.UU. | Los neutrones de alta energía producidos destruyen los MA, los productos de fisión de período largo (LLFP). El núcleo subcrítico aumenta la seguridad. |
| | Sistema de P-T con reactor rápido (FR) | Japón, Rusia | La tecnología de FR actual se aplica para destruir los MA y los LLFP. |
| Sistema de reactor | Reactor rápido de plomo (+bismuto) | Rusia | La seguridad aumenta con el uso del refrigerante de plomo. |

deben procurarse innovaciones que permitan ampliar sustancialmente la energía nucleoelectrica, y, al mismo tiempo, reducir al mínimo el acceso a los materiales nucleares en formas de fácil empleo en armas nucleares u otros dispositivos explosivos nucleares, y a las tecnologías que propician su producción.

■ Disponibilidad de recursos.

A la larga, los recursos de uranio convencionales pueden llegar a ser demasiado costosos para respaldar un gran aumento de la energía nucleoelectrica mundial sólo sobre la base de los reactores térmicos tradicionales. Para estimar

y satisfacer las necesidades futuras debe elaborarse un plan amplio.

Esas son las principales razones que explican la necesidad de trabajar en diseños de reactores y ciclos del combustible innovadores, así como en los reactores evolutivos.

ACTIVIDADES DE I+D INNOVADORAS

Diseños de reactores innovadores.

En la actualidad, el 40% de las centrales nucleares en construcción (23% de toda la capacidad en construcción), principalmente en los países en desarrollo, se clasifican en pequeñas (menos de 300 MWe)

y medianas (menos de 700 MWe). Esas centrales incorporan las tecnologías básicas de las centrales nucleares actuales de gran tamaño. Los reactores evolutivos más pequeños (como el AP-600, el VVER-640, el PHWR-500 y el CANDU-6) también se basan en las centrales existentes.

Empero, la industria nuclear y los países que creen en los beneficios generales, la viabilidad y la importancia de la energía nucleoelectrica a largo plazo han reconocido la necesidad de una labor innovadora de I+D. Hoy día, se lleva a cabo una importante labor de I+D en materia de conceptos innovadores de

REACTORES NUCLEARES PEQUEÑOS Y MEDIANOS EN DESARROLLO A ESCALA MUNDIAL

En varios países, se diseñan y desarrollan reactores nucleares pequeños :

- **Carem-25**, reactor de agua a presión de 25 MWe, en desarrollo en la Argentina. Este reactor se diseña con un generador de vapor integral que podría acoplarse al proceso de desalación.
- **KLT-40**, reactor de agua a presión de 40 MWe, en desarrollo en la Federación de Rusia. El diseño de este reactor es una versión, montada en una barcaza, de un reactor pequeño que se utiliza en los rompehielos para la generación de electricidad y de calor en la región septentrional de Siberia.
- **PBMR**, reactor de alta temperatura de 114 MWe, en desarrollo en Sudáfrica. Este reactor modular de lecho de bolas refrigerado por gas se desarrolla con un ciclo abierto del combustible y características de seguridad avanzadas, debido al uso de partículas combustibles revestidas de cerámica con alta capacidad calorífica.
- **SMART**, reactor de agua a presión de 100 MWe, en desarrollo en la República de Corea. El diseño conceptual de este reactor está casi terminado y tiene un generador de vapor integral para aplicaciones múltiples, incluida la desalación del agua de mar.
- **NHR-200**, reactor de agua a presión de 200 MWt, en desarrollo en China, donde también se proyecta, para 2001, la criticidad inicial de un reactor pequeño de alta temperatura, de 10 MWt, para aplicaciones no eléctricas.
- **AHWR**, reactor de agua pesada de 235 MWe, en desarrollo en la India. Es un reactor avanzado de tubo vertical que utilizaría combustible con base de torio e incorporaría características refrigerantes pasivas.
- **GT-MHR**, reactor refrigerado por gas de 285 MWe, en desarrollo mediante actividades conjuntas de Estados Unidos, Federación de Rusia, Francia y Japón.

reactores y del ciclo del combustible nuclear en varios países, incluidos la Argentina, Canadá, China, Estados Unidos, Francia, India, Italia, Japón, República de Corea, Rusia y Sudáfrica. (Véanse el cuadro y el recuadro)

La atención se ha centrado en el desarrollo de reactores pequeños y medianos, que tienen diversas combinaciones de relativa simplicidad de diseño, economía de producción en gran escala, reducción de los costos de selección del emplazamiento, núcleos de período largo, telemando prácticamente automático, mantenimiento centralizado y servicios de reabastecimiento de combustible. Rusia ha realizado demostraciones

de la explotación comercial de reactores pequeños para la generación de calor y electricidad en zonas distantes. En 1999, los Estados Unidos tuvieron la iniciativa de realizar investigaciones en materia de energía nuclear para elaborar conceptos avanzados de reactores y del ciclo del combustible, y de hacer grandes avances científicos en la tecnología nuclear para vencer los obstáculos al crecimiento del uso de la energía nuclear.

En muchos países se estudian diseños innovadores para desarrollar unidades más pequeñas, que requieren plazos de construcción más cortos y menores gastos de capital. La finalidad de estos estudios es crear

un diseño económico con mejores características de seguridad y de resistencia a la proliferación. No son meras versiones reducidas de diseños antiguos. La construcción en el emplazamiento con estructuras y componentes de fabricación industrial, incluidas las unidades modulares completas para la instalación acelerada son algunas de las características deseadas en estos reactores. Asimismo, se espera que estas unidades sean más fáciles de financiar y adecuadas para implantar, incluso en regiones con modestas redes de distribución de electricidad.

Desde la perspectiva de la innovación, cabe mencionar dos tecnologías de reactores avanzados no refrigerados por agua: los reactores de gas a alta temperatura de ciclo directo y los reactores rápidos enfriados por plomo/plomo-bismuto. El reactor modular de lecho de bolas refrigerado por helio (PBMR), de 114 MWe, de Sudáfrica, ha sido objeto de la atención mundial porque, según se afirma, tiene las características deseadas (incluida la competitividad en el mercado). Los rusos también han hecho afirmaciones similares en cuanto a su reactor rápido enfriado por plomo, aunque es de mayor tamaño.

Todos esos reactores ofrecen perspectivas alentadoras de mitigar algunas preocupaciones respecto del desarrollo de la energía nucleoelectrica. Seleccionar los que ofrezcan las mejores posibilidades para el desarrollo y la demostración en el futuro será importante.

Ciclos del combustible nuclear innovadores. Desde que el desarrollo de la energía nucleoelectrica se inició en los años sesenta, el proyecto del ciclo del combustible cerrado con reactores reproductores se consideró la mejor opción para la implantación de la energía nuclear en gran escala. Sin embargo, en la actualidad es necesario innovar

para afrontar una serie de problemas derivados de la no proliferación, la mitigación ambiental, la economía y la necesidad de aumentar la seguridad tecnológica y física.

Las características de los ciclos del combustible nuclear innovadores previstos pueden definirse en relación con diversos objetivos:

- La competitividad económica de los ciclos del combustible.
- La reducción al mínimo de los desechos radiactivos.
- La promoción de los objetivos de la no proliferación, a saber, que los materiales nucleares no puedan adquirirse ni transferirse con facilidad para fines no pacíficos.
- El aumento adicional de la seguridad mediante procesos tecnológicos.

