

Electricidad, salud y medio ambiente: Selección de opciones sostenibles

En un simposio internacional sobre la evaluación comparativa de la energía, expertos examinaron los problemas fundamentales que encaran los encargados de la adopción de decisiones

por
**Leonard
Bennett y
Malik Derrough**

La demanda de energía y, en especial, de energía eléctrica, crecerá de manera significativa, sobre todo en los países en desarrollo, a medida que aumente la población mundial. Las opciones energéticas que se seleccionen influirán considerablemente en el logro del desarrollo social, económico y ecológico sostenible mundial.

En muchos países, los planificadores y los encargados de la adopción de decisiones en materia de energía hacen frente a difíciles problemas relacionados con el futuro energético de sus naciones, y tienen que evaluar una serie de opciones y estrategias energéticas teniendo en cuenta muchos factores. En un simposio internacional que el OIEA y otras nueve organizaciones internacionales convocaron en Viena a finales de 1995 se abordaron muchos de los problemas principales. (Véase el recuadro.)

Al inaugurar el simposio, el Director General del OIEA, Dr. Hans Blix, examinó el panorama general mundial de la energía. Señaló que se prevé que los combustibles fósiles continúen monopolizando el suministro mundial de energía y que las energías solar y eólica, la biomasa y otras fuentes renovables desempeñen una función valiosa, pero menor. Se espera que la participación de la energía nucleoelectrónica, que actualmente representa cerca del 7% de la energía comercial mundial y el 17% de su electricidad, siga siendo significativa.

Señaló además algunas de las complejidades que encaran hoy día los planificadores y los encargados de la adopción de decisiones en materia de energía, en particular en el sector de la electricidad. Es menester que tengan en cuenta un conjunto de factores relacionados con todo el ciclo del combustible de la fuente energética, incluidos su rendimiento técnico y económico y su repercusión en la salud y el medio ambiente. Aunque los costos continúan siendo un factor clave, hay que medirlos comparativamente de muchas formas, incluida la evaluación de los costos de los países con *insuficiencia* crónica de electricidad.

El Dr. Blix manifestó que los tipos de análisis que ahora se requerían, exigían el diseño de enfoques que incorporen todos los elementos pertinentes a una evaluación comparativa amplia de las diferentes opciones y estrategias, y el establecimiento de mejores bases de datos, metodologías analíticas y otros instrumentos de ayuda a la adopción de decisiones en los que se puedan apoyar los dirigentes para fundamentar sus decisiones. Señaló que las organizaciones internacionales tienen una importante función que desempeñar para coadyuvar a enfrentar estos desafíos.

Como parte de las actividades que realiza para ayudar a las autoridades energéticas nacionales a analizar y planificar sus sistemas energéticos y de electricidad, el OIEA está ejecutando un programa que abarca la evaluación comparativa y las metodologías que objetivamente apoyarán los procesos de adopción de decisiones. En el presente artículo se examinan los esfuerzos que se realizan en el contexto de las principales cuestiones relacionadas con la electricidad y otras cuestiones conexas abordadas en el simposio internacional de 1995. Se incluyen aspectos destacados de los discursos de apertura y una selección de los temas más importantes tratados en las seis sesiones técnicas.

Aspectos destacados de los discursos de apertura

Dr. E. Andreta, Comisión Europea. Subrayó la importancia de comprender la relación existente entre la electricidad, la ecología y la economía (la relación entre las tres E). Esta relación es muy compleja y no es posible controlar todo el sistema de electricidad sin disponer de tecnologías muy fiables y eficaces, por un lado, y sin instrumentos generales de gestión y planificación, por el otro. La CE ha elaborado un amplio conjunto de modelos energéticos para planificar el desarrollo sostenible de los suministros de energía y electricidad. Las bases de datos y los modelos desarrollados en el marco del proyecto interinstitucional DECADES iniciado por el OIEA, constituyen otra contribución positiva, que señala la necesidad de cooperar a nivel mundial en esta esfera. (Véase el recuadro.)

El Sr. Bennett es Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación de la División de Energía Nucleoelectrónica del OIEA, y el Sr. Derrough es funcionario de dicha Sección.

Dr. R. Stern, Banco Mundial. Se espera que para el año 2000 el consumo de energía primaria en los países en desarrollo iguale el de los países de la OCDE, y que para el año 2030 sea 2,5 veces mayor. Según estimaciones del Banco Mundial, las necesidades de inversión del sector de la energía eléctrica solamente serán del orden de los 150 000 millones de dólares de los Estados Unidos anuales. La financiación de esta inversión requerirá una combinación de recursos nacionales y capital internacional. El Banco Mundial reconoce que la combinación adecuada de mecanismos normativos y de opciones tecnológicas dependerá de la situación de cada país, de sus recursos y de las inevitables concesiones que es necesario hacer para alcanzar los objetivos económicos y ambientales.

Para muchos países, el gas natural es un combustible muy atractivo. La dificultad estriba en que no siempre se dispone de él donde se necesita, por lo que es indispensable trasladarlo por medio de gasoductos o en forma de gas natural licuado (LNG). Ello requerirá hacer grandes inversiones, mucha cooperación internacional y disponer de mucho tiempo para el desarrollo. El Dr. Stern señaló que el quemado del gas natural produce cantidades relativamente pequeñas de CO₂ en comparación con el quemado del carbón. Sin embargo, el efecto de invernadero del gas natural no quemado (metano) es unas 30 veces mayor que el del CO₂. Por tanto, una tasa de escape de aproximadamente 5% en un gasoducto anularía los beneficios de la reducción de CO₂ que se logran sustituyendo el gas por el carbón en una central eléctrica. »

Sra. J. Aloisi de Lardere, Departamento de Industria y Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Si bien la electricidad está al alcance de casi el 100% de la población de los países industrializados, se estima que 2000 millones de personas de los países en desarrollo no tienen acceso a la electricidad. De ahí que en los países en desarrollo sigan existiendo enormes posibilidades para la electrificación. La electricidad permite hacer un uso limpio y eficaz de la energía en los hogares, el transporte y la industria. Sin embargo, el amplio suministro de electricidad a poblaciones crecientes con niveles de vida cada vez más altos e industrias en expansión introduce el riesgo de repercusiones potencialmente graves en el medio ambiente. Por tanto, la función primordial del PNUMA en la esfera de la energía es fomentar una conciencia ambiental y estimular una mayor atención a los problemas del medio ambiente en la planificación y las políticas en materia de energía.

