

# la gestión de los desechos radiactivos

En todo lugar donde se utilicen materiales radiactivos es esencial disponer de un sistema eficaz de gestión de los desechos.

El autor del artículo que sigue es el Dr. Emil Wallauschek, Jefe de la División de Salud, Seguridad y Gestión de Desechos de la Agencia Europea para la Energía Nuclear, de la OCDE.

La mayoría de los procesos industriales y domésticos producen desechos, y la industria de la energía nuclear no constituye una excepción. Dondequiera que se elaboren o empleen materiales radiactivos se producen desechos radiactivos. Estos pueden aparecer en forma de gases, de líquidos, de lodos o de sólidos, y su naturaleza, su forma física y química, su volumen y su actividad guardan estrecha relación con el proceso nuclear que les dio origen.

Dada la toxicidad intrínseca de muchas sustancias radiactivas, los desechos deben tratarse para suprimir la mayor parte de los contaminantes antes de descargarlos en el medio ambiente, o diluirse hasta tal punto que la concentración de los contaminantes quede por debajo de los niveles admisibles. Una vez extraídos del flujo de desechos los contaminantes radiactivos éstos se suelen concentrar y someter a un tratamiento o manipulación especial, y seguidamente se almacenan o evacúan a un lugar del que no puedan escapar a la biosfera.

El creciente interés con que el público sigue los problemas de la contaminación de todas las clases que sufre el medio ambiente hace que cada vez se tenga una conciencia más clara de las posibles consecuencias del desarrollo nuclear, principalmente en lo que se refiere a la gestión de los desechos radiactivos. No obstante la diversidad de los problemas científicos y técnicos que ésta plantea, la mayoría de los profanos en cuestiones nucleares consideran los desechos radiactivos como un solo tema homogéneo. En realidad se trata de una serie muy heterogénea de productos de formas físicas y químicas muy diversas y, aunque para su gestión sean aplicables siempre los mismos criterios básicos, los desechos de distintos orígenes, por ejemplo, de reactores nucleares, de centros de investigación, de plantas de reelaboración de combustible, o resultantes de las aplicaciones ya generalizadas de los radioisótopos, suelen recibir tratamientos diversos, lo que se debe, en particular, a factores locales o regionales. Se trata de un tema complejo y, dado el creciente interés que despierta, urge facilitar información más completa al público en general, y estimular su confianza haciéndole ver que se advierten plenamente los problemas ambientales debidos al desarrollo nuclear y a las operaciones de evacuación de desechos, que los riesgos que esto entraña son bien conocidos y se previenen con un hondo sentido de la responsabilidad, y que los procedimientos de gestión adoptados prevén siempre muy amplios márgenes de seguridad para proteger la salud pública.

## La radiactividad en el medio humano

Las radiaciones y la radiactividad han existido siempre presentes en el medio ambiente humano: la radiactividad natural nos acompaña desde el comienzo de los tiempos. Por lo tanto, la vida humana nunca ha estado a cubierto de la exposición a las radiaciones ionizantes, tanto de origen terrestre (se conocen en la Tierra más de 60 radionúclidos naturales) como resultantes del bombardeo de la atmósfera por los rayos cósmicos. No debemos olvidar que la energía necesaria para mantener la vida en la Tierra, emitida por el sol en forma de luz y calor, resulta de procesos de fusión atómica. Es decir, la radiactividad y las radiaciones en nuestro medio humano no constituyen un problema nuevo.