Aunque en la actualidad no se ejecutan programas en gran escala relacionados con los ciclos del combustible nuclear innovadores, muchos países que tienen programas nucleoelectrónicos realizan investigaciones sobre esos ciclos.

Por otra parte, parece que todos esos conceptos de ciclos del combustible dan la esperanza de aliviar, al menos, algunas preocupaciones relacionadas con el desarrollo nuclear. Será preciso garantizar el cumplimiento de los objetivos generales del perfeccionamiento de la energía nucleoelectrónica, y, en última instancia, concentrarse en los ciclos del combustible que eliminen o mitiguen en la mayor medida posible las reocupaciones.

Si bien los actuales programas de I + D innovadores tienen algunos objetivos comunes, sus enfoques y objetivos específicos difieren. Como resultado existe una amplia variedad de conceptos de reactores y de ciclos del combustible. En algunos programas se analizan con una nueva perspectiva conceptos antiguos cuando las mejoras en cuanto a materiales y otras tecnologías los hacen hoy viables.

En otros, se trata de introducir sistemas innovadores en sustitución de otros más convencionales, a fin de lograr mejoras considerables. No obstante, en otros se ha decidido estudiar opciones completamente nuevas.

Las actividades de I+D innovadoras abarcan hoy prácticamente todos los principales tipos de ciclos del combustible nuclear y de centrales nucleares --reactores de agua ligera, reactores de agua pesada, reactores refrigerados por gas y reactores de metal líquido-- y también se estudian otros tipos. Un análisis mundial de las actividades de I+D innovadoras indica que existen entre 40 y 50 conceptos diferentes en desarrollo. Algunos se encuentran en las fases iniciales de diseño conceptual, otros están más avanzados, en la fase de diseño básico, y en unos cuantos se procede a la construcción de prototipos o unidades de demostración.

Asimismo, en esferas fundamentales como la seguridad, la gestión de desechos, la no proliferación, el consumo de recursos y los tipos de aplicaciones de la energía existe una mayor diversidad de requisitos. Por ejemplo, en la esfera económica, aunque todos los conceptos tratan de ser competitivos en el mercado energético del futuro, hay diferentes opiniones en cuanto a si deben llegar a ser competitivos o no teniendo en cuenta la introducción potencial de impuestos sobre las emisiones de CO₂ y los aumentos de los precios del combustible fósil. En vista de esas incertidumbres, la energía nucleoelectrónica debe aspirar a ocupar el lugar que le corresponde.

En la esfera de la seguridad, algunos creen que los actuales reactores de agua ligera avanzados son suficientemente seguros para desarrollarlos en gran escala, porque permiten adoptar el

enfoque del buen vecino (ninguna emisión de radiactividad considerable fuera del emplazamiento, ni siquiera en caso de un accidente grave). Otros insisten en que el público aceptará la implantación de la energía nuclear en gran escala, sólo si se presenta un nuevo tipo de reactor sin fallos del combustible significativos, como a veces se alega respecto de reactores modulares de alta temperatura.

En la esfera de la gestión de desechos, algunos opinan que la disposición final subterránea directa del combustible gastado es una opción suficientemente segura y que para garantizar la aceptación del público, sólo se requiere su demostración práctica. Otros insisten en que es necesario eliminar nucleidos nucleares peligrosos de período largo, mediante el quemado o la transmutación para aumentar el apoyo del público a la implantación de la energía nuclear en gran escala. Existen diferentes opiniones acerca de cuáles elementos peligrosos deberán eliminarse, y en qué grado. La posibilidad de recuperar el combustible gastado constituye igualmente otro problema.

En la esfera de la no proliferación, algunos proponen elaborar conceptos especiales de reactores y ciclos del combustible "resistentes a la proliferación" (nuevos tipos de combustible, nuevas tecnologías de reprocesamiento sin la extracción de plutonio, nuevos conceptos de reactores rápidos y otros), con mayor dependencia de las características técnicas intrínsecas para el caso de desviación de materiales nucleares. Empero, los investigadores no han llegado a un consenso en cuanto a cómo medir el grado de "resistencia a la proliferación" y hasta qué punto debemos aumentar nuestra dependencia de las medidas técnicas.

La comunidad nuclear debe encontrar la forma de reducir la

multiplicidad de opciones y centrarse en las pocas que ofrecen más perspectivas de poderse desarrollar con éxito.

NECESIDAD DE COOPERACION INTERNACIONAL

Ante el limitado apoyo de los gobiernos a las actividades de I+D y la amplia diversidad de diseños conceptuales, es indispensable que el crucial período de 10 a 15 años próximo se dedique a la producción de reactores y ciclos del combustible nucleares prácticos que tengan éxito en el mercado. En particular, las metas demasiado ambiciosas en cuanto a la gestión de desechos, la seguridad o la no proliferación, pueden traducirse en aumentos excesivos del costo de la energía nuclear, reduciendo la competitividad de la opción nuclear.

Mientras se desarrollen las innovaciones tecnológicas, también será esencial examinar y revisar los mecanismos comerciales, gubernamentales e intergubernamentales de conformidad con los progresos que se realicen.

Esas cuestiones son importantes para la reactivación a largo plazo de la energía nucleoelectrica y deben abordarse cuanto antes. Una de las formas de avanzar y lograr un consenso respecto de algunas de esas cuestiones es la colaboración internacional y la coordinación de las actividades de I+D en el plano mundial. La cooperación internacional entre centros de investigación estatales, organizaciones internacionales, como el OIEA, la AEN y la Comisión Europea, y la industria nuclear puede acelerar el progreso, aunando recursos para la consecución del objetivo común. Por ejemplo, grupos como esos pueden proponerse las tareas siguientes como actividades conjuntas:

- La evaluación de las necesidades de las futuras instalaciones y del papel de la energía nucleoelectrica en diferentes mercados;
- La creación de un conjunto de características previstas en materia de seguridad tecnológica y física, gestión de desechos, no proliferación y consumo de recursos para las nuevas tecnologías de reactores y del ciclo del combustible;
- La cooperación internacional en el desarrollo de los conceptos más prometedores.

Esas tareas son importantes para garantizar que los países puedan beneficiarse de la tecnología de la energía nucleoelectrica como opción para el suministro energético sostenible a largo plazo.

Actividades del OIEA. El Organismo ha establecido desde hace mucho tiempo programas destinados a ayudar a los países en esferas relacionadas con el desarrollo de la energía nucleoelectrica y el ciclo del combustible. Las actividades ahora están dirigidas a mejorar la coordinación de las actividades y a definir objetivos comunes de conformidad con los intereses de los Estados Miembros del Organismo. El nuevo programa orientado al logro de resultados y el nuevo enfoque presupuestario del OIEA pueden contribuir a integrar todas sus actividades en un programa de reactores y ciclos del combustible innovadores para abordar mejor los principales problemas que enfrentan los países en relación con el desarrollo energético y nucleoelectrico. En este marco, puede evaluarse el desarrollo a escala mundial de reactores y ciclos del combustible innovadores.

