

EVALUACIONES COMPARATIVAS DE LAS EMISIONES PROCEDENTES DE SISTEMAS ENERGETICOS

BENEFICIOS Y PROBLEMAS

POR ANDRZEJ STRUPCZEWSKI

Las aplicaciones de la electricidad ayudan a satisfacer diversas necesidades del ser humano, desde aumentar la producción y distribución de alimentos hasta asegurar la atención de la salud y la educación. Cuando los consumidores la utilizan, la electricidad suele considerarse un proceso no contaminante y beneficioso, en cambio, cuando se produce electricidad, se emiten diversas sustancias al medio ambiente, algunas de ellas nocivas para la sanidad humana. En el último decenio, ha aumentado el conocimiento de las cuestiones ambientales, incluida la contaminación atmosférica provocada por diversos sistemas energéticos.

Para estudiar los efectos, los analistas emplean la metodología de la evaluación comparativa de los riesgos, que ha avanzado considerablemente.

A principios del decenio de 1990, la Comisión Europea (CE) inició y llevó a cabo, con éxito, un proyecto especial denominado ExternE. El objetivo del proyecto era determinar los costos externos de los diversos sistemas energéticos que la sociedad sufraga (los costos para la salud son el factor de mayor incidencia).

En la primera etapa del proyecto, que duró hasta 1995, especialistas de los países más experimentados en sistemas específicos (por ejemplo, grupos de Alemania y Gran Bretaña, en el caso del carbón, o de Noruega, en el caso de la energía

hidroeléctrica) evaluaron los costos externos de cada sistema energético.

En la segunda y última etapa de este proyecto, cada país hizo su propio análisis de todos los sistemas energéticos que le interesaban. Los resultados de esos estudios figuran actualmente en los informes nacionales de la CE, y proporcionan los mejores datos sobre las evaluaciones comparativas de los riesgos de los sistemas energéticos.

CONTAMINACION ATMOSFERICA Y EMISION DE RADIACIONES

Las concentraciones de contaminantes atmosféricos clásicos, como las partículas pequeñas y los óxidos de azufre y nitrógeno que se producen en las grandes ciudades y zonas industrializadas, ahora son mucho mayores que los niveles históricos de la radiación de fondo considerada, por lo general, natural.

En los estudios se compararon las concentraciones de dióxido de azufre medidas —contaminante típico procedente de la combustión de combustibles fósiles— con las concentraciones de la radiación de fondo en regiones distantes de los centros industriales y con las concentraciones definidas como admisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS). (Véase el gráfico de la página 20.)

En un estudio realizado por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)

se calculó que el 50 por ciento de esa contaminación se debe al quemado de combustibles fósiles en la producción de energía.