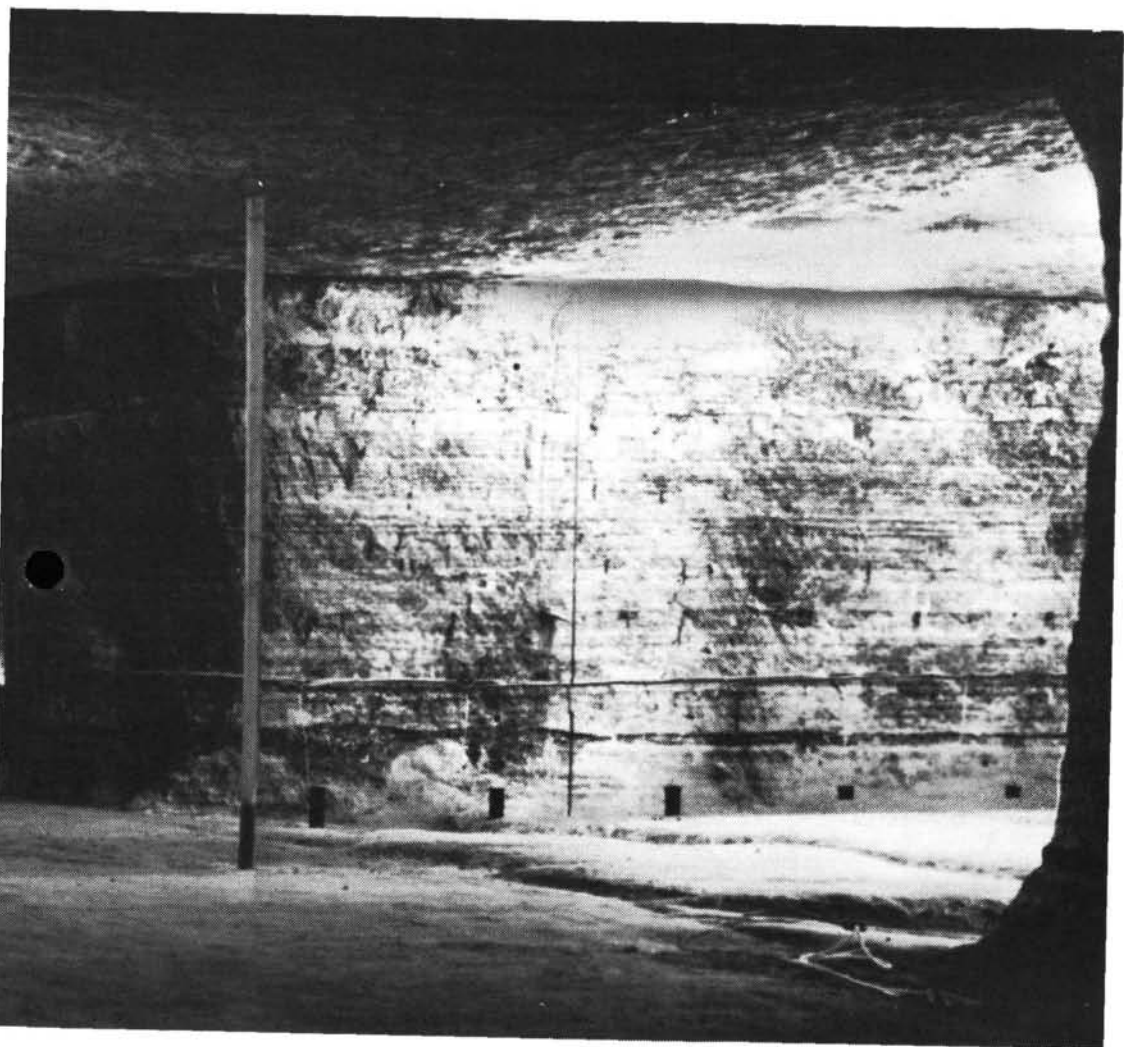
El Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (Comité de Radiaciones) de las Naciones Unidas ha comprobado que las dosis que el hombre recibe actualmente como resultado de la radiactividad natural oscilan entre 100 y 300 milirems por año, pero en algunas zonas pueden exceder de 1 000 milirems por año. De esta dosis, unos 20 milirems por año se deben a las sustancias radiactivas naturales que contiene el cuerpo humano.

La Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos utiliza una antigua mina de sal abandonada del Estado de Kansas para estudiar el almacenamiento a largo plazo de desechos de alta actividad. Foto: USAEC/Oak Ridge National Laboratory



Desde comienzo de este siglo, especialmente durante los dos últimos decenios, el hombre ha creado muchas fuentes nuevas de radiaciones las cuales pueden contribuir a engrosar la irradiación total por él recibida. A este respecto cabe mencionar las radiaciones utilizadas en medicina, las precipitaciones radiactivas (resultantes de las pruebas de armas nucleares), las fuentes de radiaciones utilizadas en la investigación y los procesos industriales, y la gran diversidad de sustancias utilizadas o producidas al generar energía nucleoelectrónica. A este último grupo se deben principalmente los problemas que crean los desechos.

Como resultado de la mayoría de esas actividades se ha dispersado en el medio ambiente cierta cantidad de radiactividad. Por ejemplo, se ha calculado que la radiactividad pasada al medio marino a resultas de las explosiones nucleares alcanza varios cientos de megacuries, y que supone unos cientos de kilocuries por año la resultante de otras operaciones nucleares. Si comparamos estas cifras con la actividad natural total del medio marino, que se calcula en 500 000 megacuries, tendremos una primera indicación aproximada de la magnitud relativa de los distintos factores que contribuyen a la radiactividad ambiente. La contribución que supone la electricidad de origen nuclear, incluidas las operaciones de evacuación de desechos, constituye en realidad una parte insignificante del total mundial.



De todas formas, las repercusiones desde el punto de vista de la salud pública son mucho más complejas: hay que analizarlas en el plano local o regional (y, en el futuro, también en el plano mundial en algunos casos particulares como el del criptón-85); además, hay que tener en cuenta la importancia biológica relativa de las diversas sustancias radiactivas dispersadas.

