

EVALUACIONES COMPARATIVAS DE LOS RIESGOS DE LAS OPCIONES ENERGETICAS: SIGNIFICADO DE LOS RESULTADOS

POR RICHARD WILSON, MIKE HOLLAND, ARI RABL Y MONA DREICER

En la creación de técnicas de evaluación comparativa de los riesgos y en el uso y la interpretación de sus resultados se han hecho notables progresos, en particular, en la evaluación de las opciones para la generación de electricidad y el transporte. Los resultados obtenidos han llegado a prestar valiosa ayuda para la adopción de decisiones, aunque a menudo es necesario integrarlos en otros problemas sociales, políticos y económicos antes de poder adoptar una decisión.

Desde 1990, se han publicado siete estudios en que se analizan las cadenas "completas" del combustible. (Véanse el recuadro y los cuadros de las páginas 15 y 16.) En todos ellos, se calculó el costo monetario de los riesgos, aunque se analizaron con no mucha profundidad, los valores no monetarios.

El examen de los resultados de esos estudios indica que:

- Existen diversas estimaciones de los daños debido a las diferentes hipótesis y metodologías. Tales diferencias también muestran la evolución de un enfoque metodológico, más completo en estudios recientes, como el proyecto ExternE, de la Comisión Europea.
- Las grandes diferencias existentes en las hipótesis y metodologías dificultan las comparaciones directas; y
- En ninguna de las evaluaciones se pudieron incluir todos los efectos potenciales (por ejemplo, el calentamiento de la atmósfera en cierta medida, o la posible desviación de material fisiónable). Estas limitaciones deben señalarse a la atención de las autoridades, para que puedan

incorporarse como factores en cualquier decisión.

Las principales polémicas en materia de evaluación comparativa de los riesgos se refieren al calentamiento de la atmósfera provocado por los combustibles fósiles; los accidentes catastróficos, particularmente en centrales nucleares y grandes centrales hidroeléctricas; y la disposición final de los desechos radiactivos de actividad alta. Estas cuestiones incluyen problemas técnicos y complejos problemas de carácter social y político. Sin embargo, la evaluación comparativa de los riesgos debería proporcionar información transparente a fin de que se comprendan correctamente las limitaciones y los aciertos de los resultados.

Entre las cuestiones y los efectos específicos que deben evaluarse al comparar los sistemas energéticos figuran:

Combustibles fósiles: En este caso, los efectos principales son el calentamiento de la atmósfera y la mortalidad debida a la contaminación atmosférica (partículas, NO_x y SO₂). El gas natural es menos contaminante y, por tanto, sus efectos son menores que los del carbón, alrededor de dos a cuatro veces menores en las centrales que cumplen las normas sobre emisiones que se están aplicando en la Unión Europea (UE). Los valores monetarios de los efectos derivados del uso de combustibles fósiles son relativamente altos, sobre todo en la generación de electricidad a base de carbón (oscilan entre el 10% y el 100% del precio de mercado de la electricidad de las centrales actualmente en explotación en la UE).

El calentamiento de la atmósfera suele aceptarse como un riesgo importante derivado de la combustión de combustibles fósiles, pero es menester realizar más estudios sobre sus posibles efectos. En el informe del proyecto ExternE de la CE, publicado en 1999, se examina la influencia de algunos de los parámetros más sensibles en el análisis del calentamiento de la atmósfera. Si bien el informe no limita la diversidad de resultados ya notificados sobre los efectos del calentamiento de la atmósfera, se aclara cuáles incertidumbres probablemente serían más significativas. Parece posible que, como los combustibles fósiles seguirán utilizándose en el futuro, aumentarán los niveles de los gases de efecto invernadero y habrá que hacer más estrictos los reglamentos para el control de las emisiones.

Energía nucleoelectrónica. Respecto de la generación de energía nuclear, las principales repercusiones son posibles cánceres y efectos hereditarios derivados de la exposición a mayores niveles de radiactividad en el medio ambiente.