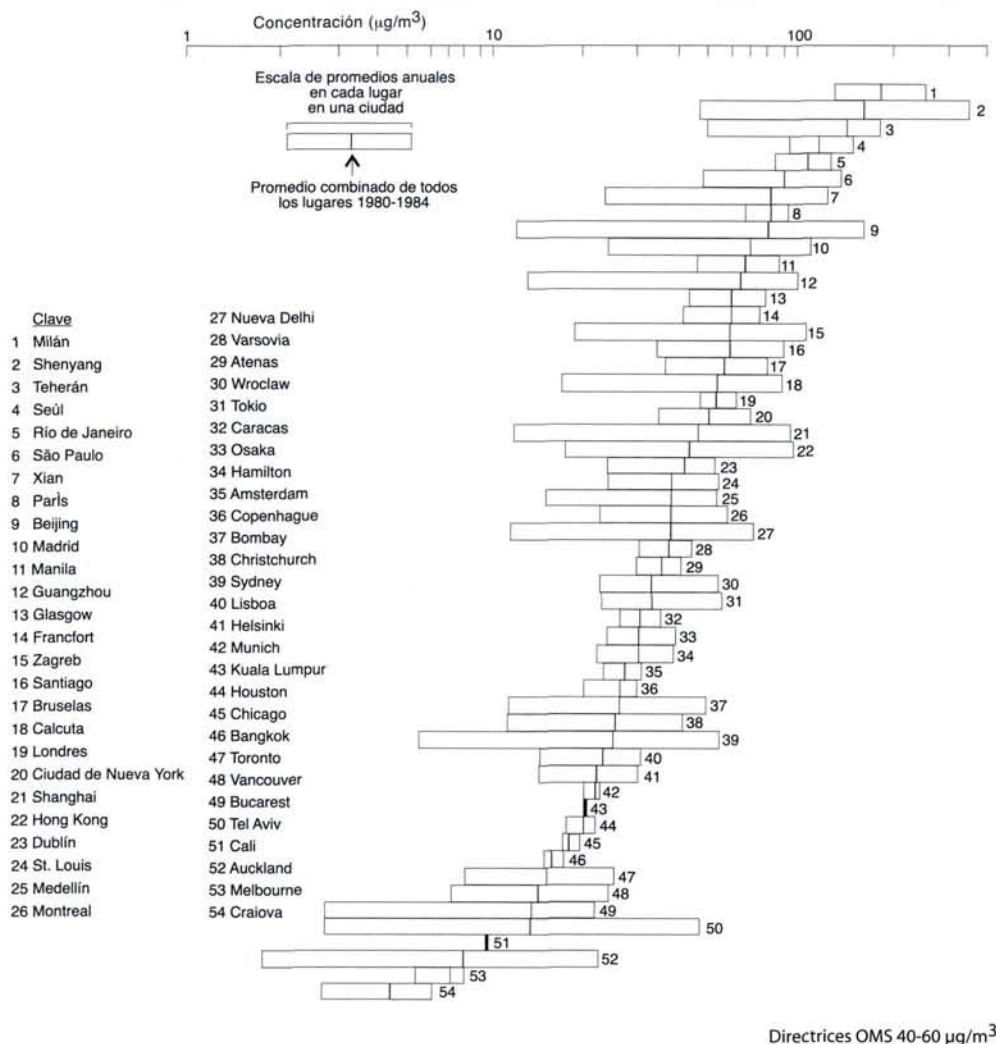
También se han estudiado otras fuentes de energía, incluido el quemado de materias orgánicas, principalmente en países en desarrollo, para fines domésticos como la cocción de alimentos y la calefacción del hogar.

La Agencia Internacional de Energía de la OCDE comunicó que en 1995, el consumo total de biomasa fue de 930 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), y que al menos la tercera parte de la población mundial dependía de la biomasa como su principal fuente de energía. Además de la destrucción del medio ambiente, ocasionada por el quemado indiscriminado de árboles y arbustos, el uso de la biomasa en interiores produce niveles muy elevados de contaminación atmosférica, que se traducen en infecciones respiratorias agudas y cáncer de pulmón. En los países en desarrollo, el número de muertes debidas al quemado de biomasa es elevado.

Por ejemplo, en China, donde cientos de millones de cocinas producen elevadísimas concentraciones de contaminantes dentro del hogar, se calcula que el correspondiente aumento de neumopatías obstructivas crónicas

El Sr. Strupczewski es funcionario de la División de Seguridad de las Instalaciones Nucleares del OIEA.

NIVELES DE DIOXIDO DE AZUFRE EN DETERMINADAS CIUDADES



Fuente: Organización Mundial de la Salud y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1987).

cas, cáncer de pulmón, cardiopatía coronaria y neumonía en la niñez, ocasionan más de 1,4 millones de muertes prematuras todos los años.

Por otra parte, las dosis adicionales de radiación que recibe la población, procedentes del funcionamiento normal de las centrales nucleares son sólo una pequeñísima parte de las variaciones de la radiación natural de fondo. Los niveles de la radiación natural de fondo en muchas regiones extensas oscilan entre menos de 2 milisievert por año (mSv/a) hasta 5 mSv/a. Las contribuciones adicionales de la

energía nucleoelectrica suelen ser de alrededor de 1 a 3 *microsievert* por año, o 1/1000 de las variaciones en los niveles de la radiación natural de fondo.

