

La energía nuclear desde el punto de vista médico

Resumen de un informe preparado por el Consejo de Asuntos Científicos de la American Medical Association

¿Es la generación de electricidad con energía nucleoelectrica segura en los Estados Unidos de América? ¿Podría la explosión de un reactor de potencia provocar la diseminación generalizada de radiactividad, como ocurrió con la explosión de Chernobil en 1986? ¿Cómo funcionan los reactores de potencia y qué principios rigen su explotación? ¿Cuál debe ser el papel del médico respecto de la energía nuclear? En un informe recién elaborado por el Consejo de Asuntos Científicos de la American Medical Association (AMA) se analizaron estas cuestiones. El informe, preparado por un comité de expertos, recibió el apoyo de la Cámara de Delegados de la AMA. En este resumen se esbozan las principales cuestiones que se abordan en el informe y todas sus conclusiones.*

Desde mediados del decenio de 1800, en los Estados Unidos se ha venido registrando un aumento sostenido del uso de la energía a medida que ha aumentado su disponibilidad y han disminuido sus costos.¹ En los Estados Unidos, el creciente uso de la energía contribuyó a la industrialización, a acelerar el transporte, a aumentar la productividad y a mejorar la calidad de la vida y la salud. En la actualidad, la generación de electricidad representa aproximadamente una tercera parte de la energía que se utiliza en el país. En 1960, el 0,1% de la electricidad de los Estados Unidos fue generada por tres reactores en explotación; en 1987, aproximadamente el 18% de la electricidad fue generada por 106 reactores en explotación.²

Sin embargo, durante el decenio de 1980, algunos se sintieron menos atraídos por la energía nucleoelectrica. La fusión parcial del núcleo ocurrida en Three Mile Island en 1979 (y la explosión de vapor-hidrógeno que tuvo lugar en Chernobil en 1986) acrecentó las inquietudes en materia de seguridad, y se registró una escalada de los costos de producción y explotación. Se produjeron largas demoras en la concesión de licencias y la puesta en funcionamiento, debidas en su mayoría a reglamentaciones federales. Se cancelaron pedidos de centrales nucleares y se detuvo la construcción de otras. Si bien desde 1977 no se ha presentado ninguna nueva solicitud de central nuclear, en diversos Estados han fracasado los plebiscitos sobre proyectos de ley encaaminados a prohibir la energía nucleoelectrica.

Centrales nucleares

Los reactores de potencia emplean la energía que se libera por la fisión nuclear para generar electricidad. En la fisión, los núcleos atómicos pesados, como, por ejemplo, los del uranio 235, se rompen y forman núcleos más ligeros, lo que libera una enorme cantidad de energía. El núcleo de un reactor contiene miles de tubos largos, estrechos y de paredes delgadas de una aleación de circonio llenos de pastillas de combustible nuclear, cada una de cerca de 2,5 cm de largo y 1,33 cm de diámetro. La fisión es inducida en el combustible mediante la captura de neutrones de baja energía. Durante la fisión, cada átomo libera dos o tres neutrones "rápidos" que, si son frenados, pueden provocar una reacción en cadena autosostenida. El frenado de los neutrones se consigue mediante el empleo de un "moderador", es decir, de una sustancia de número atómico bajo como el agua o el grafito.

En los Estados Unidos la mayoría de los reactores de potencia se denominan "reactores de agua ligera"

* Este informe fue elaborado por el Consejo de Asuntos Científicos de la American Medical Association, Chicago, Estados Unidos. Fue publicado en el *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, del 17 de noviembre de 1989, Vol. 262, N° 19, Derechos de autor 1989, American Medical Association, 535 Dearborn St., Chicago, Illinois 60610, Estados Unidos de América.

Central nuclear Catawba, Estados Unidos de América



(LWR) porque utilizan agua para moderar la velocidad de los neutrones y enfriar el combustible nuclear. Hay dos tipos de reactores de agua ligera, el reactor de agua a presión (PWR) y el reactor de agua en ebullición (BWR). En ambos casos, el reactor está contenido en una vasija de acero de presión estanca, cuyas paredes tienen de 15 a 25 cm de espesor, de 360 a 450 cm de diámetro y 12 m o más de altura, y está concebida para contener los escapes accidentales de radiactividad.

En un reactor de agua a presión típico, el agua que se calienta en el núcleo del reactor se circula hacia el generador de vapor, donde parte del calor se transfiere al agua a una temperatura y presión inferiores, lo que hace que el agua entre en ebullición y produzca el vapor que hace funcionar la turbina generadora de electricidad. (Véanse las figuras adjuntas.) El vapor a baja presión expulsado por la turbina se condensa y es devuelto al generador de vapor por la bomba de agua de alimentación. El agua que circula a través del circuito de enfriamiento del condensador hacia la torre de enfriamiento, o cualquier masa de agua cercana, no es radiactiva. En un reactor de agua en ebullición, el vapor que se genera en el núcleo del reactor pasa a través de un separador de humedad situado en la parte superior de la vasija y va directamente a la turbina de vapor.

Los productos de la fisión nuclear son radiactivos, y el combustible del reactor se vuelve radiactivo y térmicamente caliente cuando el reactor está funcionando. La mayor parte de esta radiactividad, que llega a aproximadamente 111×10^{19} bequerelios (Bq) en un reactor típico, queda atrapada en las pastillas de combustible, las que se derretirían si no estuvieran refrigeradas. En el caso de los reactores de agua ligera, una de las principales cuestiones relacionadas con la seguridad es la de poder contar con métodos fiables para eliminar este calor de la radiactividad en las distintas situaciones hipotéticas de fallos de los sistemas.