En cuanto al público, los riesgos individuales ocasionados por las emisiones habituales de todo

El Sr. Wilson es Mallinckrodt profesor de Física de la Universidad de Harvard, EE.UU.; el Sr. Holland es Consultor Jefe en AEA Technology, Reino Unido; el Sr. Rabl es Responsable Científico en el Centre d'Énergetique, Ecole des Mines, Paris, Francia, y Profesor Investigador de Ingeniería Civil, de la Universidad de Colorado, EE.UU.; y la Sra. Dreicer es Consultora sobre Evaluaciones Ambientales en Washington, DC, EE.UU.

EVALUACIONES COMPARATIVAS DE RIESGOS DE CADENAS ENERGETICAS DEL COMBUSTIBLE EN EL DECENIO DE 1990

AÑO/ESTUDIO

1991: *Environmental Costs of Electricity*, R.L. Ottinger et al, Ocean Publications, Nueva York (1991)

1992: *"The Social Costs of Fuel Cycles"*, D.W. Pearce, C. Bann y S. Georgiou, informe para el Departamento de Comercio e Industria del Reino Unido, CSERGE, University College of London (1992); y *"Development of Externality Adders in the UK"*, D.W. Pearce, presentación en el taller de la Comisión Europea, el Organismo Internacional de Energía y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (30-31 de enero, 1995).

1993: *"External Costs of Electricity Generation"*, R. Friedrich y A. Voss, Energy Policy (febrero, 1993).

1994: *"An Analysis of Electricity Generation Health Risks: A UK Perspective"*, D.J. Ball, L.E.J. Roberts y A.C.D. Simpson, Centre for Environmental and Risk Management, School of Environmental Sciences, Univ. de East Anglia, Norwich, Reino Unido (1994).

1994: *External Costs and Benefits of Fuel Cycles*, Russell Lee, redactor, Oak Ridge National Laboratory and Resources for the Future, Oak Ridge, Tennessee, EE.UU. (1994).

1995: *The New York City Electricity Externality Study*, R.D. Rowe, C.M. Lang, L.G. Chestnut, D. Latimer, D. Rae, S.M. Bernow y D. White, Ocean Publications, N.Y. (1995).

1995: *ExternE: Externalities of Energy*, Comisión Europea, Directorate General XII, Luxemburgo (1995).

1996: *Environmental Impacts and Costs: The Nuclear and Fossil Fuel Cycles*, A. Rabl, P.S. Curtiss, J.V. Spadaro, B. Hernández y A. Pons, Comisión Europea, Luxemburgo (1996).

1996: *Counting the Social Costs: Electricity and Externalities in South Africa*, C. van Horen, Elan Press y UCT Press, Univ. de Ciudad del Cabo (1996).

1999: *ExternE: Externalities of Energy*, Comisión Europea, Directorate General XII, Science, Research & Development, Luxemburgo (1999). Tres vols. sobre aplicación nacional, actualización de metodología y efectos del calentamiento atmosférico.

ATRIBUTOS CLAVE

Alcance: EE.UU. Evaluación de la energía nuclear, hidroeléctrica, solar, eólica, a partir del carbón, petróleo, gas y la derivada de los desechos. Efectos analizados: salud, cultivos, bosques, pesca, materiales, visibilidad. Evaluación del calentamiento atmosférico mediante reducción de los costos de descontaminación, no el costo de los daños.

Alcance: Reino Unido y Unión Europea. Evaluación de trece cadenas del combustible/tecnologías. Efectos analizados: salud, cultivos, bosques, diversidad biológica, materiales, visibilidad.

Alcance: Alemania. Evaluación de la energía nuclear, eólica, fotovoltaica, y del carbón. Efectos analizados: bosques, agricultura, fauna, materiales, salud.

Alcance: Reino Unido. Evaluación de la energía nuclear, eólica y de las mareas, y del carbón, petróleo, gas. La atención se centró en los riesgos para la sanidad humana. No se tienen en cuenta la contaminación atmosférica transfronteriza ni el calentamiento atmosférico. No se realizó valoración monetaria.