Como se señala en la Estrategia de Mediano Plazo del Organismo, uno de los objetivos primordiales de las actividades es apoyar y facilitar el intercambio de información y el desarrollo de las

aplicaciones de las tecnologías nucleares nuevas. Ello puede lograrse propiciando y estimulando la creación de un foro que examine los progresos asociados a las nuevas tecnologías nucleoelectricas y del ciclo del combustible, comprendidos los reactores de pequeña y mediana potencia para generar electricidad y producir calor, incluida la desalación del agua de mar; los nuevos adelantos tecnológicos relacionados con la competitividad, la seguridad y el rendimiento; el aumento de la resistencia a la proliferación en los reactores y los ciclos del combustible conexos; y la reducción de la generación de desechos radiactivos. Entre los tipos específicos de actividades que se estudian figura servir de foro central para los Estados Miembros que desean trabajar en conceptos de diseño similares. Ello coadyuvaría esencialmente a aunar recursos y conocimientos especializados para el desarrollo de reactores y ciclos del combustible innovadores.

En la actualidad, la energía nucleoelectrica se encuentra en un momento decisivo, sin que se haya llegado a consenso sobre su función futura. Si bien tiene un reconocido historial en cuanto a ayudar a los países a satisfacer sus necesidades energéticas --y tiene ventajas comparativas sobre otras opciones de generación de electricidad en el marco del desarrollo energético sostenible--, un problema fundamental es lograr una mayor comprensión y aceptación política y del público de su contribución potencial. Gracias a las nuevas iniciativas y acciones integradas emprendidas para fortalecer la cooperación nuclear internacional, el OIEA está elaborando un programa más coherente que responda mejor a los intereses de los Estados Miembros de desarrollar la opción nucleoelectrica y demostrar que es un elemento vital para el futuro energético del mundo. □

SITUACION DE LOS PROTOCOLOS ADICIONALES

| Estado | Aprobación por la Junta del OIEA | Firmado | En vigor |
|---------------------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| Alemania ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | * |
| Armenia | 23 sept. 1997 | 29 sept. 1997 | |
| Australia | 23 sept. 1997 | 23 sept. 1997 | 12 dic. 1997 |
| Austria ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Azerbaiyán | 7 jun. 2000 | | |
| Bélgica ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Bulgaria | 14 sept. 1998 | 24 sept. 1998 | |
| Canadá | 11 jun. 1998 | 24 sept. 1998 | |
| China | 25 nov. 1998 | 31 dic. 1998 | |
| Croacia | 14 sept. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Cuba | 20 sept. 1999 | 15 oct. 1999 | |
| Chipre | 25 nov. 1998 | 29 jul. 1999 | |
| Dinamarca ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Ecuador | 20 sept. 1999 | 1 oct. 1999 | |
| Eslovaquia | 14 sept. 1998 | 27 sept. 1999 | |
| Eslovenia | 25 nov. 1998 | 26 nov. 1998 | |
| España ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | * |
| Estados Unidos | 11 jun. 1998 | 12 jun. 1998 | |
| Estonia | 21 marzo 2000 | 13 abril 2000 | |
| Filipinas | 23 sept. 1997 | 30 sept. 1997 | |
| Finlandia ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Francia ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Georgia | 23 sept. 1997 | 29 sept. 1997 | |
| Ghana | 11 jun. 1998 | 12 jun. 1998 | provisional |
| Grecia ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | * |
| Hungría | 25 nov. 1998 | 26 nov. 1998 | 4 abril 2000 |
| Indonesia | 20 sept. 1999 | 29 sept. 1999 | 29 sept. 1999 |
| Irlanda ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Italia ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Japón | 25 nov. 1998 | 4 dic. 1998 | 16 dic. 1999 |
| Jordania | 18 marzo 1998 | 28 jul. 1998 | 28 jul. 1998 |
| Lituania | 8 dic. 1997 | 11 mar. 1998 | |
| Luxemburgo ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Mónaco | 25 nov. 1998 | 30 sept. 1999 | 30 sept. 1999 |
| Namibia | 21 marzo 2000 | 22 marzo 2000 | |
| Nueva Zelanda | 15 sept. 1998 | 24 sept. 1998 | 24 sept. 1998 |
| Nigeria | 7 jun. 2000 | | |
| Noruega | 24 marzo 1999 | 29 sept. 1999 | 16 mayo 2000 |
| Perú | 10 dic. 1999 | 22 marzo 2000 | |
| Países Bajos ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | * |
| Polonia | 23 sept. 1997 | 30 sept. 1997 | 5 mayo 2000 |
| Portugal ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Reino Unido ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | |
| Rep. de Corea | 24 marzo 1999 | 21 jun. 1999 | |
| Rep. Checa | 20 sept. 1999 | 28 sept. 1999 | |
| Rumania | 9 jun. 1999 | 11 jun. 1999 | |
| Rusia | 21 marzo 2000 | 22 marzo 2000 | |
| Santa Sede | 14 sept. 1998 | 24 sept. 1998 | 24 sept. 1998 |
| Suecia ¹ | 11 jun. 1998 | 22 sept. 1998 | * |
| Suiza | 7 jun. 2000 | 16 jun. 2000 | |
| Turquía | 7 jun. 2000 | | |
| Ucrania | 7 jun. 2000 | | |
| Uruguay | 23 sept. 1997 | 29 sept. 1997 | |
| Uzbekistán | 14 sept. 1998 | 22 sept. 1998 | 21 dic. 1998 |
| Total | 54 | 50 | 11 |

¹ Los 15 Estados de la Unión Europea han firmado protocolos adicionales con la EURATOM y el Organismo.

² El OIEA ha recibido notificación de esos Estados de que se han cumplido sus requisitos nacionales para la entrada en vigor. Sin embargo, según lo dispuesto en el Protocolo Adicional concertado con los Estados no poseedores de armas nucleares de la UE y la EURATOM, "el Protocolo Adicional entrará en vigor en la fecha en que el OIEA reciba de los Estados y de la EURATOM notificación escrita de que se han cumplido sus requisitos respectivos para su entrada en vigor".

DESTACAN FUNCIONES
DEL OIEA EN LA
SEXTA CONFERENCIA
ENCARGADA DEL
EXAMEN DEL TNP

Las Partes en el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (TNP) aprobaron un Documento Final al término de su Sexta Conferencia encargada del examen del Tratado, celebrada en las Naciones Unidas, en mayo de 2000.

En el Documento Final se reafirma que "la plena y efectiva aplicación del Tratado y el régimen de no proliferación en todos sus aspectos desempeña un papel fundamental en el fomento de la paz y la seguridad internacionales".

Al manifestar su satisfacción por el consenso logrado en torno al TNP, el Director General del OIEA, Dr. Mohamed ElBaradei, se refirió en particular:

- al reconocimiento de que las salvaguardias del OIEA son un pilar fundamental del régimen de no proliferación nuclear; y al respaldo dado a las medidas destinadas a fortalecer esas salvaguardias, en especial las medidas que aumentarán la confianza en la ausencia de material y actividades nucleares no declarados;

- el acuerdo concertado sobre varias medidas concretas encaminadas a lograr el desarme nuclear, incluido el firme compromiso de los Estados poseedores de armas nucleares de lograr la total eliminación de sus arsenales nucleares;

- el compromiso de facilitar la cooperación pacífica en la esfera nuclear entre todas las Partes en el TNP y los recursos financieros necesarios para la transferencia de esas tecnologías a los países en desarrollo; y

- el llamamiento en pro de la adhesión universal al Tratado, indispensable para lograr sus objetivos.

El Dr. ElBaradei se refirió además al voto de confianza que las Partes en el TNP dieron al OIEA y a su papel en la aplicación del Tratado.