Una característica de seguridad importante de todos los reactores de agua ligera construidos en países occidentales es que están diseñados para que tengan coeficientes *negativos* de huecos. Esto significa que a medida que aumenta la temperatura del núcleo del reactor, la transformación de agua en vapor crea nuevos espacios vacíos de "huecos" en el núcleo, lo que de lugar a una reducción de la potencia. El reactor de Chernobil tenía un coeficiente *positivo* de huecos, es decir, la potencia *aumentaba* a medida que el agua se transformaba en vapor en el núcleo del reactor. Esta desfavorable característica, unida a graves violaciones de los procedimientos operacionales y a la falta de una estructura de contención eficaz, provocaron la explosión de vapor-hidrógeno y la dispersión generalizada de radiactividad en Chernobil.^{3,4} El desastre de Chernobil no hubiera ocurrido en un reactor que hubiese tenido un coeficiente negativo de huecos, característico de todas las centrales nucleares de los Estados Unidos. Por tanto, se llega a la conclusión de que un incidente como el de Chernobil no puede ocurrir en una central nuclear de los Estados Unidos.

Ciclo del combustible nuclear

La generación de energía nuclear requiere el acceso a instalaciones de minería y refinación de uranio, la

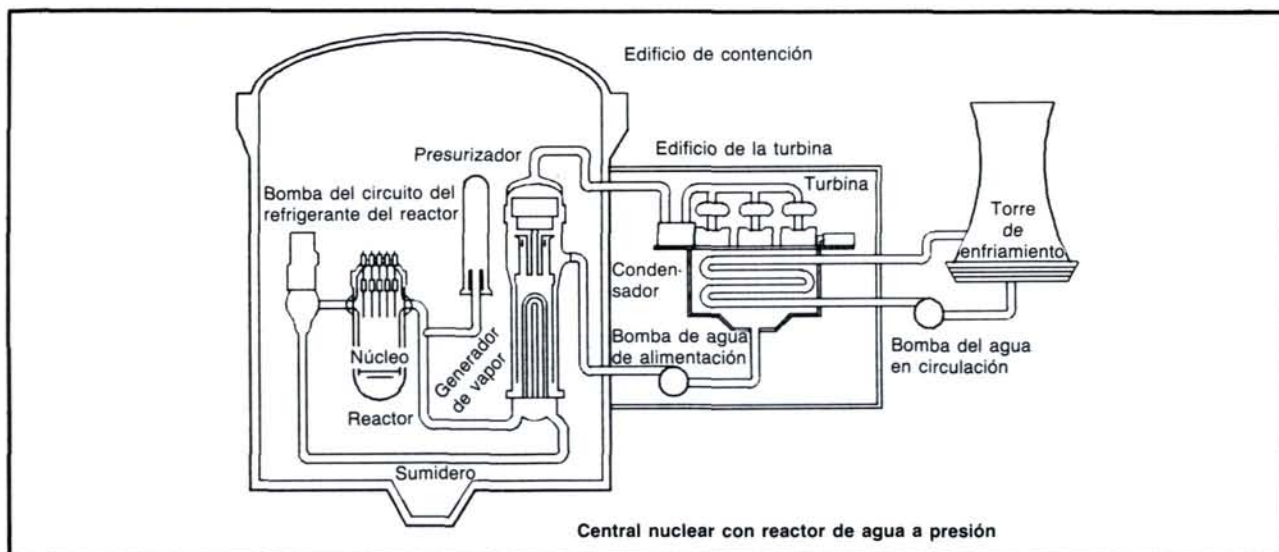
fabricación de combustible, el empleo del combustible para generar electricidad, la evacuación del combustible gastado, y el transporte y la gestión de los materiales radiactivos (Véanse las figuras adjuntas).⁵ Cuando el núcleo de un reactor que contiene uranio 235 llega al final de su vida útil, aproximadamente la mitad del uranio 235 habrá sido consumida y una pequeña fracción del uranio 238 se habrá convertido en plutonio 239 y otros elementos transuránicos. En la actualidad, el combustible gastado se almacena en las centrales nucleares que lo generan, en espera de que se apruebe y complete la construcción de una instalación para el almacenamiento de desechos de alta actividad.

En los Estados Unidos tienen lugar todos los años unos 2,8 millones de expediciones de material radiactivo que contiene aproximadamente $33,3 \times 10^{16}$ Bq, sin incluir las expediciones de combustible gastado.⁵ El Departamento del Transporte de los Estados Unidos tiene la responsabilidad primordial de controlar las expediciones, y las disposiciones varían con los tipos y las cantidades de radionucleidos y vehículos presentes. La mayoría de las expediciones contienen materiales relativamente inocuos que pueden ser transportados de forma segura en cajas de madera o cartón de fibra o en bidones de acero (bultos "tipo A"). Las cantidades intermedias de materiales radiactivos se expiden en recipientes "tipo B", los cuales tienen que satisfacer normas más estrictas. En las expediciones de desechos de actividad alta, combustible gastado y desechos transuránicos hay una elevada radiactividad y es necesario proporcionarles más protección. Los pesados cofres que se utilizan para transportar estos desechos se someten a pruebas estrictas antes de su aceptación por parte de organismos federales pertinentes.⁵

En la gestión de los desechos radiactivos, los aspectos técnicos plantean menos dificultades que las consecuencias sociopolíticas. El principal problema radica en que los pobladores de cada localidad desean que los desechos sean enviados a otros lugares. Los desechos radiactivos se clasifican según sus propiedades físicas y químicas y su origen. Según la ley, los desechos provenientes de los programas nacionales de defensa tienen que manipularse separadamente de los que se producen durante las actividades civiles. El período de semidesintegración y la forma química de los desechos son aspectos que también influyen en su gestión.