Dra. A. Tcheknavorian-Asenbauer, Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). Según estimaciones de la ONUDI, el proceso de industrialización en los países en desarrollo -donde tendrá lugar el 60% del crecimiento demográfico mundial proyectado- requerirá que para el año 2025 se tripliquen los suministros de energía.

Las mejoras económicas que se introducen en el equipo existente que usa energía, y la aplicación de buenas medidas de administración interna en las industrias pueden traer un aumento de la eficiencia de hasta el 40%, lo que puede lograrse con inversiones pequeñas a moderadas. Las mejoras de los procesos,

Sobre el Simposio Internacional

Del 16 al 19 de octubre de 1995 se celebró en Viena, Austria, el Simposio sobre electricidad, salud y medio ambiente: Evaluación comparativa en apoyo de la adopción de decisiones. El Simposio fue organizado conjuntamente por el OIEA y otras nueve organizaciones internacionales: la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE), el Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF), la Comisión Europea (CE), la Sesión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP), el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En el Simposio participaron unos 200 expertos procedentes de 53 países y 16 organizaciones diferentes.

El Simposio fue convocado como parte del proyecto interinstitucional denominado DECADES, que patrocinan el OIEA y sus organizaciones asociadas. El proyecto centra su atención en bases de datos y metodologías para la evaluación comparativa de diferentes fuentes de energía para la generación de electricidad. Su objetivo principal es aumentar el intercambio de información y la cooperación entre las partes interesadas y afectadas en el campo del análisis de la demanda de electricidad y la planificación del suministro, con el objetivo de aplicar políticas sostenibles en el sector energético, teniendo en cuenta aspectos económicos, sociales, sanitarios y ambientales. En las sesiones se abordaron los siguientes temas: cuestiones clave en el proceso de adopción de decisiones; evaluación de las repercusiones en la salud y el medio ambiente; marco integrado para la evaluación comparativa; aplicación de la evaluación comparativa; estudios de caso por país; y evaluación comparativa en la adopción de decisiones. En la mesa redonda de clausura la atención se centró en las dificultades que se oponen a la cooperación internacional para aplicar políticas sostenibles en materia de electricidad. Además de las reuniones principales, las exposiciones gráficas ilustraron los resultados de los estudios de las evaluaciones comparativas realizados en diferentes países, y las demostraciones del soporte lógico (software) brindaron a los participantes la oportunidad de obtener información sobre los instrumentos de computadora, las bases de datos y los modelos analíticos más modernos que se emplean en los estudios que se realizan en apoyo de las decisiones.

El OIEA está preparando la publicación de las actas del Simposio.

aunque requieren mucho más capital, pueden lograr ahorros energéticos de más del 50%. Por eso, las autoridades necesitan evaluar todas las opciones disponibles en relación con la conservación y la eficiencia de la energía desde el punto de vista de las posibilidades que ofrecen para contribuir al logro de los objetivos económicos y ecológicos del país.

Las fuentes de energía nuevas y renovables, como la energía solar, la biomasa y las pequeñas centrales

hidroeléctricas, se deben analizar como opciones que permiten descentralizar el suministro de electricidad a las zonas rurales donde, debido a la poca densidad de población, resulta costoso el suministro desde la red central. La Dra. Tcheknavorian recalcó la importante función de la biomasa, en especial la madera, como recurso energético para la población rural y también para las industrias locales. Señaló que la biomasa suministra más del 50% de la energía a la industria en África. Sin embargo, el uso de la biomasa suele asociarse a los ineficientes procesos de conversión y a la recolección de leña, que puede provocar la desforestación.

Además, los países industrializados deberían ayudar a los países en desarrollo mediante la transferencia de tecnologías que se adapten bien a las necesidades y condiciones de estos países. Con objeto de evaluar y comparar diferentes sistemas energéticos, los dirigentes necesitan definir la transferencia de tecnología como el componente estratégico de todo programa energético. Por consiguiente, es menester evaluar en qué grado pueden asimilarse diversas tecnologías, y el tiempo y el costo de ese proceso. Por último, la principal lección que la ONUDI ha extraído de su experiencia en los países en desarrollo es que, para contribuir al desarrollo socioeconómico sostenible, las decisiones que se adopten en relación con los sistemas energéticos deben tener en cuenta la situación específica del país donde se aplicarán.

Dr. L. Olsson, Organización Meteorológica Mundial (OMM). Al pronunciar su discurso de apertura en nombre del Profesor Obasi, Secretario General de la OMM, el Dr. Olsson examinó las cuestiones relacionadas con la energía y el cambio climático. La producción y el uso de la energía tienen múltiples efectos en el medio ambiente, incluidas sus repercusiones en el clima, y las necesidades energéticas están en general relacionadas directamente con el clima y el tiempo. Además, muchas actividades relacionadas con la energía, por ejemplo, la producción de energía a partir de la biomasa, la energía hidroeléctrica y otras fuentes renovables, se basan en recursos que son extremadamente sensibles al clima. La preocupación mundial por los posibles cambios climáticos ha subrayado la necesidad de realizar evaluaciones del impacto ambiental. A fin de asegurar que se haga una valoración justa de los diversos sistemas energéticos, es de suma importancia que se suministre la información pertinente, y es esencial adoptar una actitud imparcial a la hora de evaluar el desarrollo científico, tecnológico y socioeconómico. El proyecto DECADES realiza una importante contribución al logro de este objetivo.