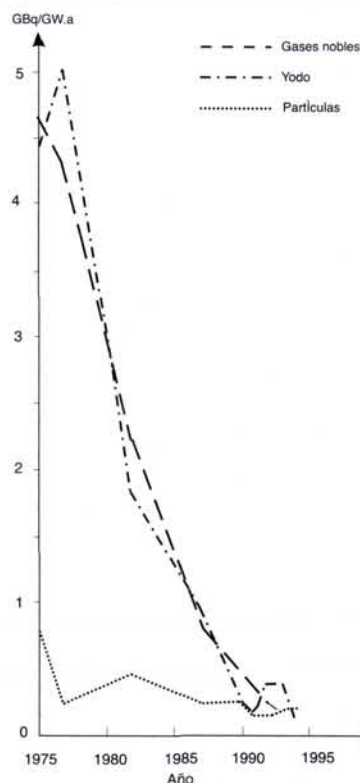
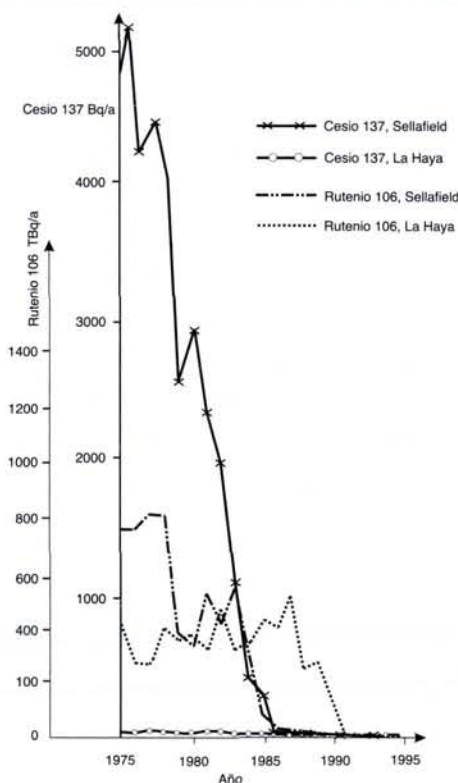
En varios países se han realizado estudios en gran escala de diversos grupos de población, expuestos a dosis de radiación bajas.

Entre ellos está un amplio estudio epidemiológico de una población de China en el que se incluyó a unos 80 000 habitantes de Yangjiang, zona de elevada radiación de fondo, y a un grupo testigo equivalente, de una zona aledaña con niveles de radiación

natural de fondo mucho más bajos. En el estudio de 1997, se llegó a la conclusión de que las tasas de mortalidad por cáncer eran más bajas en la zona de elevada radiación de fondo que en la zona de control. Se ha considerado que las estadísticas del estudio no son suficientes para cuantificar los resultados. Así y todo, sobre la base de los resultados, no pudieron observarse los efectos nocivos de la radiación de bajo nivel.

En los Estados Unidos, se efectuó otro estudio amplio que abarcó 28 000 trabajadores de astilleros nucleares que habían

REDUCCIONES DE LAS EMISIONES RADIATIVAS ANUALES (RADIONUCLEIDOS SELECCIONADOS) PLANTAS DE REPROCESAMIENTO CENTRALES NUCLEARES



Fuente: UNSCEAR, 1993 y 1996.

recibido dosis superiores a 5 mSv durante su vida.

Aunque en el estudio de 1991 no se proponía incluir lo que se denomina “el efecto del trabajador sano”, en él se descubrió que la mortalidad total del grupo irradiado era 24% menor que la del grupo testigo.

Se obtuvieron nuevos resultados con los estudios de 95 000 trabajadores nucleares de los Estados Unidos, el Canadá y el Reino Unido, efectuados por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer. Los resultados notificados en 1995 mostraron que el riesgo relativo adicional para todos los tipos de cáncer (excluida la leucemia) era de menos 0,07, es decir, que el riesgo no aumentaba. Se obtuvieron resultados similares en un estudio realizado en 1997 a 115 000 trabajadores nucleares del Japón.

Se consideró que ninguno de esos resultados era concluyente desde el punto de vista estadístico. Ahora bien, esos estudios, como muchos otros efectuados en el pasado decenio, no han demostrado que haya aumentado la incidencia de mortalidad por cáncer debida a exposiciones a dosis de radiación bajas.