Los desechos de actividad baja incluyen residuos procedentes de las actividades de investigación de los laboratorios como, por ejemplo, papel y materiales biológicos contaminados y desechos radiactivos débiles procedentes de las centrales nucleares, como telas, plásticos, chatarra de metal y materiales de construcción. En algunos emplazamientos se han acumulado grandes volúmenes de materiales que pertenecen a otras dos categorías: las colas del tratamiento del uranio y los desechos generados por las operaciones de descontaminación de las plantas de tratamiento de uranio, radio y torio.

Las exposiciones del público a las radiaciones durante las operaciones de evacuación de desechos de actividad baja han sido pocas en comparación con las provenientes de fuentes naturales y médicas. Sin embargo, en el pasado han surgido algunos problemas con las operaciones. En 1980 y 1985, el Congreso de los Estados



Unidos aprobó una ley que estipulaba que a partir del 1° de enero de 1993, todos los Estados tendrían que evacuar dentro de sus fronteras los desechos radiactivos de bajo nivel que generaran, e invitaba a los Estados a que formaran "grupos regionales" para seleccionar emplazamientos de evacuación comunes. En un informe reciente de la American Medical Association (Informe A, Reunión Provisional, 1988) se examina el tema de los desechos radiactivos de actividad baja.

Los desechos de actividad alta son de dos tipos: el combustible gastado no reelaborado de un reactor y los residuos líquidos y sólidos provenientes del proceso de reelaboración del combustible gastado. También se producen desechos transuránicos, en su mayor parte procedentes de la producción de armamentos. Durante los últimos 40 años se han estudiado varios métodos para aislar los desechos de actividad alta, incluidos la solidificación en el emplazamiento, el aislamiento geológico, el enterramiento en el lecho marino y bajo el fondo marino y la inyección de los desechos en formaciones geológicas profundas.^{6,7} El aislamiento geológico en cavidades excavadas, usando el método de barreras múltiples, parece ser la opción más viable para la evacuación. En la ley federal aprobada en 1988 se exhorta a que se explore Yucca Mountain, Nevada, como un posible repositorio nacional para desechos de actividad alta.

La evaluación de los riesgos que plantea la evacuación de desechos radiactivos se caracteriza por algunas cuestiones importantes. En primer lugar, no existe precedente histórico en el caso del período largo en que será necesario realizar una evaluación de los riesgos. Asimismo, la formación de los criterios que se aplican a una instalación de desechos de actividad alta se ha visto obstaculizada por la lenta evolución de las ideas acerca de las limitaciones de las dosis de radiación que desde el punto de vista ético se pueden imponer a las futuras generaciones. Una instalación bien diseñada podría satisfacer fácilmente los límites de dosis prescritos por la Comisión de Reglamentación Nuclear de los Estados Unidos (NRC) para los reactores de agua ligera, es decir, de 0,10 a 0,25 milisievert (mSv) por persona anualmente.

Diversos investigadores han usado modelos naturales para deducir el comportamiento de los desechos radiactivos en un repositorio geológico profundo.⁵ El estudio

de los modelos, basado en la mina de uranio de Oklo, de África occidental, y un vasto yacimiento de torio y tierras raras de Minas Gerais, Brasil, demuestra que los yacimientos naturales de mineral pueden ser estables a lo largo de los períodos geológicos.

Operaciones normales de una central nuclear

A mediados de 1987, los 106 reactores de potencia en explotación en los Estados Unidos incluían 68 reactores de agua a presión, 37 reactores de agua en ebullición, y un reactor de alta temperatura refrigerado por gas. Las exposiciones de los trabajadores de las centrales nucleares y del público en general a la radiación tienden a ser algo mayores en las centrales más antiguas y las centrales con reactores de agua en ebullición. Las fuentes primarias de exposición de los trabajadores son los materiales afectados por la corrosión de las superficies metálicas de las válvulas y conductos y de las estructuras dentro del núcleo. El origen de estos materiales, que se vuelven radiactivos durante las operaciones de los reactores, son las impurezas que normalmente contienen los elementos de aleación del acero que se usan en la fabricación de los componentes. Las minúsculas cantidades de uranio que quedan en la superficie de los elementos combustibles durante su fabricación y el uranio y los productos de fisión que escapan durante las operaciones normales debido a ligeras imperfecciones que se presentan en las vainas de las barras de combustible son menos importantes.

Los trabajadores están expuestos a la radiación fundamentalmente durante las operaciones más importantes de mantenimiento y recarga del reactor, las cuales se realizan cuando el reactor está apagado. Las dosis de radiación más altas ocurren durante los trabajos de mantenimiento más amplios que incluyen las operaciones siguientes: desensamblar y volver a ensamblar las válvulas; extraer y sustituir las compuertas de acceso de los sistemas hidráulicos primarios; comprobar, descontaminar, limpiar y taponar los tubos generadores de vapor de los reactores de agua a presión; inspeccionar y realizar labores de mantenimiento correctivo en los reactores de agua en ebullición; y extraer y sustituir las tapas de las vasijas de los reactores y el equipo interno para poder realizar la labor de recarga de combustible. Las exposiciones también ocurren durante las operaciones de des-

contaminación de la central y de evacuación de los desechos radiactivos. La mejor estimación del efecto total de la industria nucleoelectrónica en la salud es la dosis radiactiva colectiva en la industria. En 1986, la dosis colectiva media de todos los trabajadores fue de 4,8 sievert (Sv)-hombre por central PWR y 6,5 Sv-hombre por central BWR. La dosis media por trabajador fue de 4 mSv, y las dosis de los trabajadores con mayor riesgo de exposición estuvieron dentro de los límites especificados por la Comisión de Reglamentación Nuclear. La supervisión y vigilancia de las exposiciones de los trabajadores por parte de las compañías de electricidad, los contratistas, el US Institute of Nuclear Power Operations (INPO) y la Comisión de Reglamentación Nuclear permiten garantizar que éstas no excedan las normas federales de exposición.