El texto íntegro del Documento Final --así como la bibliografía, materiales de referencia, y contactos relacionados con el mismo-- puede obtenerse en una serie especial de páginas temáticas sobre el TNP en el sitio Internet *WorldAtom* del OIEA, en www.iaea.org.

LA CONFERENCIA GENERAL DEL OIEA COMIENZA EL 18 DE SEPTIEMBRE

La reunión del año 2000 de la Conferencia General del OIEA --cuadragésima cuarta reunión ordinaria-- comienza en el Austria Center de Viena el 18 de septiembre. Los puntos del Orden del Día provisional incluyen el Programa y Presupuesto del Organismo para 2001, las medidas para reforzar la cooperación internacional en materia de seguridad nuclear, radiológica y de los desechos; el fortalecimiento de las actividades de cooperación técnica del Organismo; el fortalecimiento de la eficacia y aumento de la eficiencia del sistema de salvaguardias y aplicación del modelo de Protocolo; las medidas contra el tráfico ilícito de materiales nucleares y otras fuentes radiactivas; la aplicación de las salvaguardias del OIEA en el Oriente Medio; el cumplimiento de las resoluciones del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas relativas al Iraq; y la aplicación del acuerdo de salvaguardias entre el OIEA y la República Popular Democrática de Corea.



Foro Científico. El tema del Foro Científico de este año es "Gestión de los desechos radiactivos: de las opciones a las soluciones". Las reuniones incluyen exposiciones de destacados expertos en este campo, una mesa redonda, y debates abiertos sobre los temas y problemas concretos. Entre los temas figuran la situación a nivel mundial de la gestión de desechos radiactivos; la creación de un repositorio nacional para el combustible gastado; los aspectos tecnológicos de la gestión de desechos radiactivos; la disposición final de desechos radiactivos en condiciones de seguridad; el transporte seguro de desechos radiactivos; y la gestión de fuentes radiactivas selladas gastadas. Los objetivos principales del Foro son señalar a la atención de los representantes gubernamentales de alto nivel algunas importantes cuestiones científicas y técnicas de la esfera de la gestión de desechos radiactivos y promover la toma de conciencia respecto de la dimensión internacional de los actuales acontecimientos.

Como en años anteriores, se podrá obtener información diaria sobre la Conferencia y el Foro en el sitio Internet *WorldAtom* del OIEA, en www.iaea.org. En el sitio aparecerá la información de que se disponga tanto antes como en el transcurso de la Conferencia.

NOTICIAS MUY BREVES...

■ **Salvaguardias fortalecidas.** Otros cinco Estados --Azerbaián, Nigeria, Suiza, Turquía y Ucrania-- han concertado acuerdos con el OIEA destinados a fortalecer la capacidad del Organismo para verificar el carácter exclusivamente pacífico de las actividades nucleares. El Director General del OIEA, Dr. Mohamed ElBaradei, sometió los acuerdos, denominados protocolos adicionales, a la consideración de la Junta de Gobernadores del OIEA para su aprobación en junio. Véase el cuadro de la página 60 en relación con la lista actualizada de la situación de firmas y ratificaciones.

■ **Cooperación nuclear.** Los países africanos prolongaron recientemente su asociación mediante un acuerdo de cooperación regional para la aplicación con fines pacifi-

cos de la ciencia y la tecnología nucleares. El acuerdo, denominado AFRA, fue prorrogado en abril de 2000 por un período de 5 años. Hasta mayo, 14 países habían notificado al OIEA que aceptaban la prórroga.

■ **Desalación nuclear.** Las actividades que el OIEA realiza para prestar asistencia a los Estados Miembros interesados en aplicar la energía nuclear en la desalación se incluyeron en las exposiciones y muestras presentadas por el Organismo en el Foro Mundial del Agua y la Conferencia Ministerial conexas, celebrados en los Países Bajos a principios de este año. También figuraron las actividades y proyectos de cooperación técnica relacionados con el agua llevados a cabo por el OIEA en esferas de la hidrología isotópica. El próximo

Foro Mundial del Agua está previsto para el año 2003. Para obtener más información sobre el Foro y la contribución del Organismo, consulte el sitio de Internet *WorldAtom* del OIEA, en www.iaea.org.

■ **Fuentes de radiación.** Del 23 de mayo al 16 de junio, el OIEA envió a Georgia un grupo de expertos con el objetivo de realizar reconocimientos aéreos radiológicos en regiones seleccionadas de ese país en busca de fuentes radiactivas desechadas o zonas contaminadas que pudieran plantear un riesgo para la salud humana. La misión, enviada a solicitud del Ministerio de Medio Ambiente de Georgia, responde a graves incidentes ocurridos con algunas de las casi 300 fuentes desechadas que ya se han hallado en el país durante los últimos años.

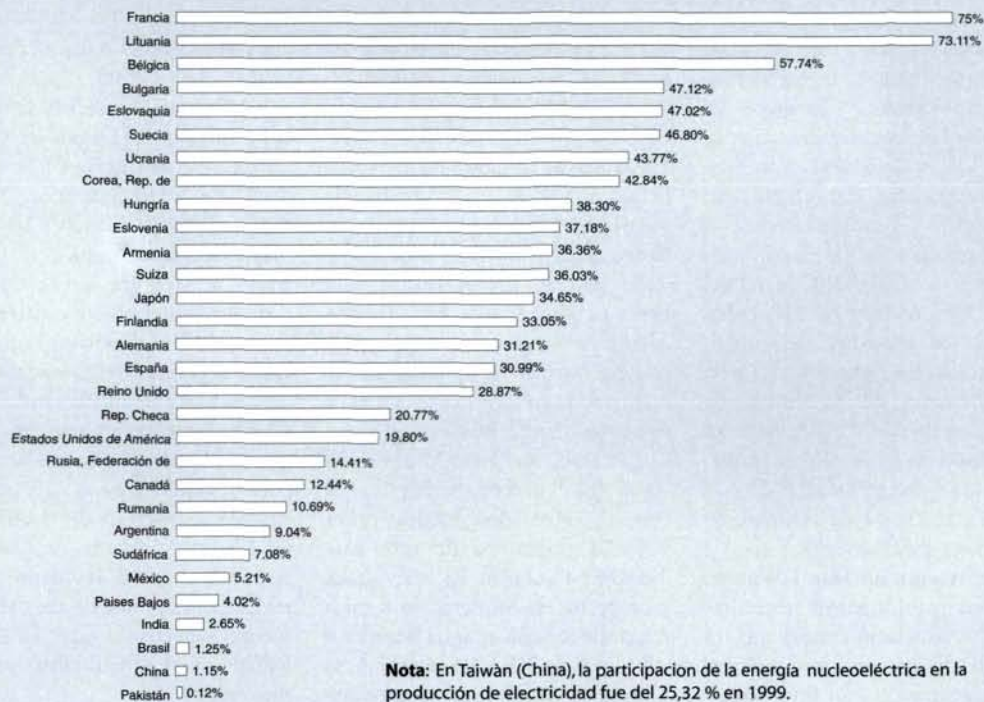
SITUACION DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN EL MUNDO