La situación es muy diferente en el caso de la contaminación atmosférica, ya que se han observado consecuencias directas. En diversos casos se ha demostrado de manera fehaciente la relación entre la concentración de contaminantes atmosféricos y una mortalidad muy elevada.

El caso mejor documentado es el episodio de la contaminación atmosférica ocurrido en Londres, en 1952, el cual ocasionó un número total de víctimas que se calcula en 4000 muertes. Los demás casos ocurridos en Bélgi-

ca, Estados Unidos, Brasil, Noruega y Alemania han indicado aumentos significativos de la mortalidad producida por la contaminación atmosférica. En China, en un estudio realizado en 1994, se concluyó que las elevadas concentraciones de SO₂, en Beijing, producen aumentos significativos de la mortalidad.

En esos estudios se evaluaron los efectos de la contaminación atmosférica a corto plazo. La falta de estudios epidemiológicos a largo plazo ha impedido realizar una evaluación más minuciosa de la mortalidad por contaminantes atmosféricos.

A finales del decenio de 1980, los análisis de los efectos de la contaminación atmosférica sólo incluían, como norma, algunos riesgos para la salud, seleccionados de forma arbitraria y muchas veces sin ser suficientemente representativos. A principios de

los años noventa, en los círculos científicos internacionales no se consideraba que los datos disponibles sobre la exposición crónica a la atmósfera contaminada estaban suficiente demostrados para utilizarlos en las evaluaciones comparativas de los riesgos.

A partir de entonces, dos importantes estudios realizados en los Estados Unidos han sido aceptados internacionalmente. En uno de ellos, comunicado en 1993, se estudiaron 6000 habitantes de seis comunidades de los Estados Unidos, y en el otro, realizado en 1995, se evaluaron 552 000 adultos residentes en 151 áreas metropolitanas de los Estados Unidos. Ambos estudios demostraron que los factores de mortalidad debida a exposición crónica en casos de contaminación atmosférica a largo plazo son mucho mayores que los derivados de episodios más breves.

En 1997, los resultados del estudio realizado en 1995, en los Estados Unidos, se incorporaron en el proyecto ExternE de la CE, para que sirvieran de base para evaluar la mortalidad y la reducción de la esperanza de vida provocada por la contaminación atmosférica crónica.

Además, en 1997, en el proyecto ExternE se tuvo en cuenta la influencia de los dióxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno. Se demostró que esos contaminantes producían partículas secundarias consideradas muy peligrosas para la sanidad humana, debido a que el pequeño tamaño de éstas facilita la penetración en los pulmones, donde sus efectos son sumamente nocivos.

Las conclusiones independientes de la CE coinciden perfectamente con las directrices elaboradas por el OIEA para la evaluación comparativa de los riesgos, publicadas en 1997 (*General Guidelines for the Comparative Assessment of Health and Environmental Impacts of Electrical Energy Systems*).

Las directrices indican además la necesidad de llevar a cabo análisis integrales de los riesgos para la salud en relación con todas las etapas importantes de la producción de energía, no sólo la etapa de funcionamiento de la central eléctrica. El proyecto ExternE ha tenido esto en cuenta, con una importante excepción: no considera los sistemas de apoyo que se necesitarán para que la energía eólica y solar se conviertan en fuentes que hagan un aporte importante al suministro de energía. Pasar por alto esos costos externos mejora considerablemente la situación de las centrales helioeléctricas y de energía eólica.

Ahora bien, el proyecto ha considerado las etapas iniciales al evaluar los costos de las fuentes de energía renovables, lo que ha sido un importante paso de avance en las evaluaciones comparativas de los riesgos de los sistemas energéticos.

En el caso de la energía nucleoelectrónica, los analistas han discutido que la emisión de radiación en la etapa de explotación de la central es muy pequeña. Diversos países regulan las dosis de radiación adicionales permisibles procedentes de centrales nucleares en niveles que oscilan entre 0,08 mSv/a, en los Estados Unidos, y 0,3 mSv/a, en Alemania. Sin embargo, las dosis reales anuales son mucho menores, por lo general, entre unos 0,001 y 0,003 mSv/a y, en algunos casos, hasta 0,03 mSv/a.