#### Consideraciones fundamentales acerca de la gestión de los desechos

La necesidad primordial en cualquier operación relativa a la gestión de los desechos es asegurar una protección adecuada contra los peligros que encierra la radiactividad. Los criterios de seguridad se basan en normas de protección radiológica sólidamente establecidas y aceptadas internacionalmente (de las que trata otro artículo de este número del Boletín) y en todas las operaciones deben prevenirse los riesgos de irradiación, no sólo durante la manipulación y el tratamiento de los desechos, sino también después de haberlos almacenado o descargado en el medio ambiente. Hay que evitar todo peligro inadmisibles para los trabajadores que manipulan los desechos, para cualquier otra persona o para la población en general. Todas las demás consideraciones referentes a la gestión de los desechos, por ejemplo, la posibilidad de emplear diferentes métodos de tratamiento, almacenamiento o evacuación, o bien otros aspectos ambientales y económicos, tienen carácter secundario frente a la seguridad del ser humano.

Las normas de protección radiológica internacionalmente aceptadas, en que se basan los criterios de seguridad en la gestión de los desechos (así como los criterios de seguridad aplicables a cualquier operación en que intervenga una radiactividad «artificial») son las promulgadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR). Esta Comisión [en su Informe N° 9] define dos objetivos principales de toda política en materia de protección radiológica: la prevención absoluta de los efectos violentos e inmediatos, y la reducción a un límite admisible del riesgo de efectos demorados y genéticos. Estos objetivos se basan en un conocimiento científico o detallado de los efectos inmediatos de la exposición a las radiaciones, y en la certidumbre de que el ser humano puede recibir dosis pequeñas de irradiación sin riesgos significativos de lesión somática o genética. De todas formas, como el conocimiento de los posibles efectos de las radiaciones a largo plazo es por ahora menos completo, otro principio de las recomendaciones formuladas por la CIPR es que la exposición debe reducirse «al mínimo que razonablemente pueda lograrse, cuenta habida de las consideraciones pertinentes de orden económico y social».

Este último principio introduce el concepto de riesgo-beneficio. La energía nuclear constituye indudablemente un beneficio. Al aceptarlo, tenemos que aceptar también ciertos riesgos, y es preciso analizar detalladamente todos los factores para llegar al debido equilibrio en interés de la sociedad humana.

Todas las personas que intervienen directamente en la manipulación y el tratamiento de desechos se someten a medidas bien establecidas de control radiológico, basadas en los principios de la CIPR. También se aplican los principios fundamentales de la protección radiológica para salvaguardar a la población en general, aunque los problemas son más complejos en este último caso. Las dosis recibidas por los trabajadores pueden medirse directamente, pero en el caso de la población en general hay que emplear métodos indirectos para evaluarlas.

#### Elección de los métodos de gestión de los desechos

Con frecuencia se sostiene que la gestión de los desechos radiactivos supone una elección entre dos normas fundamentales: la primera es «diluir y dispersar en el medio ambiente» y la segunda concentrar, contener y aislar». Pero la primera norma sólo es aplicable a los desechos que entrañan riesgos ligeros, cuya radiactividad pueda reducirse a niveles admisibles por dilución en el medio ambiente (principalmente en el aire o en el agua). Como este método supone

un cierto aumento de la posible exposición de la población a las radiaciones, debe aplicarse después de evaluar muy cuidadosamente los riesgos, teniendo en cuenta factores como los mecanismos de dispersión, la posibilidad de reconcentración por obra de procesos químicos o biológicos, y las posibles vías de retorno de la radiactividad al hombre.

La norma de «concentrar, contener y aislar», suprime virtualmente el riesgo de exposición a las radiaciones de la población en general. Esta norma se aplica principalmente a los desechos sólidos de todas clases, y también a los desechos líquidos de alta actividad, procedentes de la reelaboración química de los combustibles nucleares irradiados. Por supuesto, se precisa una contención o un almacenamiento adecuados, que excluyan toda posibilidad de interacción de las sustancias radiactivas con la biosfera humana, por lo menos en tanto su radiactividad no se haya reducido a niveles insignificantes.

Algunas veces, por ejemplo, cuando se evacuan al mar desechos sólidos de baja actividad, puede optarse por una combinación de los dos métodos. En otros casos cabe aplicar un tercer método, que diríamos de transacción cuyo lema es «esperar al decrecimiento radiactivo». En tal supuesto, los desechos se almacenan (es decir, se depositan de manera tal que puedan

Equipo utilizado en el estudio de la solidificación de desechos de alta actividad en el Centro de Investigaciones Nucleares de Karlsruhe (República Federal de Alemania). Foto: Ges. für Kernforschung m.b.H., Karlsruhe



ser recuperados más tarde) durante cierto tiempo para que «se enfríen» por decaimiento radiactivo, después de lo cual se evacúan definitivamente (es decir, se depositan en un lugar o de manera tal que resulten prácticamente irrecuperables).