| | REACTORES EN FUNCIONAMIENTO | | REACTORES EN CONSTRUCCION | |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| | Nº DE UNIDADES | MW(E) TOTALES NETOS | Nº DE UNIDADES | MW(E) TOTALES NETOS |
| ALEMANIA | 19 | 21 122 | | |
| ARGENTINA | 2 | 935 | 1 | 692 |
| ARMENIA | 1 | 376 | | |
| BELGICA | 7 | 5 712 | | |
| BRASIL | 1 | 626 | 1 | 1 229 |
| BULGARIA | 6 | 3 538 | | |
| CANADA | 14 | 9 998 | | |
| CHINA | 3 | 2 167 | 7 | 5 420 |
| COREA, REP.DE | 16 | 12 990 | 4 | 3 820 |
| ESLOVAQUIA | 6 | 2 408 | 2 | 776 |
| ESLOVENIA | 1 | 632 | | |
| ESPAÑA | 9 | 7 470 | | |
| ESTADOS UNIDOS DE AMERICA | 104 | 97 145 | | |
| FINLANDIA | 4 | 2 656 | | |
| FRANCIA | 59 | 63 103 | | |
| HUNGRIA | 4 | 1 729 | | |
| INDIA | 11 | 1 897 | 3 | 606 |
| IRAN, REP. ISLAMICA DE | | | 2 | 2 111 |
| JAPON | 53 | 43 691 | 4 | 4 515 |
| LITUANIA | 2 | 2 370 | | |
| MEXICO | 2 | 1 308 | | |
| PAISES BAJOS | 1 | 449 | | |
| PAKISTAN | 1 | 125 | 1 | 300 |
| REINO UNIDO | 35 | 12 968 | | |
| REP. CHECA | 4 | 1 648 | 2 | 1 824 |
| RUMANIA | 1 | 650 | 1 | 650 |
| RUSIA, FEDERACION DE | 29 | 19 843 | 3 | 3 375 |
| SUDAFRICA | 2 | 1 842 | | |
| SUECIA | 11 | 9 432 | | |
| SUIZA | 5 | 3 079 | | |
| UCRANIA | 14 | 12 115 | 4 | 3 800 |
| TOTAL MUNDIAL* | 433 | 349 063 | 37 | 31 128 |

*El total incluye a Taiwán, China, donde hay seis reactores en funcionamiento con una capacidad total de 4884 MW(e). Dos unidades están en construcción. El cuadro refleja la situación hasta finales de abril de 2000, según la información recibida por el OIEA.

PARTICIPACION DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA EN LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

Abril de 2000



Nota: En Taiwán (China), la participación de la energía nucleoelectrónica en la producción de electricidad fue del 25,32 % en 1999.

Senior Auditor, Office of Internal Audit Office of the Director General (2000/085). This P-4 post provides assurance to the Director General that a cost-effective system of internal controls and procedures is in place and functioning; independent and objective guidance, advice and appraisals to Agency managers, based on a systematic, proactive and risk-based approach, on managing resources more economically and efficiently and enhancing Agency operations; facts surrounding alleged irregularities gathered through investigation; and recommendations to strengthen the relevant internal control and monitoring systems in order to minimize the risk and prevent the recurrence of any violations and irregular activities. The post requires demonstrated experience of leading a team; excellent English oral and written communication skills, including report drafting, reviewing and revising, as well as making oral presentations, are essential; knowledge of computer systems and controls, control self assessment and risk assessment is essential; computer proficiency in standard office systems, such as Word, Excel and Access, and computer assisted audit tools is essential. Fluency in English. Knowledge of other official languages is desirable (i.e. Arabic, Chinese, French, Russian or Spanish).
Closing Date: 9 February 2001

Section Head, Dosimetry and Medical Radiation Physics Section, Division of Human Health, Department of Nuclear Sciences and Applications (2000/082). This P-5 post is responsible for the formulation, co-ordination and implementation of the Agency's activities in the field of radiation dosimetry and medical radiation physics, and for supervision and co-ordination of the Agency's Dosimetry Laboratory (Seibersdorf). In addition, the Section Head acts as IAEA secretary of the IAEA/WHO (World Health Organization) Network of Secondary Standard Dosimetry Laboratories (SSDLs) with responsibility for the preparation and revision of criteria for the establishment and operation of SSDLs. The post requires a PhD with specialization in medical radiation physics (ion chamber radiotherapy dosimetry) or radiation metrology; at least 15 years (10 years after PhD) of combined practical experience as a hospital physicist (with emphasis on

radiotherapy, nuclear medicine and diagnostic X-rays) and as a metrology scientist, substantiated by a good publication record; extensive research experience in modern dosimetry; thorough experience in the measurement and dosimetry of ionizing radiation from protection-level to processing dose levels; thorough experience with current codes of practice for the measurement of absorbed dose, recent developments in radiation dosimetry and quality assurance procedures; thorough knowledge of radiation safety measures at the hospital level, with emphasis on the protection of patients during ongoing therapeutic or diagnostic procedures; acquaintance with the work of primary standard dosimetry laboratories and familiarity with the recommendations of the International Commission of Radiation Units and Measurements and other international organizations; thorough experience in the management of scientific projects and budgeting; experience in staff supervision; ability to write scientific papers and make presentations on the subject; familiarity with the specific problems of developing countries. Fluency in written and spoken English and ability to write technical reports in English essential. Knowledge of Spanish, Russian or French desirable.
Closing Date: 9 February 2001

Regional Co-ordinator, Europe Section, Division for Europe, Latin America and West Asia Department of Technical Co-operation (2000/092). This P-5 post will manage the Europe regional nuclear safety and nuclear power projects; ensure that the programme of regional projects remain responsive to participating countries' needs in the light of rapidly changing national and technical developments in the field of nuclear safety; ensure co-operation and co-ordination of the nuclear safety and power programmes with other major donors and international organizations. The post requires an advanced university degree in nuclear engineering and sciences; at least 15 years' experience in the field of nuclear safety and power engineering and nuclear safety regulatory practices; five years' experience in a senior position in the field of international relations concerned with assistance programmes to the CEEC (Central and Eastern

European Countries) and NIS (Newly Independent States) is required; extensive experience in the development, implementation and evaluation of development or technical co-operation programmes; knowledge of national and regional issues and conditions as well as the inter-relationships between/across sectoral borders. Ability to promote participation and commitment to projects; ability to prepare reports and documents, make presentations, and to advocate donor support for approaches and activities developed by the participating States; familiarity with information technology; familiarity with/understanding of nuclear technology; and proficiency in English and another IAEA official language of the region (i.e. French, Spanish or Russian).
Closing Date: 9 February 2001

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.*



SISTEMA INTERNACIONAL DE DOCUMENTACION NUCLEAR (INIS)

TIPO DE BASE DE DATOS:
Bibliográfica

PRODUCTOR:
Organismo Internacional de Energía Atómica en cooperación con 103 Estados Miembros del OIEA y 19 organizaciones internacionales cooperantes

CONTACTO CON EL OIEA:
OIEA

Sección del INIS
P.O. Box 100
A-1400 Viena (Austria)
Teléfono: (43-1) 2600-22842
Facsímil: (43-1) 26007-22842
Correo electrónico:

INIS.CentreServicesUnit@iaea.org
Más información sobre el INIS en:
<http://www.iaea.org/inis/inis.htm>
Para suscribirse a la Base de Datos del INIS en Internet:
<http://www.iaea.org/inis/inisdb.htm>
Base de datos de demostración disponible en forma gratuita

NUMERO DE REGISTROS EN LINEA DESDE 1970 HASTA LA FECHA:
más de 2 millones

AMBITO
Información del mundo entero sobre la utilización pacífica de la ciencia y la tecnología nucleares; aspectos económicos y ambientales de otras fuentes energéticas.