Alcance: Dos emplazamientos al sudeste y sudoeste de los EE.UU. Evaluación de la energía nuclear, hidroeléctrica, del carbón, petróleo, gas y de la incineración de biomasa. Efectos locales y regionales.

Alcance: Dos emplazamientos (estado de Nueva York) EE.UU. Evaluación de la energía nuclear, eólica, del carbón, petróleo, gas, y de la incineración de biomasa. Efectos locales y regionales.

Alcance: Unión Europea, numerosos emplazamientos (Reino Unido, Alemania, Francia, Noruega). Evaluación de la energía nuclear, hidroeléctrica, eólica, a partir del carbón, lignito, petróleo, gas. Efectos locales, regionales, mundiales. Estudio de la literatura sobre calentamiento atmosférico.

Alcance: Aplicación de ExternE de 1995 en Francia. Evaluación de la energía nuclear, del carbón, petróleo, gas. Primer estudio sistemático de la dependencia de los emplazamientos.

Alcance: Aplicación de ExternE/Rowe et al en Sudáfrica, Evaluación de la energía nuclear y del carbón.

Alcance: Catorce países de la Unión Europea y Noruega. Muchas tecnologías. Evaluación de los efectos locales, regionales y mundiales. Nuevo análisis del calentamiento atmosférico. Mortalidad crónica aplicada a partículas primarias y secundarias. Valoración de la mortalidad usando años de vida perdidos (YOLL).

RESUMEN DE LOS EFECTOS Y COSTOS DE LOS DAÑOS PARA LA CADENA DEL CARBON

Estudio	Efectos (muertes por TWh)		Costos de los daños (en miles de euros por kWh)			
	Muerte ocupacional	Salud Pública	Salud ocupacional	Medio ambiente	Calentamiento atmosférico	Total del estudio
Ottinger <i>et al</i> 1991						22-55
Pearce <i>et al</i> 1992		0,05		0,005	0,04	0,14
Pearce <i>et al</i> 1995						0,11
Friedrich & Voss 1993		0,01-0,07		0,013-0,015		0,02-0,09
Ball 1994	0,04-0,14					
ORNL/RFF 1994		0,01-0,64	0,08	0-0,1	nc	0,7-1,4
Rowe <i>et al</i> 1996		3 a 5		0,01	nc	3 a 5
ExternE 1995	0,13-0,23	4 a 13	1 a 2	0,2 a 0,8	10 a 18	16 a 34
					(Tasa de actualización al 0%)	
Rabl <i>et al</i> 1996		5 a 14	nc	0,02	15	20 a 29
ExternE 1999		10 a 50		0,5 a 2	10 a 50	20 a 100

Notas: Los números se han redondeado. Para los totales del estudio, remítase a otras columnas para ver las inclusiones.
nc = no cuantificado

RESUMEN DE LOS EFECTOS Y COSTOS DE LOS DAÑOS PARA UNA CADENA DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Estudio	Efectos (muertes por TWh)		Costos de los daños (en miles de euros por kWh)					
	Personas fallecidas	Muertes ocupacionales	Salud Pública	Ocupacionales	Salud ambiental	Calentamiento atmosférico	Accidente grave	Total del estudio
Ottinger <i>et al</i> 1991			4,9				18,5	23
Pearce <i>et al</i> 1992			0,003-0,009			0,0012	0,002-0,006	0,007-0,017
Pearce <i>et al</i> 1995						0,0012	0,006-0,044	0,006-0,044
Friedrich & Voss 1993			0,001-0,005		0-0,002		0,0005-0,004	0,002-0,01
Ball 1994	0,01-1,23	0,02-0,09						
ORNL/RFF 1994			0,012	0,08-0,09				0,09-0,1
Rowe <i>et al</i> 1996								0,09
ExternE 1995	0,65	0,04	2,4	0,15				2,6
Dreicer <i>et al</i> 1995	0,62	0,02	2,4	0,14			0,0005-0,023	2,5

Notas: Los números se han redondeado. Para los totales del estudio, remítase a otras columnas para ver las inclusiones.

el ciclo del combustible nuclear tienden a ser pocos, de no ocurrir accidentes. No obstante, si se analizan durante períodos prolongados respecto de la totalidad de la población mundial, el riesgo colectivo parece significativo, según las hipótesis generalmente aceptadas por los círculos relacionados con la protección radiológica.