Aspectos destacados de las sesiones técnicas

Sesión 1: Problemas fundamentales del proceso de adopción de decisiones. La sesión, presidida por el Dr. Rajendra Pachauri, Director del Instituto Tata de Investigaciones sobre la Energía de la India, centró su atención en la amplia gama de temas que preocupan a los dirigentes de diversas regiones. Las memorias presentadas demostraron que pueden existir prioridades muy diferentes según el grado de desarrollo

social, económico e industrial de un país dado. Presentaron memorias el Dr. K. Leydon, de la CE; el Dr. H. Khatib, quien habló en nombre del Comité del Consejo Mundial de la Energía encargado de examinar los problemas de la energía en los países en desarrollo; el Sr. L. D. Ryabev y el Sr. Y.F. Chernilyn, Rusia; la Sra. J. Ellis y el Sr. S. Peake, Organismo Internacional de Energía de la OCDE; y el Sr. R. Lanari, Canadá. Se abordaron una serie de aspectos importantes.

- El Dr. Leydon señaló que los países miembros de la Unión Europea dependen de las importaciones para satisfacer el 50% o más de su energía, y probablemente esta cifra aumentará hasta cerca del 70%. El desafío para cualquier economista está en cómo alcanzar los objetivos ambientales y, al mismo tiempo, evitar el incremento de los costos de la energía como un factor de la producción. Subrayó que en una situación geopolítica en evolución no será fácil desarrollar nuevos servicios energéticos para dar respuesta a las cambiantes necesidades; aprovechar la eficiencia energética; y crear nuevas tecnologías y productos. El marco normativo tiene que reflejar adecuadamente la complejidad de las decisiones que se han de adoptar.
- El Dr. Khatib dijo que los países en desarrollo, en particular, los comprendidos en la categoría de países de bajos ingresos, se preocupan más por los costos que por cualquier otro aspecto. Por tanto, tratan de emplear, siempre que es posible, los combustibles locales disponibles sin tener en cuenta su calidad. Además, se asigna prioridad a las tecnologías que requieren pocas inversiones, lo que puede llevar al empleo de tecnologías locales menos eficientes que las más modernas. En la mayoría de los casos, esos países no pueden darse el lujo de hacer las inversiones adicionales necesarias para instalar sistemas de reducción de la contaminación. Ahora bien, los países en desarrollo se están preocupando cada vez más por los problemas ambientales, y tratan de reducir la contaminación, sobre todo donde tenga repercusiones locales.
- El Dr. Khabib apuntó que los dos países en desarrollo de mayor extensión, China y la India, tienen poblaciones de 1175 millones y 900 millones de habitantes respectivamente; una población combinada de 2075 millones de habitantes que es casi la mitad de la población total de todos los países en desarrollo. Las posibilidades del aumento del suministro de electricidad en ambos países son muy altas, y los dos tienen grandes reservas de carbón. Por ende, en los próximos decenios en ambos países el carbón seguirá siendo el combustible principal para la generación de electricidad. De hecho, todos los países en desarrollo con niveles razonables de reservas de carbón comercialmente viables preferirán utilizarlo como su principal combustible para la generación de electricidad. Con objeto de minimizar las consecuencias ambientales del aumento del quemado del carbón, es necesario promover en los países en desarrollo la introducción de técnicas de uso del carbón poco contaminantes.
- Se espera que para el año 2010 la participación de la electricidad en el consumo energético de los países miembros de la OCDE aumente del 18% a más del 21%. La electricidad es una fuente importante de emisiones de CO₂ en estos países, y en 1993 repre-

El proyecto DECADES: Informe de situación

En el Simposio, el Dr. B. A. Semenov, quien hasta enero de 1996 fue Director General Adjunto del OIEA y Presidente del Comité Directivo Mixto del Proyecto DECADES, se refirió a las tres esferas principales de trabajo del proyecto*: bases de datos, metodologías, y capacitación y apoyo para aplicar las evaluaciones comparativas.

Bases de datos. Se ha establecido una base de datos de referencia tecnológica (RTDB) que se usa en computadoras personales. Contiene información numérica, en textos y gráfica sobre las principales características de las tecnologías de generación de electricidad en diferentes niveles de las cadenas de producción con el uso de combustibles fósiles, energía nucleoelectrica y fuentes renovables de energía. Existen varios cientos de tecnologías que se caracterizan por un conjunto detallado de parámetros que incluyen las características técnicas, los costos, las emisiones atmosféricas, los desechos y otras consecuencias ambientales. Al mismo tiempo que se utiliza la RTDB, unos 15 países han recibido ayuda para aplicar las bases de datos por país (CSDB) utilizando el sistema de computadora de la RTDB para almacenar información sobre sus instalaciones de la cadena de generación eléctrica. En las CSDB se incluyen más de 1000 tecnologías.

Metodologías. En materia de metodologías se emprendieron dos tareas fundamentales: 1) la preparación de un informe en que se reseñan los instrumentos de computadora que ya existían para la evaluación comparativa de las opciones y estrategias de generación de electricidad; y 2) el diseño de un nuevo lote de programas de computadora para el análisis y planificación de sistemas eléctricos (DECPAC).