MATERIAS ABARCADAS
Las principales materias comprendidas son: reactores nucleares, seguridad de reactores, fusión nuclear, aplicación de radiaciones o isótopos en la medicina, la agricultura, la industria y la lucha contra las plagas. Se incluyen también esferas conexas tales como química nuclear, física nuclear y ciencia de los materiales. Se hace especial hincapié en las repercusiones para la salud, ambientales y económicas de la energía nuclear así como en los aspectos económicos y ambientales de las fuentes energéticas no nucleares. Se abarcan también los aspectos jurídicos y sociales asociados con la energía nuclear.



SISTEMA DE INFORMACION SOBRE REACTORES DE POTENCIA (PRIS)

TIPO DE BASE DE DATOS
Fáctica

Productor
Organismo Internacional de Energía Atómica en cooperación con 32 Estados Miembros del OIEA

CONTACTO CON EL OIEA

OIEA, Sección de Ingeniería Nucleoeléctrica
P.O. Box 100, A-1400 Viena (Austria)
Teléfono: (43-1) 2600
Télex: (1)-12645

Facsímil: (43-1) 26007

Correo electrónico:

r.spiegelberg-planer@iaea.org
Más información a través de los servicios de Internet del OIEA en:
<http://www.iaea.org/programmes/a2/>

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 sincronización 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.



SISTEMA DE INFORMACION SOBRE DATOS NUCLEARES (NDIS)

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, el 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) 2600

Télex: (1)-12645

Facsímil: (43-1) 26007

Correo electrónico:

o.schewerer@iaea.org
Más información a través de los servicios de Internet del OIEA en:
<http://www.nds.iaea.org/>

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 conexas de las bases de datos CINDA y NSR del OIEA; otros tipos de datos diversos.

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



SISTEMA DE INFORMACION SOBRE DATOS ATOMICOS Y MOLECULARES (AMDIS)

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 14 centros nacionales de datos de varios países.

CONTACTO CON EL OIEA

OIEA, Dependencia de Datos Atómicos y Moleculares, Sección de Datos Nucleares
Correo electrónico:
j.a.stephens@iaea.org

Más información a través de los servicios de Internet del OIEA en:
<http://www-amdis.iaea.org>

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.

MATERIAS ABARCADAS

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/database/dbdir/>.

Canberra Safeguards Systems...



A World of Support

Safeguards requires experience, reliability, reproducibility, worldwide support and, above all, an understanding of the requirements of the various international and domestic agencies that share a common mission to control the spread of nuclear weapons. Safeguards is an application that requires a company like Canberra – a company that offers, not only the technical expertise, but also the experience and resources necessary to meet our customers' need for integrated and remote safeguards solutions.

The recent addition of the Aquila safeguards product lines of asset tracking devices, seals, and surveillance systems has increased our ability to meet the total needs of our safeguards customers.

Our commitment to nuclear safeguards is total – from portable instruments used to conduct independent verification measurements, to complex unattended safeguards measurement systems used to monitor nuclear material in the world's largest reprocessing plants – from surveillance cameras used to continuously record activities in safeguarded facilities to electronic tags and seals used to prevent undetected tampering of equipment or containers.

For the total solution to your safeguards requirements, contact Canberra to see how...

Real People tackle Real Challenges and offer Real Solutions.



Canberra Industries
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>

With Offices In: Australia, Austria, Belgium, Canada,
Central Europe, Denmark, France, Germany, Italy,
Netherlands, Russia, United Kingdom.

LUGARES DE VENTA DE LAS PUBLICACIONES DEL OIEA

En los países que se enumeran a continuación, las publicaciones del OIEA se pueden adquirir en los lugares que se señalan seguidamente o en 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
Poppelsdorfer Allee 55, D-53115 Bonn
Teléfono: +49 228 94 90 20
Facsimil: +49 228 21 74 92
Web site: <http://www.uno-verlag.de>
Correo electrónico: unoverlag@aol.com

AUSTRALIA

Hunter Publications
58A Gipps Street Collingwood
Victoria 3066
Teléfono: +61 3 9417 5361
Facsimil: +61 3 9419 7154
Correo electrónico: jpdavies@ozemail.com.au

BELGICA

Jean de Lannoy
avenue du Roi 202, B-1190 Bruselas
Teléfono: +32 2 538 43 08
Facsimil: +32 2 538 08 41
Correo electrónico: jean.de.lannoy@infoboard.be
Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

CHINA

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

DINAMARCA

Munksgaard Subscription Service
Nørre Søgade 35 P.O. Box 2148
DK-1016 Copenhagen K
Teléfono: +45 33 12 85 70;
Facsimil: +45 33 12 93 87
Correo electrónico:
subscription.service@mail.munksgaard.dk
Web site: <http://www.munksgaard.dk>

ESLOVAQUIA

Alfa Press, s.r.o., Raianska 20
SQ-832 10 Bratislava
Teléfono/Facsimil: +42 1 7 5660489

ESPAÑA

Díaz de Santos
Lagasca 95, E-28006 Madrid
Teléfono: +34 91 431 24 82
Facsimil: +34 91 575 55 63
Correo electrónico: madrid@diazdesantos.es
Díaz de Santos, Balmes 417-419
E-08022 Barcelona
Teléfono: +34 93 212 86 47;
Facsimil: +34 93 211 49 91
Correo electrónico: balmes@diazsantos.com
Correo electrónico general: librerias@diazdesantos.es
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

FRANCIA

Nucléon, Immeuble Platon
Parc les Algorithmes, Saint Aubin
P.O. Box 53, F-91192 Gif-sur-Yvette, Cedex
Teléfono: +33 1 69 353636;
Facsimil: +33 1 69 350099
Correo electrónico: nucléon@wanadoo.fr

HUNGRÍA

Librotrade Ltd., Book Import
P.O. Box 126, H-1656 Budapest
Teléfono: +36 1 257 7777;
Facsimil: +36 1 257 7472
Correo electrónico: books@librotrade.hu

ISRAEL

YOZMOT Ltd., 3 Yohanan Hasandlar St.
P.O. Box 56055, IL-61560 Tel Aviv
Teléfono: +972 3 5284851
Facsimil: +972 3 5285397

ITALIA

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

Teléfono: +39 2 48 95 45 52, 48 95 45 62
Facsimil: +39 2 48 95 45 48

JAPON

Maruzen Company, Ltd.
P.O. Box 5050, 100-31 Tokyo International
Teléfono: +81 3 3272 7211
Facsimil: +81 3 3278 1937
Correo electrónico: yabe@maruzen.co.jp
Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

MALASIA

Parry's Book Center Sdn. Bhd.
60 Jalan Negara, Taman Melawati
53100 Kuala Lumpur,
Teléfono: +60 3 4079176, 4079179, 4087235
Facsimil: +60 3 407 9180
Correo electrónico: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

PAISES BAJOS

Martinus Nijhoff International
P.O. Box 269, NL-2501 AX La Haya
Teléfono: +31 793 684 400
Facsimil: +31 793 615 698
Correo electrónico: info@nijhoff.nl
Web site: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v.,
P.O. Box 830, NL-2160 SZ Lisse
Teléfono: +31 252 435 111
Facsimil: +31 252 415 888
Correo electrónico: infofo@swets.nl
Web site: <http://www.swets.nl>