Otras cuestiones se refieren a las hipótesis sobre los cambios en el clima político internacional y el cumplimiento por parte de los gobiernos de las normas aceptadas a nivel mundial. A juzgar por las lecciones aprendidas en los últimos diez años, para no mencionar los sucesos de los últimos milenios, es evidente

que no deberían desatenderse los factores políticos.

Si los analistas dan por sentado el cumplimiento por los gobiernos de todos los reglamentos de seguridad y excluyen el examen de los accidentes catastróficos, los efectos de la energía nucleoelectrica son pocos (la valoración en términos monetarios o el "costo" de estos efectos representan un bajo porcentaje del precio de mercado de la electricidad, mucho más bajo que en el caso de los combustibles fósiles).

Entre otras consideraciones figuran los costos sociales de otras preocupaciones del público, como la proliferación de los materiales fisionables; éstos no han sido incluidos en la mayoría

de las evaluaciones comparativas de los riesgos, aunque se analizaron en el más reciente informe del proyecto ExternE.

Fuentes de energía renovables. Existe una gran variedad de tecnologías de energías renovables, pero su evaluación resulta difícil debido a que algunos de sus efectos son muy específicos de cada emplazamiento. Durante la etapa de generación de electricidad, sus efectos son pequeños, con excepción de la biomasa (donde los materiales se quemar en el emplazamiento) y algunas centrales hidroeléctricas de ciertos lugares (donde los cambios en el flujo de las aguas pueden afectar gravemente al medio ambiente).

Sin embargo, en general, los efectos de las fuentes renovables pueden ser importantes en la etapa de producción del equipo y construcción de la central. Ello obedece a que el volumen de materiales utilizados por unidad de generación de energía efectiva es mayor que con otros sistemas energéticos. Algunas tecnologías de las energías renovables pueden repercutir de manera significativa en la comodidad de las personas (como el ruido). Se tiene noticia de la experiencia con algunas centrales hidroeléctricas de la India, que demuestra la importancia de tener en cuenta el uso de la tierra y los efectos sociales y culturales, sobre todo en los lugares con grandes poblaciones desplazadas.

INTERPRETANDO LOS RESULTADOS

Métodos de comparación. Las cuestiones clave en la evaluación comparativa de los riesgos se refieren a los métodos de obtención de un denominador común para comparar los resultados. Las cuestiones guardan relación directa con la metodología de evaluación y son importantes para la interpretación de los resultados. En todos los casos, los métodos utilizados influirán notablemente en cómo puede emplearse la información para adoptar decisiones.

Una vez estimadas las emisiones y/o los efectos de las diferentes cadenas energéticas del combustible, en muchos estudios se han cuantificado y calculado sus valores monetarios, a menudo denominados "costos externos". Esta valoración sigue siendo controvertida, particularmente en lo referente a la vida humana o a otros efectos que no están sujetos de igual forma a las fuerzas del mercado en los distintos países.

Se han creado métodos que tienen en cuenta estos tipos de "costos sociales", pero no han sido aceptados por todos los analistas.

Otro método que puede emplearse en determinadas situa-

ciones es el de basar la interpretación de los resultados en los "excesos" de las normas ambientales; en otras palabras, en la magnitud en que éstas se exceden. Muchos estudios han comparado los riesgos de esta forma, y el enfoque es pertinente, en particular, cuando han de analizarse cuestiones relativas a la diversidad biológica y el efecto ecológico y la valoración en términos monetarios sería muy subjetiva.