En 1974, la Comisión de Reglamentación Nuclear (NRC) dispuso que los reactores de potencia en explotación fuesen diseñados o reajustados de manera que sus efluentes emitieran a la población circundante dosis de radiación "tan bajas como pueda razonablemente alcanzarse". La Comisión estableció un límite máximo de dosis corporal de 0,05 mSv/año (a) de las emisiones gaseosas en suspensión en el aire; una dosis para el tiroides de 0,15 mSv/a de las emisiones de yodo radiactivo; y de 0,03 mSv/a de los efluentes líquidos para cualquier persona que se encuentre dentro de los límites del emplazamiento o fuera de él. Estos límites son pequeñas fracciones de la dosis media de 3 mSv/a que reciben los individuos de la radiación normal de fondo.⁸

Después del accidente de Three Mile Island, tanto la Comisión de Reglamentación Nuclear como la industria nucleoelectrónica dedicaron más atención a sus programas de protección radiológica. El centro de gran parte de la actividad industrial en este sentido fue el INPO. Hoy día el INPO y las compañías de electricidad que explotan centrales nucleares apoyan programas amplios de protección radiológica y capacitación para mantener las exposiciones al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse. Casi todos los reactores de potencia funcionan de manera que las dosis de radiación procedentes de los efluentes estén muy por debajo de los límites prescritos. Las dosis corporales suelen ser inferiores a 0,001 mSv/a y de menos de 0,01 mSv/a para el tiroides en todas las rutas. En 1983, el último año respecto del cual la Comisión de Reglamentación Nuclear ha publicado datos, la dosis total atribuible a las emisiones de efluentes procedentes de 80 reactores de potencia que entonces estaban en explotación fue de 0,95 Sv-hombre en las rutas de las emisiones en suspensión y de 0,76 Sv-hombre en las rutas de las emisiones líquidas. La dosis media para las personas que vivían en un radio de 80 km de los reactores fue de 4×10^{-5} mSv.

Emisiones radiactivas no previstas

El diseño de un reactor de potencia de los Estados Unidos está concebido de manera que no pueda explotar como un arma nuclear. Asimismo, el uranio 235 fisible que se encuentra en el reactor se diluye ampliamente con el uranio 238 y la proporción en que puede aumentar el nivel de potencia se limita a valores muy por debajo de los requeridos en el caso de una emisión de energía del tipo de las armas nucleares. Sin embargo, un reactor de

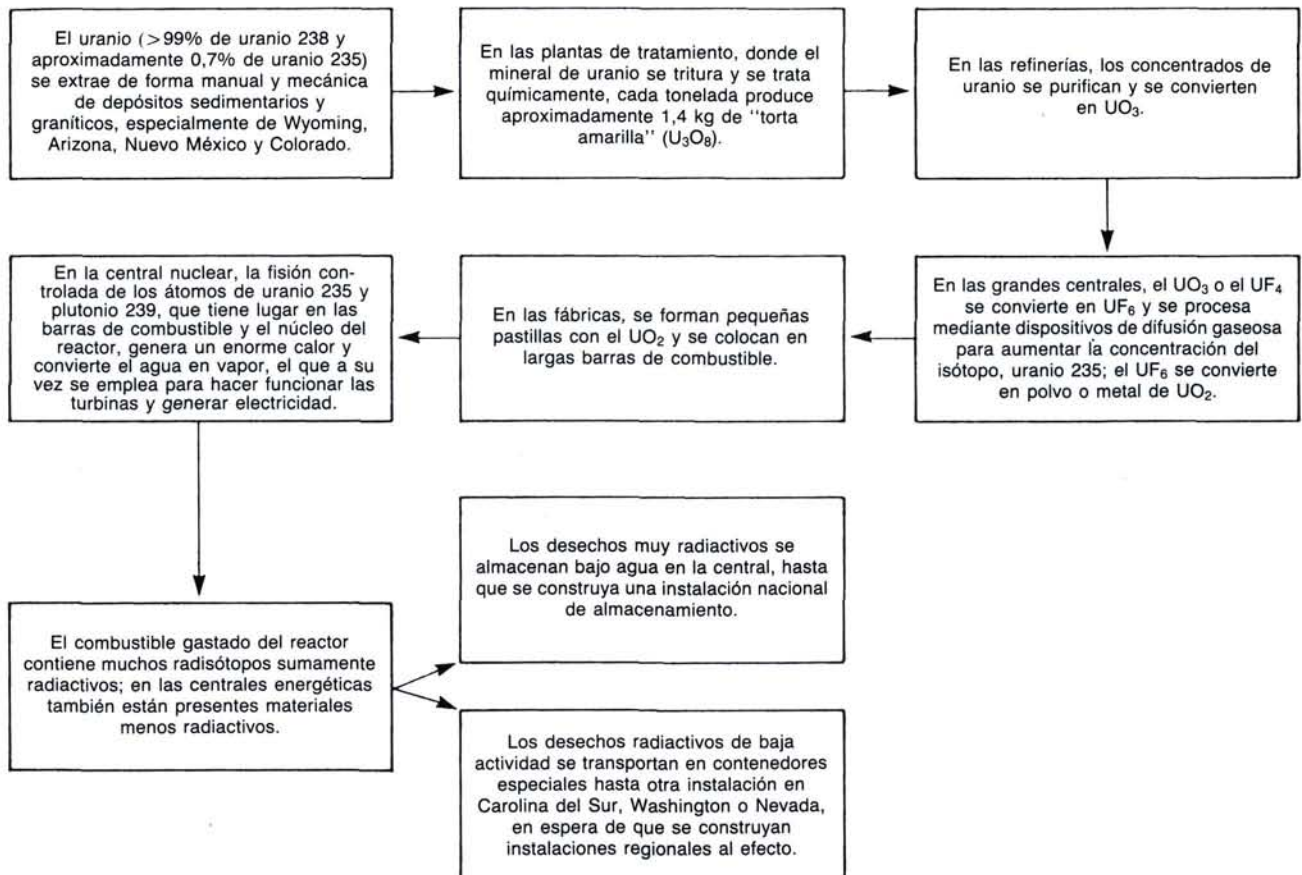
potencia contiene mucha radiactividad en su núcleo, y las emisiones de una fracción importante de esta radiactividad pueden causar daños considerables a la salud de las personas y a sus bienes, así como al medio ambiente.

