

La energía nuclear, la humanidad, y el medio ambiente

por A. Hagen*

La demanda energética sigue aumentando en todo el mundo a pesar de los esfuerzos de conservación y de utilización más eficaz. La elección de los sistemas energéticos es un acto de política nacional que entraña una decisión entre valores a veces antagónicos, así como el equilibrio de factores económicos, técnicos, sociales, institucionales y ecológicos. Con frecuencia hay conflicto entre los valores que acuerdan gran importancia al desarrollo y al crecimiento económico del país y aquellos que dan prioridad a la conservación de la calidad del medio ambiente. También es necesario determinar la magnitud de los riesgos a que se puede someter una sociedad. La percepción pública del riesgo, cualquiera que sea la fuente de que provenga, es tan importante para la toma de decisiones como los análisis de los expertos, aunque el término "público" se aplique a muchos grupos diversos, que pueden percibir muy diferentemente los riesgos de una situación particular. La protección del medio ambiente es una finalidad que merece ser considerada y contrapesada con las demás. La importancia que se adjudique a cada uno de los objetivos variará de acuerdo con los valores, necesidades y objetivos nacionales.

Todas las actividades humanas, incluido empleo de energía, afectan probablemente al medio ambiente en que vive el hombre. Los sistemas energéticos no presentan problemas especiales que los distingan de otras fuentes de riesgos. Todos los métodos que suministran energía a las sociedades industrializadas implican ciertas penalizaciones ambientales, sociales y sanitarias.

En colaboración con la Organización Mundial de la Salud, el Organismo Internacional de Energía Atómica publicará en breve un libro** que pasará revista en forma actualizada a las cuestiones ambientales relacionadas con la energía nuclear. En esa obra se describirá el ciclo del combustible nuclear, los efectos sanitarios y radiobiológicos de la radiación, los criterios de la protección radiológica, la seguridad nuclear y la eliminación de desechos.

Los aspectos ambientales de las centrales nucleoelectricas y de las instalaciones conexas del ciclo del combustible no son muy diferentes de los de otras actividades industriales en gran escala. Sin embargo, los materiales radiactivos que forman parte de las diversas operaciones del ciclo del combustible, especialmente los materiales radiactivos producidos durante la explotación

de reactores nucleares, deben ser rigurosamente controlados. Cuando se evalúan las consecuencias de cualquier actividad industrial desde el punto de vista ambiental o de salud pública, entran en consideración numerosos factores. Entre ellos se encuentran los riesgos previstos tanto con respecto a los trabajadores como al público ajeno a las instalaciones; el tipo y amplitud de la contaminación ambiental; el tipo, volumen y toxicidad de los desechos que es preciso manipular y aislar del medio ambiente; el empleo racional de los recursos naturales, incluyendo tierras y aguas y otros recursos secundarios tales como el transporte; la posibilidad de accidentes con serias consecuencias.

Es sumamente difícil hacer una comparación entre fuentes energéticas y todavía más difícil cuantificar ciertos factores para obtener una base sólida de orientación de las decisiones; pero tales comparaciones son indispensables. Por consiguiente, entran en juego ponderaciones que es preciso reconsiderar dentro del marco general de los beneficios y de los riesgos que la sociedad está dispuesta a aceptar.

El concepto de la protección ambiental

En grandes trazos, el concepto de la protección ambiental se divide en tres aspectos, el primero está relacionado con la *conservación de recursos*; el segundo con la conservación del *status quo ecológico*; y el tercero con la *protección de la salud humana*. Esos conceptos se actualizan estableciendo normas y criterios. Sin embargo, resulta a menudo imposible lograr e integrar objetivos ambientales frecuentemente cualitativos y opuestos.

La conservación de recursos naturales no significa únicamente dejar en su estado natural y proteger parques y reservas, o administrar o explotar recursos naturales tales como bosques, minerales y fuentes energéticas, sino que también tiene cuenta del empleo de la tierra, del agua y del aire.

La conservación del *status quo ecológico* en tanto que concepto ambiental se interesa en el medio ambiente biológico o sea en los elementos vivientes del medio. Todas las actividades humanas perturban o modifican la frágil biosfera en la que vive el hombre. La cuestión reside en saber el grado de cambio o de perturbación que puede permitirse.

El concepto de la protección de la salud humana no es nada nuevo. Las normas y criterios de protección radiológica existen desde los primerísimos días de la industria de la energía nuclear. Los objetivos, en este aspecto, se centran en la magnitud del riesgo que puede

* El Sr. Hagen presta servicios en la Sección de Tratamiento y Evacuación de Desechos, de la División del Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA.

** *Nuclear power, man, and the environment* (en preparación).

admitir la sociedad. Ahora bien, en la esfera de la protección radiológica existen normas y criterios convenidos a nivel internacional. La base de todas las formas de protección radiológica es la limitación de las dosis de radiación que exige que el uso de toda fuente de exposición quede justificado por los beneficios que de él resultan en comparación con los de cualquier alternativa conocida; que toda exposición necesaria se mantenga en los valores más bajos razonablemente posibles; y que los equivalentes de dosis a las personas no excedan los límites especificados. Los límites recomendados por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) para la protección radiológica de trabajadores persiguen que la dosis efectiva recibida por un trabajador no exceda de 50 mSv en un año. La observancia de dicho límite, así como de los requisitos mencionados, garantiza por lo general que la dosis media anual sea considerablemente menor que dicho límite, frecuentemente en un factor de 10. La dosis límite no comprende las exposiciones a fuentes de radiación natural o de tratamiento médico.