Cuando se aplica este enfoque, resulta vital comprender el fundamento y la pertinencia de las normas que se emplean. Las normas seleccionadas deben estar relacionadas con la evaluación comparativa específica de los riesgos que se realiza, pues, por lo general, no pueden transferirse a otros estudios y complicarán la interpretación de los resultados. Acuerdos internacionales, como el Protocolo de Montreal y el Acuerdo de Kyoto de 1997, pueden utilizarse como puntos de referencia para interpretar los resultados.

Otro método de comparación consiste en clasificar los riesgos mediante técnicas como el análisis de criterios múltiples y la selección de los riesgos. Esas técnicas tienen algunas ventajas en comparación con la evaluación económica, en el sentido de que, en teoría, al menos, pueden asignar valores ponderados a todos los efectos conocidos sin necesidad de hacer otra valoración experimental. Los valores ponderados asignados a cada efecto pueden tener efecto en los resultados, y el análisis de sensibilidad es una valiosa ayuda para interpretar los resultados en estas circunstancias.

Actualmente, el método de la valoración monetaria tiene una gran ventaja porque, a nivel mundial, prácticamente todas las personas conocen el sistema de medición utilizado. De ahí que los resultados obtenidos puedan comprenderse mejor que los obtenidos de la aplicación de

ponderaciones basadas en análisis de criterios múltiples.

Escalas de tiempo y espacio. La interpretación de los resultados de las evaluaciones comparativas de los riesgos depende además de la escala de tiempo durante la cual ocurren y se evalúan los efectos. Si se utiliza la valoración en términos monetarios y la actualización, cobra aún más importancia el uso de escalas de tiempo similares al evaluar diferentes efectos. Es preciso tener en cuenta la selección de tasas de actualización al interpretar los resultados, pues la tasa seleccionada podría contribuir a minimizar los riesgos a largo plazo, lo que no es aceptable para todo el mundo.

Análogamente, los períodos de más de 25 años generarán problemas de equidad entre generaciones, que pueden afectar mucho a la interpretación y posterior uso de los resultados. Al seleccionar las tasas de actualización de los costos de los efectos entre generaciones, suele pasarse por alto una variable decisiva: la evolución de tecnologías y costos futuros.

Por ejemplo, si se descubre la cura sencilla e indolora del cáncer, la mayor parte de los efectos y, por tanto, los costos de la cadena del combustible nuclear pueden llegar a ser despreciables. Del mismo modo que con respecto al calentamiento de la atmósfera una serie de medidas podría atenuar los efectos y los costos de las cadenas de los combustibles fósiles. A la luz de estos factores, la ponderación de los efectos a largo plazo suele entrañar la selección de escenarios.

Además de los gases de período largo mundialmente dispersos (gases de efecto invernadero, carbono 14, yodo 129), la mayoría de los efectos son bastante locales y dependen del emplazamiento.

En el caso de los contaminantes atmosféricos gaseosos, el NO_x y el SO₂, los efectos pueden variar fácilmente en magni-

tud de acuerdo con las condiciones del emplazamiento y la altura de la chimenea.

Por ejemplo, una chimenea alta dispersa los contaminantes a mayor distancia del emplazamiento, y hace que la ubicación de la central eléctrica tenga mucha menos importancia en la evaluación de los efectos a largo plazo de las partículas. La dependencia del emplazamiento es particularmente importante en el caso de la contaminación del agua, los desechos sólidos y la minería (incluidas las evaluaciones de accidentes).

Incertidumbres. Debe prestarse especial atención a la incertidumbre de los datos utilizados para las evaluaciones comparativas de los riesgos y la interpretación de los resultados.

Deberían considerarse cuatro tipos de incertidumbres:

- técnica/científica (modelos, parámetros de aportación, datos, funciones dosis-reacción);
- opciones de política/éticas (valor de la vida en los países, tasa de actualización entre generaciones);
- escenarios del futuro (estilos de vida, tamaño y distribución de la población, avances tecnológicos y médicos);
- omisión de algunos tipos de efectos.