Las dosis atribuidas a otras etapas del ciclo del combustible nuclear también son pequeñas. Por ejemplo, las dosis procedentes de las plantas de reprocesamiento francesas son inferiores a 0,02 mSv/a. Esta conclusión denota la tendencia a la reducción de las emisiones de radisótopos procedentes de centrales nucleares y de instalaciones del ciclo del combustible. (Véanse los gráficos de la página 21.)

Análogamente, las emisiones de radón procedentes de las colas del

tratamiento del uranio, han merjado de manera significativa, hasta el punto que un estudio realizado, en 1998, descubrió que los efectos integrados de estas emisiones, en la salud, eran unas 150 veces menores que los niveles estimados, en 1993, por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas.

Las emisiones radiactivas procedentes de las plantas de reprocesamiento son muy pequeñas, a veces imposibles de medir. Así y todo, algunos isótopos radiactivos liberados tienen tiempos de desintegración muy prolongados, y la integración de sus efectos en largos períodos (100 000 años) puede conducir a dosis colectivas significativas.

HIPOTESIS Y ENFOQUES

En los estudios para la evaluación comparativa de los riesgos, deberían aplicarse metodologías comparables para diversos sistemas energéticos. Sin embargo, no ha sido así, y los estudios se han basado en conjuntos de hipótesis y enfoques diferentes.

Por ejemplo, en los estudios se han descartado las enfermedades de los mineros del carbón, debidas a la neumoconiosis (más conocida como "antracosis") o a la inhalación de radón, aunque el número de víctimas llega a los cientos de miles. Ello se hizo porque los analistas consideraban que el aumento de la seguridad en la minería prometía poder desembarazarse de esos riesgos para la salud. Por otra parte, los estudios sí consideran la exposición de los mineros del uranio al radón, aunque las dosis de radiación colectivas (por GWe/a) son más pequeñas para el uranio que para el carbón.

Asimismo, cabe mencionar otros ejemplos.

■ Con frecuencia, se excluyen diversos contaminantes atmosféricos como, por ejemplo, el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno, mientras que en el

caso de la energía nucleoelectrónica, se siguen todas las posibles vías de riesgos radiológicos. El último estudio de ExternE es el único que tiene en cuenta todos los contaminantes atmosféricos importantes.

■ Los cálculos de los efectos de los contaminantes atmosféricos para la salud suelen limitarse a 80 kilómetros o a un país, y el estudio más amplio (ExternE) abarca Europa. No obstante, los efectos de la radiación ionizante se calculan para todo el mundo.

■ El horizonte cronológico de los estudios de los contaminantes atmosféricos suele limitarse al tiempo presente, mientras que en el caso de la radiación ionizante se prolonga cada vez más y más, hasta llegar a 100 000 años en el último estudio de ExternE.

Suele descartarse con demasiada facilidad el hecho de que los productos radiactivos se desintegran hasta desaparecer, mientras que los contaminantes químicos siguen siendo tóxicos para siempre. Una de las razones tal vez sea que hay buena información sobre la desintegración de las sustancias radiactivas y sobre las formas en que posiblemente se filtran a través de la biosfera. Por otra parte, hay muy poca o ninguna información sobre el comportamiento a largo plazo de los desechos tóxicos procedentes de los ciclos de los combustibles no nucleares.

La falta de datos sobre las consecuencias de las actividades no nucleares para la salud se ha utilizado con frecuencia para justificar la exclusión de algunos costos externos para la salud de otros tipos de sistemas energéticos. Un ejemplo típico es el costo inicial de las fuentes renovables.

Si bien es cierto que las fuentes de energía renovables son inocuas para el medio ambiente durante la etapa de explotación de la central eléctrica, el desarrollo de estas fuentes entraña enormes gastos de material y energía antes de construir la central.