POLONIA

Foreign Trade Enterprise
Ars Polona, Book Import Dept.
7 Krakowskie Przedmiescie Street
PL-00-950 Varsovia
Teléfono: +48 22 826 1201 ext. 147, 151, 159
Facsimil: +48 22 826 6240
Correo electrónico: ars_pol@bevy.hsn.com.pl
Web site: <http://www.arspolona.com.pl>

REINO UNIDO

The Stationary Office Ltd
International Sales Agency
51 Nine Elms Lane, Londres SW8 5DR
Teléfono: +44 171 873 9090
Facsimil: +44 171 873 8463
Correo electrónico:
pedidos.book.orders@theso.co.uk
Informaciones: ipa.enquiries@theso.co.uk
Web site: <http://www.the-stationery-office.co.uk>

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA Y CANADA

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD
20706-4391, EE UU
Teléfono: 1-800-274-4447 (llamada sin cargo)
Facsimil: (301) 459-0056 /
1-800-865-3450 (llamada sin cargo)
Correo electrónico: query@bernan.com
Web site: <http://www.bernan.com>

SINGAPUR

Parry's Book Center Pte. Ltd
528 A Macpherson Road, Singapur 1336
Teléfono: +65 744 8673
Facsimil: +65 744 8676
Correo electrónico: haja@pop3.jaring.my
Web site: <http://www.mol.net.my/~parrybook/parrys.htm>

FUERA DE LOS ESTADOS UNIDOS Y CANADA

Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones,
Organismo Internacional de Energía Atómica,
Wagramerstrasse 5, Apartado 100
A-1400 Viena, Austria
Teléfono: +43 1 2600 22529 (o 22530)
Facsimil: +43 1 26007 29302
Correo electrónico: sales.publications@iaea.org
Web site: <http://www.iaea.org/worldatom/publications>

SAFETY STANDARD SERIES

SAFETY ASSESSMENT FOR NEAR SURFACE
DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE: Safety
Guide
Safety Standard Series No. WS-G-1.1
ISBN 92-0-101299-3 Price: ATS160/€11.63

DECOMMISSIONING OF NUCLEAR POWER
PLANTS AND RESEARCH REACTORS: Safety
Guide
Safety Standard Series No. WS-G-2.1
(in production)

DECOMMISSIONING OF MEDICAL, INDUSTRIAL
AND RESEARCH FACILITIES: Safety Guide
Safety Standard Series No. WS-G-2.2
(in production)

TECHNICAL REPORTS SERIES

VERIFICATION AND VALIDATION OF
SOFTWARE RELATED TO NUCLEAR POWER
PLANT INSTRUMENTATION AND CONTROL
Technical Report Series No. 384
ISBN 92-0-100799-X Price: ATS480/€134.88

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF SITES
FOR GEOLOGICAL DISPOSAL OF RADIOACTIVE
WASTES
Technical Report Series No. 391
ISBN 92-0-100299-8 Price: ATS280/€20.35

GUIDANCE FOR COMPARATIVE ASSESSMENT
OF THE HEALTH AND ENVIRONMENTAL
IMPACTS OF ELECTRICITY GENERATION
SYSTEMS
Technical Report Series No. 394
(in production)

STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGY FOR
DECONTAMINATION AND DISMANTLING OF
NUCLEAR FACILITIES
Technical Report Series No. 395
(in production)

RADIATION SAFETY

OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION:
Safety Guide
Safety Standard Series No. RS-G-1.1
ISBN 92-0-102299-9 Price: ATS200/€14.53

ASSESSMENT OF OCCUPATIONAL EXPOSURE
DUE TO INTAKE OF RADIONUCLIDES: Safety
Guide
Safety Standard Series No. RS-G-1.2
ISBN 92-0-101999-8 Price: ATS200/€14.53

NUCLEAR FUSION

WORLD SURVEY OF ACTIVITIES IN
CONTROLLED FUSION RESEARCH, 1997 Edition
on CD-ROM, Nuclear Fusion, Special
Supplement 1997
Price: ATS 450/€32.70

Con respecto a estos libros y otras
publicaciones del OIEA para la venta se
puede solicitar información a la División de
Publicaciones del Organismo (correo
electrónico: sales.publications@iaea.org).
La lista completa de las publicaciones del
Organismo puede consultarse por conducto
de los servicios de Internet del Organismo
WorldAtom en: <http://www.iaea.org>

*ATS (Chelines austriacos)

AMSR 150 . . .

the Future of Neutron Coincidence Counting —

HERE and NOW



**Authorised
For Routine
Safeguards
Inspection**

Latest Generation of Los Alamos Advanced Multiplicity Shift Register for Advanced Neutron Measurements and Remote Monitoring Applications

- The only multiplicity shift register guaranteed to be fully compatible with the IAEA Neutron Coincidence Counting (INCC) software and with Multi-Instrument Collect
- Emulates and is backward compatible with JSR-11 and JSR-12 shift registers
- Local and remote operating modes
- “Smart” network connectivity (automated setup and operation by computer)
- Local data storage provides buffer against network failure
- Built-in processor for authentication, encryption, local real-time analysis, and event triggering
- Full multiplicity electronics provides neutron totals, doubles, and triples distributions
- Provides all necessary voltages for neutron coincidence/multiplicity counters
- Extensive connectivity:
 - Serial-port interface
 - Ethernet (network interface cards)
 - PCMCIA interface
 - Two auxiliary scalers
 - Flash memory storage cards
 - External trigger signals for other sensors such as cameras

The AMSR 150 is available NOW from both ANTECH and ORTEC.

ANTECH

USA
(303) 430-8184
UK
(01491) 824444


PerkinElmer™
instruments.

USA
(423) 482-4411
CANADA
(800) 268-2735

ORTEC® HOTLINE 800-251-9750

AUSTRIA
(01) 91422510
FRANCE
04.76.90.70.45

UK
(0118) 9773003
ITALY
(02) 2383210

JAPAN
(047) 3927888
GERMANY
(07081) 1770

RUSSIA
(02) 9374594
PRC
(010) 6566 8166

OIEA PROYECTOS COORDINADOS DE INVESTIGACION

ELABORACION DE EQUIPOS DE RADIOFARMACOS DE TECNECIO 99^m PARA LA FORMACION DE IMAGENES DE LAS INFECCIONES

Las infecciones siguen siendo una de las causas principales de morbilidad y mortalidad en todo el mundo y la formación de imágenes por escintigrafía podría facilitar el diagnóstico de estados graves difíciles de diagnosticar por otros medios. Un requisito importante en este sentido es disponer de radiofármacos que puedan concentrarse selectivamente en los lugares donde se producen las infecciones. El número de radiofármacos disponibles para la formación de imágenes de las infecciones es limitado, a lo que hay que añadir dificultades de costo, disponibilidad o comportamiento. En particular, la elaboración de agentes nuevos y mejorados para la formación de imágenes de las infecciones y marcados con Tc 99^m (el isótopo de uso más común en la formación de imágenes), sigue siendo un objetivo valioso en la investigación y el desarrollo científicos. El PCI va dirigido a la elaboración de agentes específicos para la formación de imágenes de las infecciones basados en un anticuerpo monoclonal, sus fragmentos y péptidos.

TECNOLOGIAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS Y DIAGNOSTICO DE LA QUIMICA DEL AGUA Y EL CONTROL DE LA CORROSION (DAWAC)

La corrosión de las vainas de las barras de combustible y de los materiales componentes de los circuitos primarios viene siendo desde hace muchos años una grave preocupación en relación con los reactores nucleares de potencia refrigerados por agua, especialmente los que funcionan con grados de quemado y térmico elevados. Ante esta situación, el Organismo viene ejecutando desde 1981 una serie de proyectos coordinados de investigación (PCI) destinados a una mejor comprensión de los procesos de corrosión de las vainas (CCI, 1981-1986), las mejoras en la tecnología de refrigeración por agua (WACOLIN, 1987-1991) y el desarrollo y puesta en práctica de técnicas/sensores avanzados de vigilancia en línea de la química del agua y la corrosión en centrales nucleares (WACOL, 1995-2000). El PCI WACOL ha demostrado, sin embargo, que sólo podrán obtenerse todas las ventajas de utilizar sensores en línea en modo de tiempo real si las señales de los sensores, así como otros datos químicos y operacionales, se recogen y analizan continuamente con programas informáticos para la adquisición y evaluación de datos. En algunas instalaciones industriales se han instalado ya tanto sistemas de adquisición de datos como sistemas inteligentes para el diagnóstico de la química del agua.

CONSERVACIÓN Y APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE HTGR

En este proyecto de investigación se determinarán las necesidades de investigación y se intercambiará información sobre los avances en materia de tecnología de un número limitado de esferas temáticas de interés primordial para el desarrollo de reactores de alta temperatura (HTR), y se establecerá, dentro de estas esferas temáticas, una función de coordinación centralizada para la conservación de conocimientos técnicos de HTGR y para la colaboración internacional utilizando métodos electrónicos de archivo, adquisición de datos e intercambio de información.

OIEA SIMPOSIOS Y SEMINARIOS

REUNIONES PROGRAMADAS PARA 2001

MARZO

Conferencia Internacional sobre la protección radiológica de los pacientes
26 a 30 de marzo, Málaga (España)

ABRIL

Conferencia Internacional sobre el estudio del cambio ambiental utilizando técnicas isotópicas
19 a 23 de abril, Viena (Austria)

MAYO

Conferencia Internacional sobre seguridad de los materiales: medidas para prevenir, interceptar y responder a la utilización ilícita de materiales nucleares y fuentes radiactivas
7 a 11 de mayo, Estocolmo (Suecia)

Seminario Internacional sobre la situación y las perspectivas de los reactores de pequeña y mediana potencia
27 a 31 de mayo, El Cairo (Egipto)

AGOSTO

Simposio Internacional sobre instrumentos isotópicos para la vigilancia del estado nutricional en los programas de nutrición y desarrollo
27 a 31 de agosto, Viena (Austria)

SEPTIEMBRE

45ª Conferencia General del OIEA
17 a 21 de septiembre, Viena (Austria)

OCTUBRE

Simposio Internacional sobre salvaguardias internacionales
29 de octubre a 2 de noviembre, Viena (Austria)

NOVIEMBRE

Simposio Internacional sobre utilización de aceleradores de baja energía
Fechas sin determinar, Sao Paulo (Brasil)

Toda la información está sujeta a cambios.
Véase el recuadro de la izquierda.

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*, preparada por la División de Información Pública del Organismo, o a través de los servicios de Internet *WorldAtom* del OIEA en <http://www.iaea.org>. Para obtener más detalles sobre los proyectos coordinados de investigación 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.



BOLETIN OIEA

REVISTA TRIMESTRAL DEL
ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

Publicado por la División de Información
Pública del Organismo Internacional de Energía
Atómica, Apartado de Correos 100
A-1400 Viena (Austria).
Tel.: (43-1) 2600-21270 Facsímil: (43-1) 26007
Correo electrónico: official.mail@iaea.org
Internet: www.iaea.org

DIRECTOR GENERAL: Dr. Mohamed ElBaradei
DIRECTORES GENERALES ADJUNTOS:
Sr. David Waller, Sr. Pierre Goldschmidt,
Sr. Victor Mourogov, Sr. Werner Burkart,
Sr. Jihui Qian, Sr. Zygmund Domaratzki
**DIRECTOR DE LA DIVISION DE INFORMACION
PUBLICA:** Sr. David Kyd

REDACTOR-JEFE: Sr. Lothar H. Wedekind
AYUDANTE DE REDACCION:
Sra. Ritu Kenn
COMPOSICION/DISEÑO:
Sra. Ritu Kenn; Sr. S. Brodek, Viena
COLABORADORES DE LOS DEPARTAMENTOS:
Sra. A. Schiffmann, Sra. R. Spiegelberg
Sra. Melanie Konz-Klingsbögel
APOYO PARA LA PRODUCCION:
Sr. P. Witzig, Sr. D. Schroder, Sr. R. Breitennecker,
Sra. P. Murray, Sr. H. Baumgartner, Sra. M. Liakhova,
Sr. A. Adler, Sr. R. Luttenfeldner, Sr. L. Nimetzki

Ediciones en diversos idiomas
APOYO PARA LA TRADUCCION:
División de Idiomas del OIEA
EDICION EN FRANCÉS: Sr. Yvon Prigent
traducción, 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: JSC Interdiakt+, Moscú;
traducción, impresión, distribución

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). Para establecer contacto, véanse más arriba los números de teléfono, facsímil y correo electrónico

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 y el OIEA declina toda responsabilidad por las mismas.

ESTADOS MIEMBROS DEL OIEA

| | | | |
|---|--|--|--|
| 1957 Afghanistan Albania Alemania Argentina Australia Austria Belarus Brasil Bulgaria Canadá Cuba Dinamarca Egipto El Salvador España Estados Unidos de América Etiopía Federación de Rusia Francia Grecia Guatemala Haití Hungría India Indonesia Israel Italia Japón Marruecos Mónaco Myanmar Noruega Nueva Zelanda Países Bajos Pakistán Paraguay Perú Polonia Portugal Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte República de Corea Rumania Santa Sede | Sri Lanka Sudáfrica Suecia Suiza Tailandia Túnez Turquía Ucrania Venezuela Viet Nam Yugoslavia | Uruguay 1964 Camerún Gabón Kuwait Nigeria 1965 Costa Rica Chipre Jamaica Kenya Madagascar 1966 Jordania Panamá 1967 Sierra Leona Singapur Uganda 1968 Lichtenstein 1969 Malasia Niger Zambia 1970 Irlanda 1972 Bangladesh 1973 Mongolia 1974 Mauricio 1976 Emiratos Arabes Unidos Qatar República Unida de Tanzania | 1977 Nicaragua 1983 Namibia 1984 China 1986 Zimbabue 1992 Eslovenia Estonia 1993 Armenia Croacia Eslovaquia Lituania República Checa 1994 Ex República Yugoslava de Macedonia Islas Marshall Kazajistán Uzbekistán Yemen 1995 Bosnia y Herzegovina 1996 Georgia 1997 Letonia Malta República de Moldova 1998 Benin Burkina Faso 1999 Angola Honduras |
|---|--|--|--|

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 130 Estados Miembros que mancomunadamente 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 μ Sv | High sensitivity, photon |
| PDM-102 | 40 keV ~ | 1 ~ 9,999 μ Sv | General use, photon |
| PDM-173 | 40 keV ~ | 0.01 ~ 99.99 mSv | General use, photon |
| PDM-107 | 20 keV ~ | 1 ~ 9,999 μ 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