Sólo las condiciones o los sucesos que provoquen la fusión del combustible en un reactor pueden tener consecuencias graves para la salud pública. En el tipo de reactor de potencia que se usa en los Estados Unidos, la situación que más podría preocupar es cuando la reacción en cadena se detiene y los sistemas para eliminar el calor del núcleo del reactor no funcionan. En un caso así, la temperatura aumentará rápidamente hasta llegar al punto de fusión del combustible. En Three Mile Island, una válvula que no se pudo cerrar ocasionó la pérdida del agua refrigerante, y un operador cerró por error el conducto de agua refrigerante de emergencia. El resultado fue la fusión parcial del núcleo del reactor.

Algunos productos de fisión radiactivos se volatilizan a la elevada temperatura en que se funde el combustible del reactor, y estos productos volátiles son liberados por el combustible fundido en forma de finas partículas o aerosoles. Una considerable fracción de los aerosoles se adhiere a las superficies metálicas más frías del reactor, proceso conocido como "chapeado". Asimismo, entra en funcionamiento el sistema de eliminación de los productos de fisión, en el que intervienen los pulverizadores o las grandes piscinas de agua. Algunos productos de fisión de los reactores son isótopos radiactivos de los gases nobles, xenón y criptón. Dada su naturaleza inerte, no debe constituir una preocupación el hecho de que estos gases sean liberados en la atmósfera.

Las consecuencias que la fusión del núcleo pueda tener para la salud dependen de la probabilidad de que escapen de la vasija de contención productos de fisión químicamente activos. En un informe elaborado en 1975 por la NRC se analizó el funcionamiento de los reactores de agua ligera y se llegó a la conclusión de que las probabilidades de que se produjera una fusión del núcleo eran aproximadamente de 1 en 20 000 por año por reactor.⁹ La imprecisión de este cálculo es un factor de 10, de manera que las probabilidades oscilan en realidad entre 1 en 2000 y 1 en 20 000 por reactor. En el informe también se llegó a la conclusión de que menos del 1% de las fusiones del núcleo liberaría cantidades de radiactividad que pondrían en peligro la vida humana. De las estimaciones realizadas por esta Comisión se puede sacar la conclusión de que si en los Estados Unidos se explotaran 100 centrales nucleares durante 10 años, las probabilidades de que la fusión de un núcleo provocara la emisión de cantidades de radiactividad que constituyeran un peligro para la vida humana durante ese período serían de $100 \times 10 \times 1/20\,000 \times 1/100$, o sea, de 1 en 2000. Este cálculo, sin embargo, no tiene en cuenta las sucesivas mejoras introducidas en el diseño y explotación de las centrales nucleares en materia de seguridad.

Al diseñar los programas de protección del público en caso de una emisión, es útil conocer las características de las emisiones radiactivas de las centrales nucleares. Si las personas permanecen dentro de edificios cerrados, la exposición inicial a las emisiones radiactivas es menor, ya que los edificios brindan cierta protección contra las radiaciones externas y reducen la exposición a la radiactividad en suspensión en el aire. Dentro de



Origen, fabricación y evacuación del combustible nuclear en los Estados Unidos. (Fuente: National Geographic (1979)⁵)

edificios de madera sin sótanos la reducción de la dosis es escasa, pero aumenta notablemente dentro de los grandes edificios comerciales.

Si ocurriese una emisión importante, la estrategia más aconsejable para la mayoría de las personas, excepto las que se encuentren a pocos kilómetros de la central nuclear, sería refugiarse en casas y edificios, y esperar a que la liberación inicial de radiactividad, es decir, la "nube radiactiva" se desplazase fuera de la zona. Después, las zonas donde haya una elevada contaminación radiactiva deberían ser evacuadas. Incluso en el peor de los casos previstos, la evacuación sólo podría hacerse varias horas después que la nube hubiese pasado. Hacer que las personas esperen varias horas en sus hogares persigue tres objetivos. Primero, reducir el número de personas que deben evacuarse de inmediato; segundo, mantener a las personas protegidas mientras la nube esté en la zona; y tercero, ayudar a disminuir el pánico. Cuando la nube haya pasado, las autoridades podrán determinar las zonas que hayan sido contaminadas y formular instrucciones adicionales.