El informe sobre instrumentos de computadora se basa en la información ofrecida por creadores de programas de computadora, procedentes de diferentes países y organizaciones internacionales. El nuevo lote de programas de computadora, DECPAC, se diseñó con el apoyo financiero de los Estados Unidos y ofrece más posibilidades de incorporar aspectos técnicos, económicos, sanitarios y ambientales a la planificación de la ampliación de sistemas eléctricos. Está acoplado a las RTDB y las CSDB, y permite analizar los costos, las emisiones transportadas por el aire, los desechos sólidos y otros riesgos para la salud y el medio ambiente de diversas estrategias de generación de electricidad. Unos 12 grupos de expertos de diferentes países están sometiendo el DECPAC a prueba en estudios de caso y sus primeras experiencias han demostrado que es muy útil para analistas y planificadores del sector energético, y que satisface una necesidad real.

Capacitación y apoyo. Se están organizando cursos prácticos de capacitación a nivel nacional, regional e interregional. En ellos participan grupos de usuarios que se han establecido para promover el intercambio de información entre usuarios y creadores de programas de computadora. Se comenzó a trabajar a finales de 1994 con la preparación de un libro de referencia que incorpora aspectos económicos, sociales, sanitarios y medioambientales a la adopción de políticas en el sector energético. El libro está siendo preparado conjuntamente por el OIEA y el Banco Mundial con importantes aportaciones de otras organizaciones DECADES y expertos nacionales. En el libro se tratan cuestiones como la planificación integrada de recursos, la valoración e internacionalización de los costos externos,

y los instrumentos para el análisis de criterios múltiples y de apoyo a la adopción de decisiones. El libro, cuya terminación está prevista para mediados de 1996, está destinado a ayudar a los dirigentes a diseñar un marco de evaluación comparativa que se adecue a las necesidades y objetivos específicos y a seleccionar los instrumentos de computadora apropiados para realizar estudios de apoyo a la adopción de decisiones.

Estudios de caso. El Dr. Semenov señaló que mediante el programa coordinado de investigación (PCI) del OIEA se han realizado más de 20 estudios de caso por países acerca de la evaluación comparativa de estrategias políticas y alternativas para el sector de la energía eléctrica. En estos estudios participan expertos de la esfera del análisis de sistemas eléctricos, la macroeconomía y la evaluación de los efectos sobre el medio ambiente. El PCI ha resultado en un mayor reconocimiento de la necesidad de armonizar diferentes preocupaciones y prioridades, como, por ejemplo, la reducción de los efectos en el medio ambiente a nivel local y global y el tratamiento comparativo de los aspectos económicos, sociales y de seguridad de los suministros.

Resultados alentadores. El Dr. Semenov dijo que los resultados obtenidos hasta el momento por medio del proyecto DECADES son alentadores y demuestran la eficacia de los esfuerzos conjuntos que realizan las organizaciones internacionales y los expertos e institutos nacionales. Expertos nacionales, especialmente de los países en desarrollo y de países en transición, han mostrado un gran interés por el proyecto. Si bien la primera fase del proyecto se centra en la comparación de diferentes opciones para el suministro de electricidad, ya se han identificado otras nuevas direcciones, sobre todo las relativas a las tecnologías para hacer frente a la demanda. La información sobre estas tecnologías se podría incorporar a las bases de datos y el análisis de las opciones para satisfacer la demanda se podría incorporar al modelo DECPAC. A este respecto, el Dr. Semenov señaló que se ha mantenido una estrecha coordinación con el proyecto para crear un "Environment Manual for Power Development", que ha estado a cargo del Banco Mundial. Los resultados de este proyecto podrían servir de base para seguir mejorando los instrumentos del DECADES.

Otra esfera a la que se asignará mayor prioridad en el futuro será la del análisis comparativo de los efectos en la salud y el medio ambiente. El OIEA ha realizado algunas actividades para establecer una base de datos sobre los Efectos de los sistemas energéticos en la salud y el medio ambiente, pero es necesario seguir trabajando para elaborar un instrumento que pueda utilizarse en el proceso de la evaluación comparativa. En cooperación con los institutos de investigación nacionales, la Comisión Europea también ha trabajado en los costos externos de los sistemas energéticos. Igual valor tendrían los estudios nacionales que utilizan instrumentos que se han diseñado para examinar cuestiones de máxima prioridad, como son la rentabilidad de diferentes sistemas energéticos y las medidas para atenuar las emisiones de gases de efecto de invernadero y otros riesgos ambientales.

* Para el informe anterior, véase "Electricidad, salud y medio ambiente: El proyecto DECADES" por Evelyn Bertel, *Boletín del OIEA*, Vol. 37, N^o 2 (junio de 1995).

sentó el 33% de todas las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía. Por eso, pese a los compromisos contraídos en relación con la Convención Marco sobre el Cambio Climático, se espera que el total de emisiones procedentes de la producción de electricidad en los países miembros de la OCDE aumente, pues se proyecta que la demanda de electricidad se incrementará anualmente en un 2,1% hasta el año 2010. No obstante, las emisiones dependerán de la mezcla de combustible, que en la actualidad es muy diferente entre los países miembros de la OCDE. Por ejemplo, Noruega genera actualmente el 99% de su electricidad a partir de fuentes de energía renovables; Dinamarca utiliza carbón para producir el 87% de su electricidad y el Reino Unido, los Estados Unidos, Australia y Alemania también dependen del carbón para producir la mayor parte de su electricidad. Por otra parte, Francia depende de la energía nucleoelectrónica para producir un 75% de su suministro de electricidad, mientras que Italia genera la mayor parte de su electricidad a partir del petróleo.

- En el Canadá se está incorporando a las poblaciones indígenas a la planificación de un proyecto hidroeléctrico. Como resultado de un amplio proceso de consultas con la población indígena inuit, se logró definir una serie de medidas que podrían contribuir a disipar sus temores acerca de los posibles efectos del proyecto. Además, ese proceso de consultas proporcionó a los miembros de la comunidad cierta confianza y una sensación de control sobre el proyecto, que de otra forma no habrían tenido. Este proceso demostró la importancia de incorporar a las partes interesadas y afectadas como participantes activos en el proceso de adopción de decisiones y no meramente como observadores pasivos.