Las opiniones de los expertos influyen en la selección de los métodos técnicos/científicos, los escenarios y la evaluación de efectos específicos. Dado su carácter subjetivo, tales opiniones deberían formularse con claridad a fin de que las autoridades puedan tenerlas en cuenta al interpretar los resultados.

En este contexto, es importante señalar que las percepciones del público sobre los riesgos son factores importantes en la adopción de políticas y decisiones en materia de energía. Este es particularmente el caso de las preocu-

ESTUDIOS COMPARATIVOS DE CADENAS ENERGÉTICAS DEL COMBUSTIBLE; POSIBLES APLICACIONES

- **Aplicación:** Selección y equilibrio de tecnologías para la planificación estratégica de energía (por ejemplo, carbón vs. energía nuclear vs fuentes renovables). **Información necesaria:** Efectos y costos del ciclo del combustible (agregación de todas las etapas de tecnologías en examen).
- **Aplicación:** Selección de una nueva central eléctrica. **Información necesaria:** Efectos y costos de la central eléctrica (agregación de emisiones correspondientes a cada tecnología en examen).
- **Aplicación:** Distribución óptima de centrales existentes. **Información necesaria:** Efectos y costos de cada central de la red eléctrica (agregación de todas las etapas).
- **Aplicación:** Optimización de reglamentos (límites de emisiones, objetivos de calidad ambiental, como los límites para la calidad del aire, permisos negociables, impuestos a la contaminación, etc). **Información necesaria:** Efectos y costos de cada contaminante y contaminador (sin agregación).
- **Aplicación:** Contabilidad ecológica (corrección del PNB por daño ambiental). **Información necesaria:** Costos (agregación de toda fuente de emisión en un país).

paciones del público por los riesgos ambientales, caso en que tal vez no siempre las percepciones coincidan con las opiniones de los expertos.

APLICACION DE LOS RESULTADOS

Los resultados de las evaluaciones comparativas de los riesgos pueden tener diversas aplicaciones, y es importante cómo se aplican. (Véase el recuadro.)

Transferir los resultados de un escenario a otro, o de un país a otro, puede ser problemático. Por ejemplo, en la actualidad, los resultados de una evaluación de un accidente grave ocurrido en los países de Europa oriental tal vez no sean aplicables a un accidente en otro lugar, debido a que las condiciones económicas son diferentes.

Otros ejemplos subrayan aún más la dificultad de tratar de aplicar los resultados de una evaluación a otra. Algunos se refieren a la evaluación de los costos

ambientales basados en estudios que hacen estimaciones de la "disposición a pagar" de una sociedad determinada. Es preciso tener en cuenta las diferencias entre los países en materia de leyes, las reglamentaciones y normas ambientales, así como otros factores.

Como sucede en todas las evaluaciones de los riesgos, la presentación definitiva de los resultados influye directamente en la eficacia con que pueda utilizarse la información.

En la industria química, a menudo las evaluaciones comparativas de los riesgos muestran los riesgos utilizando listas clasificadas o matrices. El proyecto ExternE, de la Comisión Europea presentó los resultados de todas las etapas de la cadena del combustible y de todas las etapas de salida de las vías de impacto (carga, efecto,

valor). Se procedió de esa forma para presentar los resultados con el máximo de transparencia.

A los fines de la adopción de decisiones, la presentación de los resultados puede ser particularmente importante.

Al notificar los resultados de las evaluaciones comparativas de los riesgos, deberían quedar claros varios factores:

- la naturaleza exacta del sistema energético que se evalúa,
- los efectos cuantificados;
- lo que se ha excluido del análisis;
- las fuentes de los datos utilizados en la evaluación;
- las hipótesis elaboradas; y
- las cuestiones que los analistas y otros expertos consideraron factores clave en el análisis.

Si se tienen en cuenta todos los factores, los resultados de la evaluación comparativa de los riesgos serán un recurso indispensable para adoptar las mejores decisiones sobre opciones y políticas. □