Los límites correspondientes recomendados para los miembros del público establecen que no se exceda la dosis anual de 5 mSv en ningún año, excluida la exposición a las fuentes naturales de radiación y las de tratamiento médico. Además, en circunstancias en las que un miembro del público pudiera estar expuesto anualmente durante períodos prolongados, la dosis media anual no debería exceder de 1 mSv. Se considera que la observancia de dichos límites resultará probablemente en dosis medias muy inferiores a 0,5 mSv por año.

Las autoridades nacionales autorizan diversos tipos de límites sobre la base de los sistemas de limitación de dosis recomendados por la CIPR. La aplicación de tales límites autorizados asegura que se mantengan las exposiciones reales a las radiaciones por debajo de los valores citados en los párrafos anteriores. Los efluentes de las instalaciones nucleares se vigilan para verificar que no se excedan los límites autorizados y para detectar e identificar escapes accidentales. Fuera de las instalaciones se utilizan métodos de vigilancia ambiental para evaluar la exposición y detectar tendencias a largo plazo.

Algunos problemas ambientales de escala mundial

Tras consultas, deliberaciones y debates, las autoridades competentes pueden establecer niveles de riesgos aceptables para determinadas actividades. Si bien se pueden calcular las exposiciones individuales durante un período suficientemente prolongado, de manera que comprenda tasas de dosis significativas, es más difícil calcular la exposición de la población, ya que los cálculos relativos a las dimensiones de la población futura son inciertos, lo cual resulta en dosis de población sumamente grandes, dado que se integran dosis muy pequeñas durante períodos de tiempo muy largos. La importancia que esto reviste solo se puede observar mediante la comparación de una exposición de referencia durante el mismo período de tiempo, tal como la exposición a la radiación de fondo natural. Esto nos lleva a una pregunta todavía sin respuesta y tal vez incontestable: ¿qué dosis se considera aceptable para una población futura? Se podría responder sobre la base de las normas actuales (por ejemplo 0,05 mSv por generación); o un cierto porcentaje por encima de la radiación de fondo; o a un nivel que

probablemente resultará en efectos biológicos inobservables (esto es, superior a 5 mSv); o bien hasta niveles de los que es sabido que a largo plazo resultarán en efectos crónicos.

En su funcionamiento normal, las principales consecuencias de la generación nuclear de electricidad sobre el medio ambiente provienen de los desechos radiactivos producidos durante el ciclo del combustible nuclear. Los principios que gobiernan la gestión de los desechos radiactivos son esencialmente tres. Los desechos que pierden su radiactividad en un período de tiempo relativamente corto por lo general se almacenan hasta que su nivel de radiactividad alcance niveles "inocuos". Los desechos que contienen proporciones significativas de radionucleidos de larga vida se concentran y se conservan bajo barreras de contención. Los desechos gaseosos y líquidos en volúmenes inferiores a los límites autorizados sobre la base de criterios de la protección radiológica se descargan directamente al medio ambiente (aire, agua) en el que se dispersan y diluyen rápidamente (véase el recuadro). No se debe interpretar que estas categorías sean mutuamente exclusivas, ya que en el caso ciertos desechos, tales como los desechos de baja intensidad que se vierten en los fondos oceánicos, se utilizan a la vez los métodos de contención y de dispersión. En el ejemplo citado, el material se encuentra embalado para tener la seguridad de que llegue sin pérdidas al lecho marino, a partir de cuyo momento ya no se tiene en cuenta la integridad del embalaje y se supone que el material se dispersará.

Las evaluaciones y análisis más realistas de los riesgos que presenta una instalación o medio de aislamiento de desechos deben tener en consideración la eficacia de las numerosas barreras empleadas para aislar los desechos en la biosfera: fenómenos físicos, tales como la insolubilidad, las propiedades de intercambio iónico, la adsorción y la posible migración lenta, pueden minimizar el riesgo que se calcula entrañan los radionucleidos tóxicos tales como el plutonio. La medida en que resulte aceptable el transporte de materiales desde el punto de evacuación a la biosfera dependerá de los criterios y normas aplicables.

En lo que se refiere al tratamiento y evacuación de desechos de elevada intensidad, las barreras a largo plazo comprenden la inmovilización de los desechos en vidrio de borosilicato, existiendo ya la tecnología necesaria para el almacenamiento con posibilidad de recuperación. El aislamiento a largo plazo se puede lograr mediante el depósito en formaciones geológicas — siempre y cuando se escoja un emplazamiento adecuado que garantice una probabilidad muy remota de que la erosión, el vulcanismo, el impacto de meteoritos y otros sucesos naturales vulneren el depósito. También se debe limitar la posibilidad de que penetre por inadvertencia en esos depósitos una persona. El mecanismo más importante para la posible transferencia de radionucleidos desde un repositorio geológico a la biosfera es el transporte hidrogeológico. En consecuencia, la elección del emplazamiento debe tener cuenta sus características hidrológicas. La elección del emplazamiento, así como la determinación de la duración del depósito deben basarse en la posibilidad de establecer un modelo del sistema y de determinar cuáles son los parámetros e hipótesis más críticos, incluyendo los cálculos de la dosis que puede recibir el hombre.