EFFECTOS EXTERNOS DE CENTRALES ELECTRICAS DE COMBUSTIBLES FOSILES EN ALEMANIA

TIPO DE CENTRAL	CARBON*	LIGNITO*	PETROLEO*	GAS*
Contenido de azufre del combustible	0,9%	0,3%	0,2%	0%
EMISIONES (miligramos por kilovatio-hora)				
Central eléctrica SO ₂	288	411	1088	0
Ciclo total SO ₂	326	425	1611	3
Central eléctrica NO _x	516	739	814	208
Ciclo total NO _x	560	790	985	277
Total de las partículas de la central	57	82	18	0
Ciclo total, total de partículas	182	511	67	18
COSTOS EXTERNOS DE LA GENERACION DE ELECTRICIDAD (costo en mili-ECUS por kilovatio-hora)				
Daños a la salud debidos a la central/ciclo total				
	11,9/13,4	15,2/16,0	25,7/33,3	2,8/4,3
Accidentes	no cuantificado			
Calentamiento atmosférico	3,0-110,5	3,9-143,1	3,3/120,4	1,3-48,5
Otros efectos	0,16	0,23	0,64	0,04
Ciclo total del calentamiento	3,4-125	4,0-149	3,5-132	1,5-56
Otros efectos	0,16	0,23	0,64	0,04
COSTOS EXTERNOS TOTALES				
(por TWh)	17-138	20,2-165	37,5-166	5,8-60
PERDIDA TOTAL EN LA ESPERANZA DE VIDA				
(años de vida perdidos por TWh)	141,5	165	359	46

* Carbón = carbón pulverizado, desulfurización de gas de combustión (DGC), reducción de óxidos de nitrógeno (denox), sistemas de eliminación de polvo; lignito = lignito pulverizado, DGC, denox, eliminación de polvo; petróleo = central eléctrica de carga punta; gas = turbina de gas, ciclo combinado

Fuente: Proyecto ExternE, 1997, Comisión Europea.

DOSIS COLECTIVAS PROCEDENTES DE DIVERSAS ETAPAS DEL CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Dosis colectivas del ciclo cerrado del combustible nuclear (Sv-hombre/TWh)

ETAPA	FRANCIA	ALEMANIA	R.UNIDO
EXTRACION Y TRATAMIENTO DE MINERALES			
público	0,177	0,1	0,1
trabajadores	0,112	0,0058	0,7
GENERACION DE ELECTRICIDAD			
público	1,88	0,63	0,407
trabajadores	0,352	0,39	0,028
ACCIDENTE GRAVE (dosis por año reactor)			
público	0,019 a 2,9*	0,019	
REELABORACION			
público	10,3	3,3	0,448
DISPOSICION FINAL DE DESECHOS			
público	0,166	0,14	
Dosis colectiva total	13,0	4,6	1,7
Pérdida en la esperanza de vida			
(años de vida perdidos por TWh)	9,8	3,0	1,3

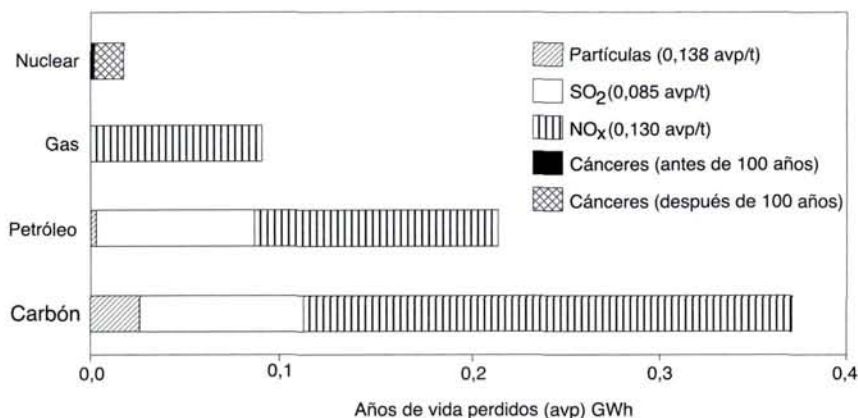
* Valor superior estimado para las centrales nucleares (no se incluye en las estimaciones para los países de la UE).

Fuente: Estudio ExternE, 1997, de la Comisión Europea y SENES, Reino Unido, 1998. Los datos en cursivas fueron corregidos a partir del estudio de la CE, usando los resultados de SENES correspondientes a la extracción y el tratamiento del uranio.