Sesión 2: Evaluación de los efectos en la salud y el medio ambiente. En esta sesión, presidida por el Prof. Mohan Munasinghe, de Sri Lanka, se analizó el desarrollo actual de los instrumentos utilizados para evaluar los efectos que en la salud y el medio ambiente tienen las cadenas energéticas para la generación de electricidad. Presentaron memorias el Prof. B. Srensen, Dinamarca; el Prof. A. Markandya, de la Universidad de Harvard, Estados Unidos; la Dra. N. Pop-Jordanova, de la ex República Yugoslava de Macedonia; la Sra. D. Lin, de China; la Sra. N. P. Villela, del Brasil; y el Dr. S. Morris, del Centro de colaboración de la Organización Mundial de la Salud a cargo del examen de los efectos de los sistemas energéticos en la salud y el medio ambiente, Laboratorio Nacional Brookhaven, Estados Unidos. En la sesión se hicieron observaciones importantes sobre diversos temas.

- En varias memorias se subrayó la permanente necesidad de mejorar las bases de datos y los instrumentos analíticos para que se puedan reducir las incertidumbres acerca de los datos y los resultados. Es difícil asignar valores monetarios a los efectos de los sistemas energéticos en la salud y aún quedan muchos problemas por resolver. Sin embargo, la valoración en términos monetarios de estos efectos puede facilitar el proceso de adopción de decisiones, tanto para seleccionar los combustibles y las tecnologías, como para ubicar las centrales eléctricas.

- La Dra. Pop-Jordanova propuso que el enfoque normalizado para analizar los efectos sanitarios direc-

tos de la exposición a agentes físicos y químicos se debería ampliar para incluir el análisis de los efectos psicológicos (por ejemplo, el estrés, la ansiedad y el miedo). Sus investigaciones han demostrado que existe una gran diferencia entre los efectos reales de los sistemas energéticos en la salud y los aparentes. La información objetiva y transparente que emane de las evaluaciones comparativas puede contribuir a reducir esta diferencia.

- Todas las tecnologías energéticas entrañan cierto nivel de riesgo para la salud. El Dr. Morris señaló que pese a los muchos estudios realizados sobre los efectos sanitarios relativos de distintos métodos de producción de electricidad, no parece que los resultados hayan repercutido en las opciones de inversión presentes. Sin embargo, debido a la preocupación cada vez mayor del público por los aspectos sanitarios y ambientales de la generación de electricidad, cabe esperar que esos estudios tengan mayor influencia en las futuras decisiones. Por eso es importante que los métodos de evaluación comparativa puedan ofrecer a los encargados de la adopción de decisiones una información científicamente correcta y comprensible.

- Al hacer sus observaciones finales, el Prof. Munasinghe insistió en que los científicos y los analistas aún tienen un largo camino por recorrer para ofrecer el tipo de información amplia que necesitan los dirigentes. Hay que seguir trabajando para investigar ampliamente problemas transfronterizos y mundiales como son, por ejemplo, las emisiones de los gases de efecto de invernadero y su impacto; evaluar, por ejemplo, los efectos a largo plazo que podrían tener las evacuaciones de desechos químicos y radiactivos; y explorar todas las posibles vías de impacto. Las incertidumbres que persisten en cuanto a los datos y a los resultados de los estudios sobre elaboración de modelos no permiten dar respuestas definitivas a todos los interrogantes. Por ello, se necesita una mayor cooperación e intercambio entre los analistas y las instancias decisorias para traspasar suficiente información y resultados útiles de los estudios analíticos a los órganos de decisión.

Sesión 3: Marcos integrados para la evaluación comparativa. En esta sesión, presidida por el Sr. Kurt Yeager, del Electric Power Research Institute, Estados Unidos, presentaron memorias el Prof. P. Capros, Grecia; el Sr. N.J. Eyre y la Sra. J.E. Berry, Proyecto ExternE, CE y Departamento de Energía de los Estados Unidos; el Prof. M. Munasinghe, Sri Lanka; el Dr. S. Hirschberg, Instituto Paul Scherrer, Suiza; el Dr. Y. Uchiyama, Instituto Central de Investigaciones de la Industria de la Energía Eléctrica, Japón; el Dr. I.F. Vladu, OIEA; el Prof. M. Chadwick, Instituto para el Medio Ambiente de Estocolmo, Suecia; y el Dr. R. Wilson, Universidad de Harvard, Estados Unidos. En este artículo se presentan algunos aspectos destacados seleccionados.

- El proyecto ExternE ha demostrado que es difícil poder comparar integralmente distintos ciclos del combustible, pues cada uno tiene repercusiones únicas y las hipótesis utilizadas en la cuantificación pueden afectar la comparación. Algunos ciclos del combustible tienen impactos de muy largo plazo, sobre todo los impactos del calentamiento de la atmósfera resultantes de los ciclos de los combustibles fósiles y los

impactos radiológicos de los isótopos de período largo resultantes del ciclo del combustible nuclear. Tanto los valores monetarios como la metodología para ponderar la distribución de los riesgos para la población, y en qué tiempo y espacio, continúan siendo objeto de polémica, todo lo cual aumenta la incertidumbre. Pese a que quedan algunas cuestiones sin resolver, en el estudio se han hecho avances importantes en la evaluación de los daños en escalas de tiempo y espacio muy prolongadas; la notificación sistemática de estos en relación con los distintos ciclos energéticos; la definición de las restantes incertidumbres; y el realce de parámetros importantes en el proceso de adopción de decisiones.