Tratamiento y evacuación de desechos radiactivos

Origen de los desechos	Tipo de actividad de los desechos	Forma de los desechos	Isótopos característicos	Tratamiento y evacuación
Extracción y tratamiento de minerales uraníferos	Actividad natural	Sólidos	Uranio-238 Radio-226 Torio-230	Contención y depósito en pozos controlados abiertos
		Líquidos	Radio-226	Tratamiento y dilución
		Aerosoles	Radón-222	Ventilación y dispersión
Plantas de fabricación de combustibles de uranio	Actividad natural	Sólidos		Descontaminación o contención
		Líquidos	U-235 y U-238	Concentración y contención
		Aerosoles		Filtración y dispersión
Explotación de reactores	Actividad de los productos de activación y fisión	Sólidos	Cobalto-58, Cobalto-60 Hierro-59 y Manganeseo-59	Concentración y contención
		Líquidos	Cerio-144, Cesio-137, Tritio y Estroncio-90	Tratamiento y dilución
		Aerosoles	Argón-41, Azufre-33, Yodo-131 y Xenón-133	Demora y dispersión
Plantas de reelaboración del combustible	Actividad de los productos de fisión y transuránicos	Sólidos	Americio-241, Estroncio-90,	Concentración y contención
		Líquidos	Cesio-137, Americio-241 Plutonio, Cerio-144, Tritio y Circonio-99	
		Aerosoles	Yodo-131, Yodo-129, Criptón-85 y Tritio	Dilución y dispersión o contención
Empleo de isótopos para fines industriales	Actividad de los productos de activación y transuránicos	Sólidos	Cobalto-60, Estroncio-90, Cesio-137 y Plutonio	Concentración y contención
		Líquidos	Tritio, Carbono-14, Fósforo-32 y Cerio-144	Tratamiento y dilución
		Aerosoles	Yodo-131	Dilución y dispersión o contención

Tomado de *Energía Nuclear y Medio Ambiente*, OIEA (1977).

Los efluentes gaseosos dominantes que afectan a largo plazo la exposición al público son ^{14}C , ^{85}Kr , ^3H y ^{129}I . Dichos nucleidos se pueden dispersar por todo el globo y su control deberá ser objeto de acuerdo internacional.

El radio procedente de la extracción y tratamiento del uranio podría contribuir, en mayor medida que el plutonio, a la exposición de la población; con respecto a la exposición regional de la población, los residuos del tratamiento de uranio son, por lo menos, tan peligrosos como los desechos de alto nivel, a causa de la relativa accesibilidad de dichos residuos de tratamiento en comparación con el aislamiento a que se somete a los desechos de elevada intensidad y de actínidos.

La posibilidad de verter en el mar los desechos radiactivos de baja intensidad recibe atención general. Actualmente una convención internacional prohíbe el vertimiento de desechos de alto nivel en los océanos, y unos contados países proceden al vertimiento de desechos de baja intensidad debidamente embalados en fondos abisales de los océanos (profundidades superiores a 4000 metros). Como en el caso de la atmósfera, los océanos tienen importancia global y, a diferencia de la evacuación terrestre, el vertimiento de desechos en los mismos afecta no sólo a la nación que lo efectúa, sino también potencialmente a una gran parte de la población mundial. Las políticas internacionales sobre las evalua-

ciones ecológicas, la prevención de la contaminación, así como los métodos para evitar interferencias con otros usos, requerirán el acuerdo de un vasto número de países que tienen contrapuestos intereses y que esperan obtener diferentes beneficios de la utilización de la atmósfera o de los océanos como medio de eliminación de desechos.

Las decisiones a nivel gubernamental tropiezan con dificultades a causa de la imposibilidad de cuantificar las actitudes políticas, sociales y éticas que se deben equilibrar contra otros aspectos más fáciles de cuantificar, como es la economía de la asignación óptima de recursos. La adopción de decisiones tropieza con complicaciones a causa de que los datos disponibles resultan con frecuencia inadecuados y que existen desacuerdos con respecto a las metodologías que se han de utilizar. La conciencia cabal de los problemas de la protección del medio ambiente ha crecido desde los años 70, y desde esa época han proliferado en esa materia las leyes, reglamentaciones y normas nacionales, así como los acuerdos bilaterales, multilaterales y los tratados y convenciones internacionales. Dichos conflictos de valores contrarios -- es decir, valores económicos y técnicos en oposición a los riesgos y consecuencias ecológicas -- que chocan entre sí con frecuencia y son difíciles de resolver a nivel nacional, pueden hacerse todavía más problemáticos en el plano internacional.