En comparaciones recientes se muestra que las cantidades de acero y metales no ferrosos que se necesitan por GWe/a para los

sistemas solares son de 30 a 150 veces mayores que para la energía nucleoelectrónica, y que incluso la cantidad de hormigón y

COMPARACIONES DE LOS RIESGOS PARA LA SALUD POR SISTEMAS ENERGETICOS



Nota: Las comparaciones se basan en los costos de los daños, por tonelada de contaminante, evaluados en el Proyecto ExternE de la CE; gráfico proporcionado por A. Rabl, Francia.

cemento es seis veces mayor en el caso de las tecnologías solares que en el de las nucleares.

Además, la cantidad de electricidad necesaria para producir todos esos materiales y construir la central helioeléctrica es muy grande, o sea, llega hasta el 30% de toda la electricidad que produciría la central durante su vida útil. La producción de esta electricidad también afecta al medio ambiente y a la salud, de modo que, en suma, las centrales helioeléctricas contribuyen a la contaminación ambiental, incluso antes de comenzar a producir electricidad. Con frecuencia, este aspecto no se ha tenido en cuenta. Como se señaló, el último estudio ExternE ha corregido, en la mayoría de los casos, muchos de estos errores.

Para mejorar las evaluaciones comparativas de los riesgos, diversos grupos de especialistas que participan en las reuniones de comité técnico del OIEA han formulado una serie de propuestas. Una de ellas es la introducción de cierto nivel de riesgo, por debajo del cual los riesgos individuales podrían considerarse poco significativos para integrarlos con el objetivo de comparar los riesgos. Establecer un límite como éste para los efectos de todos los sistemas energéticos en la salud ofrece-

ría una mejor coherencia y comparabilidad de evaluación que la práctica actual, ya que ésta divide los efectos en diversas distancias y períodos, o no tiene debidamente en cuenta algunas etapas de la cadena del combustible.

RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS

Aunque las mejoras tecnológicas permiten reducir de manera significativa los problemas ambientales del ciclo de utilización del carbón, las emisiones de las centrales eléctricas alimentadas con carbón, existentes y previstas, siguen siendo elevadas. El estudio ExternE de 1995 reconoce que, desde el punto de vista técnico, es posible continuar reduciendo las emisiones. No obstante, señala que esas reducciones están vinculadas a grandes aumentos de los costos de construcción y de las pérdidas operativas. Por tanto, se espera que las compañías de electricidad construyan centrales que se ajusten a los reglamentos actuales y no a las posibilidades técnicas.

En el caso del ciclo del combustible nuclear, en estudios realizados en Francia, Alemania, Suecia y el Reino Unido se determinaron importantes contribuciones a los problemas

radiológicos. (Véase el cuadro de la página 23.)

En esos estudios, todos los riesgos radiológicos se integraron a toda la población mundial y en períodos muy largos, de hasta 10 000 o incluso 100 000 años. Las contribuciones significativas se deben a las actividades de extracción y tratamiento de minerales, a la explotación de las centrales nucleares y el reprocesamiento del combustible. También se calcularon los riesgos radiológicos debidos a otras etapas del ciclo del combustible nuclear, aunque resultaron muy pequeños.

Aunque las comparaciones incluyen hipótesis mucho más conservadoras para el sistema nuclear que para los sistemas de suministro de energía fósil, los resultados indican que los problemas para la salud relacionados con la generación de electricidad menos importantes son los de la energía nucleoelectrica. Se calcula que sean unas cien veces menores que en el caso del carbón o del petróleo y varias veces más pequeños que en el del gas. (Véase el gráfico de esta página.)

En conclusión, los estudios internacionales del último decenio ilustran la importancia de evaluar los costos externos para la salud del ciclo total de los sistemas de producción de energía. En general, se aplican enfoques más conservadores en las evaluaciones de los riesgos radiológicos que en las de la contaminación atmosférica procedente de otros sistemas energéticos. Con todo, los resultados indican que, en condiciones de explotación normales, la energía nucleoelectrica tiene consecuencias para el medio ambiente y para la salud menores que los combustibles fósiles. Las estimaciones de las fuentes de energía renovables siguen siendo incompletas, y según las hipótesis del estudio, los efectos estimados son ligeramente inferiores o superiores a los de la energía nucleoelectrica. □