- En un análisis del ciclo de vida útil de las cadenas de generación de electricidad en Suiza se demostró que la energía nucleoelectrica emite unas 100 veces menos gases de efecto de invernadero que las cadenas de la hulla y 10 veces menos que los sistemas de energía solar. En cuanto a los ciclos de los combustibles distintos de los combustibles fósiles, las centrales eléctricas aportan sólo una pequeña parte de las emisiones de gases de efecto de invernadero, mientras que las demás etapas de la cadena son las que aportan la mayor parte de las emisiones debido al consumo de energía y a la producción de material en esas etapas. En el contexto suizo, las mejoras tecnológicas previstas reducirán las emisiones de gas de efecto de invernadero en un 30% en los sistemas que emplean carbón y energía nuclear; y en un factor de cinco en los sistemas de energía solar con la introducción de paneles de silicio amorfo.
- En un análisis del ciclo de vida útil de las emisiones de gases de efecto de invernadero procedentes de los sistemas de generación y suministro de electricidad del Japón, se observó que los sistemas del carbón, petróleo y gas emiten respectivamente unos 270, 190 y 180 gramos de carbono por kWh de electricidad generada. Por otra parte, la energía hidroeléctrica, la energía nuclear y la energía solar fotovoltaica emiten respectivamente unos 5, 6 y 35 gramos de carbono por kWh. Se espera que las mejoras tecnológicas reduzcan significativamente las emisiones de gases de efecto de invernadero procedentes de los sistemas de electricidad. Las centrales de ciclo combinado que utilizan turbinas de gas alimentadas con gas natural licuado (GNL) emitirán 140 gramos de carbono por kWh en comparación con los 180 gramos por kWh que emiten las centrales alimentadas con gas natural que se emplean actualmente. Se espera que se hagan progresos incluso más significativos en los sistemas de energía nucleoelectrica y fotovoltaica. Los reactores nucleares avanzados con un ciclo cerrado del combustible emitirán unos 2 a 3 gramos de carbono por kWh (contra 6 gramos por kWh que se emiten con la tecnología nuclear actual) y los sistemas fotovoltaicos que empleen células de silicio amorfo emitirán 8 gramos de carbono por kWh (contra 35 gramos por kWh que emiten las centrales de energía fotovoltaica hoy día en explotación).
- El Prof. Chadwick señaló que todos los enfoques de la evaluación de los riesgos ambientales presentan dificultades en relación con el cálculo cuantitativo; no sólo los efectos ambientales son difíciles de cuantificar, sino que no se ha llegado a un acuerdo general sobre lo que se debe cuantificar. Se ha propuesto una

serie de métodos para solucionar este problema y se han adoptado varios posibles enfoques para la evaluación comparativa de los riesgos ambientales. No obstante, es necesario continuar trabajando para alcanzar cierto grado de acuerdo sobre el enfoque que sea más útil para el proceso de adopción de decisiones, y recomendó que esta podría ser una esfera de trabajo útil para la siguiente fase del proyecto DECADES.

- En opinión del Dr. Wilson, cuatro cuestiones acaparan las preocupaciones del público por las fuentes de energía, aunque la magnitud del riesgo que cada una entraña es polémica, ya sea porque los expertos no se ponen de acuerdo o porque el público no confía en los expertos. Las cuatro cuestiones son la probabilidad y el efecto de un accidente nuclear grave; los efectos en la salud de la contaminación atmosférica en partículas; los efectos en el clima mundial del aumento de las emisiones de CO₂ resultantes del quemado de combustibles fósiles; y los desechos provenientes del ciclo del combustible nuclear. El Dr. Wilson subrayó que los accidentes graves pueden suceder y de hecho suceden en los sistemas energéticos, y que el historial global de la energía nucleoelectrica en materia de seguridad es excelente. Los efectos del uso de combustibles fósiles en la salud del público son principalmente los de la contaminación atmosférica, en especial, como resultado de las emisiones de partículas muy pequeñas y sulfatos. Señaló que muchos estudios muestran que parece probable que en el próximo siglo se dupliquen o tripliquen los niveles históricos de las concentraciones atmosféricas de CO₂ del planeta. Aunque cuáles serán sus efectos sigue siendo objeto de grandes polémicas, en general se concuerda en que estamos introduciendo un cambio sustancial en un parámetro climático importante (CO₂) que pudiera afectar a todo el planeta. La energía nucleoelectrica, cuyo efecto en materia de CO₂ es despreciable, puede sustituir al menos una buena parte de los combustibles fósiles para la generación de electricidad.

En relación con los desechos procedentes de los sistemas energéticos, el Dr. Wilson apuntó que muchos expertos opinan que la energía nucleoelectrica es el único sistema energético para el cual la sociedad vislumbra una solución sensata a largo plazo. El público no considera que los desechos del carbón constituyan un problema serio a pesar de que contienen materiales radiactivos con períodos de semidesintegración comparables a los desechos nucleares de período largo. Además, el volumen o el peso de los desechos resultantes de la producción y el quemado del carbón reduce la importancia de los desechos del ciclo del combustible nuclear. Por ejemplo, en los Estados Unidos se extraen anualmente unos 800 millones de toneladas de carbón y cuando se quema para generar electricidad, se producen unos 120 millones de toneladas de cenizas y 20 millones de toneladas de compuestos de azufre.

Sesión 4: Aplicación de la evaluación comparativa. En esta sesión, presidida por el Prof. Zhou Dadi, de China, presentaron memorias el Sr. L. Bennett y colegas, OIEA; el Prof. T. Lefevre, Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (CESPAP); el Sr. T. Herberg y el Sr. U. Fritsche, Alemania; el Sr. M. Amann, Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIASA); el Sr. R. Campo, Colombia; y el Dr. C. Heaps y colegas, Insti-

tuto de Estocolmo para el Medio Ambiente (SEI)-Boston Centre, Estados Unidos.