La explosión de Chernobil liberó miles de millones de megabequerelios en el medio ambiente. Y, sin embargo, la evacuación no se inició hasta aproximadamente 48 horas después. Los que permanecieron bajo techo recibieron una exposición media de unos 0,03 gray (Gy), mientras que los que se encontraban a la interperie recibieron de 0,1 a 0,15 Gy.¹⁰ Después de la explosión se establecieron tres categorías de atención: rescate y primeros auxilios en la central, tratamiento de emergencia en los hospitales regionales y evaluación y tratamiento en un centro especializado de Moscú.

Si se produce una exposición al yodo radiactivo, puede usarse un agente de bloqueo como el yoduro

potásico para impedir la absorción de radioyodo. El agente de bloqueo debería usarse oportunamente y conforme a las recomendaciones del US National Council on Radiation Protection and Measurements.¹¹ Después de la explosión de Chernobil, las autoridades médicas de la Unión Soviética distribuyeron yodo a todas las instituciones de la infancia de la zona; el uso del yodo se consideró sumamente eficaz.¹²

Cabe esperar que una emisión radiactiva fuerte produzca una amplia gama de exposición; la más severa, una exposición superior a 2 Sv, provocaría enfermedades derivadas de las radiaciones en muchas personas y podría poner en peligro la vida de algunas. A menos que fracasaran totalmente las medidas de protección civil y de salud pública, en este grupo sólo estaría comprendido un puñado de personas aparte del personal de la central. La experiencia de Chernobil parece ratificar esta tesis; ningún miembro del gran público recibió una dosis capaz de producir una enfermedad radiactiva. Sin embargo, 100 personas recibieron dosis mayores de 1 Sv, y 31 trabajadores de la central y bomberos murieron a causa de quemaduras y radiolesiones.^{3,10}

Una emisión radiactiva puede exponer a un gran número de personas a dosis que oscilan entre 0,1 y 1 Sv. Aunque no se espera que estas personas padezcan de enfermedades inducidas por las radiaciones, es probable que experimenten estrés y temor. Un mayor número de personas expuestas podría recibir dosis inferiores a 0,1 Sv y no requerir otro tratamiento que el de la descontaminación. En la explosión de Chernobil por lo menos 100 000 personas estuvieron incluidas en este grupo.¹⁰ Como lo demostró el accidente de Three Mile Island, las personas que viven en una región donde se produce una emisión pero que reciben dosis de exposición no men-

surables, pueden, empero, presentar síntomas ocasionados por la ansiedad.

Como ya se dijo anteriormente, en los reactores de agua ligera de los Estados Unidos no puede producirse el tipo de desastre que ocurrió en Chernobil. Existe la posibilidad de que la fusión del núcleo, combinada con la falla de la contención, libere una cantidad de radiactividad parecida a la que se liberó en Chernobil. Sin embargo, los análisis de situaciones hipotéticas sugieren que es mucho más probable que se produzca una situación similar a la del accidente de Three Mile Island. En esa oportunidad, la contención del reactor funcionó bien y se calcula que la emisión fue de unos 37×10^{16} Bq de gases radiactivos nobles y de menos de 111×10^{10} Bq de radioyodo. Fuera de los confines de la central ninguna persona recibió una dosis mayor de 1 mSv.

La exposición a las radiaciones puede producir a largo plazo cáncer, enfermedades tiroideas, cataratas y, posiblemente, anomalías genéticas. La frecuencia de esos efectos en una población expuesta suele calcularse a partir de la dosis colectiva que reciba, suponiendo conservadoramente que la dosis está en relación lineal con el efecto.

Se calcula que la dosis de radiactividad corporal recibida por la población a causa de una fusión del núcleo oscila entre 10 Sv-hombre, si la contención es efectiva, hasta 10^6 Sv-hombre si, en el peor de los casos, todo falla. Según la regla empírica, en una población expuesta a una dosis de 10 000 Sv-hombre podrían producirse de 200 a 400 casos fatales de cáncer, pero no puede excluirse la posibilidad de que haya menos muertes o incluso ninguna.¹³ De ello se infiere que una dosis colectiva de 10^6 Sv-hombre podría causar hasta 40 000 casos fatales de cáncer durante algunos decenios posteriores. Probablemente estos casos ocurrirían en una población grande residente en zonas aledañas a la central, cuyo número podría ascender a 10 millones de personas. En una población de esa magnitud se producirían "naturalmente" alrededor de 1,9 millones de casos fatales de cáncer. La radiación aumentaría esta cifra en menos del 2% y el efecto sería difícil de detectar.

Una consecuencia más probable de la peor liberación radiactiva previsible sería la aparición de nódulos nuevos en el tiroides a una tasa similar a la tasa espontánea. Los efectos genéticos probablemente ocurrirían a menos de 0,1% de la tasa natural y no se podrían observar.¹⁴

Riesgos relacionados con la energía nuclear

Generar electricidad por cualquier medio entraña algún riesgo; por ejemplo, en julio de 1988 murieron 166 personas a causa de la explosión de una sonda de petróleo en el Mar del Norte. La extracción de carbón bajo tierra es una de las ocupaciones más arriesgadas que existen, y en los Estados Unidos todos los años mueren aproximadamente 100 personas en los pasos a nivel transportando carbón hacia las centrales energéticas. Las emisiones que genera la combustión del carbón contribuyen a la contaminación atmosférica y producen enfermedades, por lo que es necesario evacuar las cenizas y los residuos que produce. Todas estas actividades entrañan riesgos.