- Se notificaron los resultados de unos 20 estudios de caso de evaluaciones comparativas, patrocinados por el OIEA como parte del proyecto DECADES. Con los estudios se procuró definir las estrategias de generación de electricidad que se correspondieran con los objetivos de la protección ambiental, en especial la reducción de las emisiones atmosféricas a un costo aceptable. Los resultados generales demostraron que se puede reducir de manera significativa las emisiones y otras cargas ambientales mejorando la eficiencia de las instalaciones existentes en distintos niveles de las cadenas energéticas, incluidas las etapas de conversión y de transporte del combustible. La rehabilitación de las centrales eléctricas actuales, en particular mediante la incorporación de tecnologías para el control de la contaminación, suele ser una medida económica para mitigar los efectos en el medio ambiente. El mejoramiento de la eficiencia general de los sistemas energéticos mediante el fomento de la cogeneración se define como una opción muy eficaz en función de los costos en muchos países, sobre todo en los que ya existen redes de distribución de calor para la calefacción urbana.

En los estudios en que ese aspecto se tuvo en cuenta, la energía nucleoelectrica pareció rentable para reducir las emisiones de SO₂, NO_x y CO₂. Por ejemplo, algunos estudios demostraron que aunque se podrían alcanzar los objetivos de reducir las emisiones de CO₂ sin la energía nucleoelectrica, su uso se traduciría en costos significativamente menores. En general, los estudios demostraron que habría muy pocas posibilidades de reducir las emisiones de CO₂ en el sector de la energía eléctrica si no se usaba la energía nucleoelectrica.

- La CESPAP ha realizado estudios de caso sobre Planificación de la energía y la electricidad (PEE) en el marco del Programa para la cooperación en materia de energía y medio ambiente en Asia. El Prof. Lefevre subrayó que aunque generalmente ahora se acepta el desarrollo sostenible como un objetivo importante de la sociedad, es evidente que la especificación de las políticas sostenibles para el sector energético es una tarea compleja que plantea grandes dilemas a muchos países asiáticos. Los países en desarrollo de Asia se esfuerzan por aumentar la producción y las importaciones de energía, o ambas cosas, para satisfacer los niveles de consumo de energía deseados. Como los países se están desarrollando rápidamente y la capacidad para producir energía tiene que incrementarse con rapidez, se ha puesto énfasis en minimizar los costos de capital sin prestar demasiada atención a las consecuencias ecológicas. Sin embargo, estos países sienten cada vez más la presión que ejercen los organismos multilaterales de préstamo y los países donantes para que presten más atención al medio ambiente y al desarrollo sostenible. Además, como muchos de esos países se han hecho más prósperos, sus ciudadanos se muestran menos dispuestos a sacrificar la calidad del medio ambiente (incluida la salud pública) a cambio de energía barata. Como resultado de ello, los países procuran información técnica y científica, así como metodologías e instrumentos más modernos para el análisis energía-medio ambiente que los

ayuden a adoptar decisiones fundamentadas respecto de sus estrategias de desarrollo energético.

- Conforme al Proyecto SEI/PNUMA sobre Cadenas del combustible, dos países (Venezuela y Sri Lanka) han utilizado el soporte lógico y la base de datos del proyecto para examinar las opciones de combustible y tecnología de entre una gama de combustibles y sectores energéticos. Los dos estudios de caso demostraron que el análisis de la cadena del combustible puede ser útil para poner de manifiesto las ventajas comparativas de los efectos ambientales locales y mundiales. Por ejemplo, en el análisis realizado en Venezuela se constató que aunque se preferiría el gas natural comprimido (CNG) más que el diesel, desde el punto de vista de la contaminación atmosférica local que provoca la central eléctrica, el uso del CNG podría producir mayores emisiones mundiales de gases de efecto de invernadero.

Sesión 5: Aplicación de la evaluación comparativa: Estudios de caso por país. En esta sesión, presidida por el Dr. César Córdoba-Salazar, de Colombia, presentaron memorias el Dr. T. Larsson y colegas, Suecia; el Dr. A. Khan y colegas, Pakistán; el Dr. A. Popescu y colegas, Rumania; el Dr. A. Das, India; el Dr. M. Vielle, Francia; el Dr. J. Geidl y el Dr. S. Kanhouwa, Estados Unidos; y la Sra. S. Messner, IIASA, Austria.

- En los estudios realizados en Suecia se ha comparado el efecto en las emisiones de CO₂ de tres políticas diferentes de impuestos y subsidios en el sector de la energía. Las principales diferencias se observaron entre los sistemas tributarios instituidos en 1990 y 1994, y ciertas diferencias en las políticas de los subsidios en el sector energético. Los resultados demostraron que los cambios introducidos en 1994 en la política energética se traducirían en la reducción, en el año 2005, de las emisiones de CO₂ al 20% por debajo del nivel que habrían alcanzado si se hubiesen seguido aplicando las políticas de 1990. Sin embargo, después del año 2005, o sea, a partir del inicio de la reducción nuclear por etapas planificada, y después, las emisiones de CO₂ aumentarían drásticamente sea cual sea la política que esté en vigor, la de 1990 o la de 1994.

- En el Pakistán, un estudio que se realizó en el marco del proyecto DECADES abordó dos posibles vías para el desarrollo de la generación de electricidad; en una se preveía un crecimiento razonable de la capacidad de energía nucleoelectrica y en la otra se pedía una moratoria. Los dos casos se compararon en relación con las emisiones contaminantes asociadas, como el SO₂, el NO_x, el CO₂, el metano y los radisótopos, teniendo en cuenta la cadena completa de energía de cada opción de suministro. El estudio mostró que un mayor uso de la energía nucleoelectrica en el Pakistán no sólo sería eficaz en función de los costos, sino que ayudaría a reducir las repercusiones en el medio ambiente derivadas de la generación de electricidad en el país.