La Dirección de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), la NRC, y otros organismos federales de reglamentación han tratado de regular los ciclos del combustible de las tecnologías de producción de energía a fin de eliminar los riesgos excesivos. Por ejemplo, en el caso de las grandes calderas de carbón se han establecido nuevas normas de rendimiento que limitan las emisiones de partículas y óxidos de azufre; la extracción subterránea ha sido regulada para reducir la incidencia de lesiones y neumoconiosis entre los mineros del carbón; y se ha regulado la exposición del público a la radiación proveniente del ciclo del combustible nuclear. Como consecuencia de ello, es probable que las centrales de carbón y las centrales nucleares de hoy sean más seguras que las de hace dos decenios.

A principios del decenio de 1970, Sagan, así como Lave y Freeberg, hicieron estudios comparativos de los riesgos que planteaban para la salud del público diversas tecnologías de generación de energía, y llegaron a la conclusión de que, en comparación con las centrales alimentadas con carbón, la energía nucleoelectrónica ofrecía mucho menos riesgo para la salud humana. En 1974 se volvió a investigar la cuestión en un estudio realizado por Hamilton, del Brookhaven National Laboratory de Upton, NY, y se concluyó que una central de carbón moderna no es todavía tan segura como una central nuclear.^{15,16,17}

En lo que respecta al carbón, la extracción subterránea y la contaminación del aire ocupan los primeros lugares en las estimaciones de la morbilidad y la mortalidad, seguidos de los riesgos del transporte. En el caso de la extracción subterránea de carbón y su transporte por ferrocarril, se calcula que el ciclo del combustible, desde la extracción hasta la combustión, produce 279 enfermedades y lesiones junto con 18,1 muertes por gigavatio-año.¹⁷ Por el contrario, en la extracción subterránea del uranio, se calcula que durante el ciclo del combustible nuclear ocurren 17,3 casos de enfermedades y lesiones y una muerte por gigavatio-año.

Las estimaciones de la mortalidad y la morbilidad son algo inciertas porque es difícil llegar a un acuerdo sobre los efectos que tienen para la salud las emisiones de dióxido de azufre y las partículas emitidas por las centrales alimentadas con carbón, y sobre los riesgos a que se ve expuesta la población en general cuando ocurre algún percance en una central nuclear. Según Morris y otros, las calderas de petróleo y gas que usan tecnología moderna son algo más seguras que las que usan carbón o energía nuclear, mientras que la heliotécnica es menos segura debido a que algunas células solares utilizan materiales tóxicos; por otra parte, afirman que si bien es preciso construir grandes estructuras para obtener la energía, las lesiones están asociadas al mantenimiento de esas estructuras.¹⁸

La energía nuclear, el médico y la sociedad

Los Estados Unidos necesitan un suministro de electricidad suficiente para la buena marcha de las operaciones comerciales, la iluminación de los hogares y escuelas, la climatización de los edificios, la preservación de los alimentos, la prestación de una atención médica satisfactoria y muchos otros fines. La energía nuclear es una opción para generar electricidad, igual



Central nuclear Onagawa, Japón

que el carbón, el petróleo, el gas, el agua, el viento y el sol. Por otra parte, la energía nuclear entraña la producción de radiación ionizante, que puede perjudicar a los seres humanos. Los médicos deben conocer los principios de este medio de generación de energía.

La experiencia indica que si se produce una situación de emergencia en una central nuclear, los médicos deberán responder preguntas de los pacientes y sus familiares, así como de reporteros, colegas y muchas otras personas. Es necesario que sepan cómo averiguar la cantidad de radiación que se liberó y estén en condiciones de asesorar adecuadamente a los pacientes y al público. Los médicos deberán conocer los indicios, los síntomas y el diagnóstico diferencial de la radiolesión, así como la importancia de determinadas pruebas hematológicas. (Las referencias 19 y 20 de este artículo deberían estar disponibles en oficinas, clínicas, y departamentos para casos de emergencia.) Es posible que los casos difíciles requieran el asesoramiento de especialistas, el cual (en los Estados Unidos) puede obtenerse durante las 24 horas del día en el Radiation Emergency Assistance Center/Training Site de Oak Ridge, Tennessee, Teléfono 615/482-2441.

Para el público, los médicos son personas conocedoras capaces de brindar un asesoramiento autorizado en relación con las decisiones y actividades que entrañan riesgos para la salud. Es posible que reciban solicitudes de grupos comunitarios como los departamentos de policía y bomberos, organismos de gestión de situaciones de emergencia y protección radiológica, hospitales e industrias, para que les ayuden a formular planes

para casos de emergencia relacionados con radiaciones, emisiones químicas, incendios y desastres naturales. Cuando ocurre un desastre es probable que entren en acción la oficina del Gobernador y los organismos oficiales, y podrían prestar asistencia algunos organismos o programas federales como el Organismo Federal para la Gestión de Situaciones de Emergencia, el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, el Sistema Médico Nacional para Casos de Desastre y la NRC. La mayoría de estos organismos tienen oficinas regionales en Boston, Massachusetts; Nueva York, Nueva York; Filadelfia, Pensilvania; Atlanta, Georgia; Chicago, Illinois; Dallas, Texas; Kansas City, Kansas; Denver, Colorado; San Francisco, California y Seattle, Washington.

Otra necesidad que los médicos podrían ayudar a abordar es la relativa al papel de la ciencia en la sociedad. Todas las personas, incluidos los médicos, se benefician cuando la ciencia y la tecnología florecen y se perjudican cuando éstas languidecen. Para que una sociedad democrática funcione de manera óptima, sus miembros deben tener un conocimiento apropiado de los principios y conceptos científicos, lo cual les ayudará a adoptar decisiones sobre cuestiones importantes como la energía nucleoelectrónica, la presencia de sustancias químicas en el agua potable, los desechos peligrosos, los plaguicidas y los aditivos alimentarios.

Muchas personas serías consideran que los actuales métodos de enseñanza de los Estados Unidos limitan la comprensión de la ciencia por parte de los jóvenes. Por el papel rector que tienen en las comunidades del país,

los médicos pueden tratar de modificar esta limitación y trabajar para mejorar la educación general en materia de ciencia y tecnología y sus aplicaciones.

Recomendaciones

El Consejo de Asuntos Científicos de la AMA recomienda lo siguiente:

- **Necesidad de electricidad.** Se necesita una adecuada capacidad para generar electricidad en beneficio de la salud del pueblo y el progreso de la sociedad.

- **Conservación de la energía.** Se deben seguir realizando y acelerando las actividades centradas en la conservación y el uso eficiente de la energía.

- **Seguridad de la generación de electricidad.** Durante los últimos decenios, la generación de electricidad en los Estados Unidos se ha hecho cada vez más segura e inocua desde el punto de vista ambiental.

- **Seguridad de la energía nuclear.** La generación de electricidad con energía nuclear en los Estados Unidos es satisfactoria desde el punto de vista de la seguridad.

- **Seguridad de los reactores.** Los reactores de potencia de los Estados Unidos se diseñan y construyen

de manera que funcionen en condiciones de seguridad y no ocurran liberaciones accidentales de radiación y radiactividad; las características de seguridad de los reactores han resultado eficaces.

- **Exposición de los trabajadores a la radiactividad.** La exposición de los trabajadores a la radiación ionizante ha disminuido durante el último decenio y en la actualidad es muy baja.

- **Evacuación de desechos radiactivos.** Todos los Estados deben seguir esforzándose por concluir la evacuación de desechos radiactivos de actividad baja en el plazo fijado por el Congreso, el 1° de enero de 1993.

- **Papel del médico.** Los médicos deben disponer de información acerca de cómo tratar a las personas lesionadas por la radiación ionizante. Sobre ellos recae una gran responsabilidad en lo tocante a asesorar al público y hacer frente a la ansiedad que se produce tras una situación de emergencia radiológica. Asimismo, deben ayudar a mejorar la comprensión del público acerca de los beneficios y los riesgos de la energía nuclear.

- **Papel de la AMA.** La AMA debería seguir supervisando las actividades que afectan la salud pública y mantener a los médicos informados de las tecnologías que pueden tener repercusiones para la atención médica.

Referencias

1. *Energy in Transition: 1985-2010*, National Research Council, W.H. Freeman & Co., Nueva York, NY (1979).
2. *Commercial Nuclear Power 1987 — Prospect for the United States and the World*, US Department of Energy, Energy Information Administration, Washington, DC (1987).
3. "A visit to Chernobyl", por R. Wilson, *Science*, 236:1636-1640 (1987).
4. "Nuclear Power after Chernobyl", *Science*, 236:673-679 (1987).
5. *Environmental Radioactivity From Natural, Industrial and Military Sources*, por M. Eisenbud, 3rd ed., Academic Press Inc., Orlando, FL (1987).
6. *Radiological Assessment: Predicting the Transport, Bioaccumulation, and Uptake by Man of Radionuclides Released to the Environment*, National Council on Radiation Protection and Measurements; Report No. 76, Bethesda, MD (1984).
7. *A Study of the Isolation System for Geological Disposal of Radioactive Waste*, Board on Radioactive Waste Management, National Academy of Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC (1983).
8. *Public Radiation Exposure from Nuclear Power Generation in the United States*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 92, Bethesda, MD (1987).
9. *Reactor Safety Study, an Assessment of Accident Risk in US Commercial Nuclear Power Plants*, US Nuclear Regulatory Commission; Publication WASH 1400, Washington, DC (1975).
10. "Soviet medical response to the Chernobyl nuclear accident", por R.E. Linnemann, *JAMA*, 258:637-643 (1987).
11. *Protection of Thyroid Gland in the Event of Releases of Radioiodine*, National Council on Radiation Protection and Measurements, Report No. 55, Washington, DC (1977).
12. "Consecuencias radiológicas del accidente de Chernobyl en la Unión Soviética y medidas adoptadas para mitigar su repercusión", por L.A. Ilyin y O.A. Pavlovskij, *Boletín del OIEA*, Vol. 29, N°. 4 (1987).
13. *The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation*, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations, Division of Medical Sciences, Assembly of Life Sciences, National Research Council, National Academy Press, Washington, DC (1980).
14. "Chernobyl: a radiobiological perspective", por J. Goldman, *Science*, 238:622-625 (1987).
15. "Human cost of nuclear power", por L.A. Sagan, *Science*, 177:487-493 (1973).
16. "Health effects of electricity generation from coal, oil and nuclear fuel", por L.B. Lave and L.C. Freeberg, *Nuclear Safety*, 14:409-428 (1973).
17. "Practical consequences of the assessment of different energy health risks", por L.D. Hamilton, *Environ Int.*, 10:383-394 (1984).
18. *Health and Environmental Effects of the National Energy Plan: A Critical Review of Some Selected Issues*, S.C. Morris, H. Fischer, C. Calef, et al., Brookhaven National Laboratory; Report 51300, Upton, NY (1980).
19. *Medical Basis for Radiation Accident Preparedness*, K.F. Huebner, S.A. Fry, Elsevier North-Holland, Nueva York, NY (1980).
20. *What the General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of Overexposed Individuals*, OIEA, Viena (1986).