- En Rumania, una evaluación comparativa de las estrategias alternativas de suministro de electricidad mostró que en el plan de costo mínimo para ampliar el sistema de generación de electricidad se utilizarían centrales eléctricas alimentadas con gas natural con ciclo combinado. El caso de uso ampliado de la

energía nucleoelectrónica arrojó un costo total (hasta el año 2015) aproximadamente 2,6% más alto que con el plan de costo mínimo. Sin embargo, el uso de la energía nucleoelectrónica permitiría reducir las emisiones de CO₂ y NO_x en 70% y 80% respectivamente, hasta el año 2015, en comparación con el caso de costo mínimo.

- En la India se realizó un estudio en que se examinaron distintas medidas para reducir el CO₂, como, por ejemplo, el desarrollo acelerado de la energía hidroeléctrica, el aumento del uso de energías renovables, y un mayor el empleo de tecnologías de uso del carbón menos contaminantes. El sector energético emite más CO₂ que cualquier otro sector de la India, y se espera que la demanda de electricidad aumente entre 6% y 7% anualmente. Si continúa el predominio actual del carbón en la generación de electricidad, las emisiones de CO₂ provenientes del sector eléctrico se triplicarían en los años 2011 y 2012. En el estudio se comprobó que la estrategia menos costosa suponía el desarrollo acelerado de la energía hidroeléctrica. No sólo reduciría los costos, sino también las emisiones de CO₂ en un 12% en los años 2011 y 2012. En el estudio también se analizó un "escenario de reducción" en el que se supuso una reducción del 25% en las emisiones de CO₂ hasta los años 2011 y 2012. Este escenario incluyó tanto el desarrollo acelerado de la energía hidroeléctrica como la introducción de técnicas de uso del carbón menos contaminantes. Los resultados demostraron que este escenario sería un 7% más costoso que el escenario que supone condiciones normales.

- En Francia, se realizó un estudio en el que se examinaron las repercusiones económicas y ambientales de la energía nucleoelectrónica. Se observó que si Francia no hubiera desarrollado su programa nucleoelectrónico, el precio de la electricidad sería un 15% más alto que el actual, y estaría muy expuesto a las fluctuaciones del precio del carbón importado. Las emisiones de dióxido de azufre serían 18% superiores a las actuales, y las otras emisiones atmosféricas serían incluso mucho más altas.

- En el marco del proyecto de investigaciones del IIASA se están examinando las opciones y estrategias a largo plazo para el desarrollo energético sostenible, en particular mediante la evaluación de las posibilidades de reducir el uso de la energía y la gran cantidad de carbón que se utiliza para producir energía a nivel mundial. El proyecto propició un inventario de tecnologías para reducir las emisiones de CO₂ y la aplicación de la información en una serie de estudios. La base de datos contiene información sobre más de 1400 tecnologías, y más del 70% de los asientos corresponde a tecnologías de generación y cogeneración de electricidad.

Sesión 6: Evaluación comparativa del proceso de adopción de decisiones. En la última sesión técnica, presidida por el Dr. Nengah Sudja, de Indonesia, presentaron memorias la Sra. B. Reuber, Canadá; el Prof. R. Dutkiewicz, Sudáfrica; y el Dr. D. Martinsen y el Dr. A. Voss y colegas, Alemania. Se abordaron una serie de temas importantes.

- En el Canadá, Ontario Hydro ha incluido la evaluación comparativa como parte integrante de su proceso de adopción de decisiones. Se han establecido

los valores de factores externos (es decir, los costos sociales como los efectos en la salud, que no siempre se reflejan completamente en el precio de la electricidad) de las centrales eléctricas alimentadas con combustible fósil de Ontario y de todo el ciclo de vida útil de sus centrales nucleares. Los datos preliminares muestran que en el caso de las centrales eléctricas alimentadas con combustible fósil, los valores de factores externos fluctuaron entre un valor bajo de 0,06 centavos de dólar canadiense por kWh hasta un valor alto de 1,66, y un promedio de 0,40 centavos. En el caso de las centrales nucleares, los costos de los factores externos estimados fluctuaron entre un valor bajo de 0,0015 centavos y un valor alto de 0,12 centavos por kWh.

- En un estudio amplio realizado en Alemania se analizaron las posibles vías para el desarrollo futuro del sistema energético nacional, con el objetivo de definir estrategias encaminadas a reducir las emisiones de CO₂ en 30% hasta el año 2005 y en 50% hasta el año 2020. La posible función de la energía nucleoelectrónica como medida de alivio se analizó en cuatro escenarios diferentes de reducción del 50% de CO₂, incluido uno con un aumento de la capacidad nuclear. En el estudio se llegó a la conclusión de que es posible reducir en 50% el CO₂ para el año 2020, y que puede hacerse con tecnologías ya disponibles o que se sabe estarán disponibles en los próximos 30 años. El objetivo de reducir en 50% las emisiones de CO₂ puede lograrse sin usar la energía nuclear como portador energético libre de carbono, aunque a un costo considerable. El incremento del uso de la energía nuclear permitiría alcanzar ese objetivo con costos de suministro de energía más bajos.

Direcciones futuras

El simposio internacional destacó la importancia de las evaluaciones comparativas en apoyo de la adopción de decisiones en el sector de la electricidad. Además, determinó una serie de esferas donde se necesita una mayor cooperación mundial para mejorar la base de información y los instrumentos y metodologías analíticas para realizar estudios comparativos.

Por conducto de sus programas y actividades, el OIEA continúa examinando las esferas en que pueda aprovecharse mejor su experiencia y su asistencia para ayudar a los encargados de formular políticas y adoptar decisiones a nivel nacional a evaluar objetiva e integralmente sus sistemas y estrategias en materia de energía.