Una consideración primordial al adoptar una o otra línea de conducta en la evacuación de desechos es que los procedimientos hoy empleados no deben plantear problemas a las generaciones futuras. Por el contrario, se reconoce que disponer lo necesario para la evacuación definitiva de los desechos en condiciones de seguridad es una responsabilidad que incumbe a la generación que los ha producido. Es decir, el «almacenamiento temporal» no debe servir simplemente para pasar los problemas a las generaciones futuras.

#### Modalidades de tratamiento de los desechos

En el caso de ciertas clases de desechos, tales como los materiales sólidos o en forma de gases o líquidos ligeramente contaminados cuya radiactividad es insignificante comparada con la capacidad del medio ambiente que los recibe, no suele ser menester un tratamiento previo a la evacuación. La finalidad de los distintos métodos de tratamiento aplicados es:

- separar los desechos de diversas actividades con el fin de verter en el medio ambiente la fracción de baja actividad;
- dar a los desechos una forma física que permita manejarlos, almacenarlos o evacuarlos de manera más segura, cómoda o económica;
- reducir el volumen de los desechos para reducir los gastos de transporte o de almacenamiento.

Aparte de la separación, dichos métodos de tratamiento comprenden operaciones como la incineración, el prensado en balas, y la incorporación en cemento o en asfalto, cuando se trata de sólidos; operaciones químicas de precipitación, intercambio iónico, reducción de volumen por evaporación y otras, en el caso de líquidos; diversas operaciones de depuración y filtrado, en el caso de gases.

#### Utilización del medio ambiente

La decisión sobre qué desechos pueden descargarse inmediatamente en el medio ambiente, y cuáles han de someterse primero a un tratamiento o a un almacenamiento temporal o indefinido, constituye uno de los problemas principales en la gestión de los desechos. Por lo tanto, es importante separar los desechos de las diversas clases agrupándolos según su adaptación al tratamiento ulterior, su grado de radiactividad y otros criterios pertinentes. A este respecto constituye un factor importante la capacidad del medio ambiente para admitir desechos en determinadas formas.

Además del problema inmediato de la protección radiológica tenemos frente a las generaciones futuras una gran responsabilidad. La atmósfera pura, el agua potable y los alimentos adecuados son esenciales para la vida del hombre y la salud y el crecimiento de la raza humana. Aunque el medio ambiente puede absorber desechos hasta un cierto límite sin efectos nocivos de importancia, esta capacidad no es ilimitada. Antes de toda operación de evacuación debe, pues, procederse a un estudio a fondo de los posibles efectos nocivos, no sólo para las generaciones presentes sino también para las futuras.

Bastante más del 99,9 por ciento del total de la radiactividad que hoy se produce en forma de desechos se almacena, después de concentrar los residuos para reducir su volumen, en lugares incomunicados con la biosfera, por cuyo motivo es necesario comprobar si el aislamiento de estos desechos sigue siendo perfecto. Por desgracia, no nos es posible, por lo menos en el estado actual de la tecnología, acelerar la velocidad de decaimiento radiactivo propia de las sustancias, ya sean de origen natural o artificial.

Según sus características físicas y químicas, los radioisótopos que se dispersan en el medio ambiente se comportan de maneras muy distintas. Los procesos de dilución y dispersión, sedi-



mentación, ingestión o absorción, y reconcentración en los organismos vivos son extremadamente complejos y difieren para cada elemento. Además, en los diversos medios —aire, agua marina, agua dulce, tierra cultivada y tierra sin cultivar— se observan diferencias muy grandes de comportamiento. Estas cuestiones tienen importancia fundamental al decidir la conducta en materia de desechos a seguir en cada caso concreto y, como la consideración primordial ha de ser siempre la protección de la salud, es necesario un estudio minucioso de los riesgos y prever un amplio margen de seguridad.

En el caso de las evacuaciones al medio ambiente, para determinar su magnitud hay que considerar puntos muy diversos. Entre éstos se cuentan la forma, las cantidades y las actividades de los desechos en cuestión, las características de los diversos radioisótopos que contienen, su comportamiento en el medio ambiente, las condiciones locales y regionales del medio receptor, así como su capacidad para absorber los desechos y, por último, punto también muy importante, un amplio estudio de las eventuales vías de retorno al hombre. También es posible que factores de orden social, económico y político influyan en la conducta finalmente adoptada en cuanto a la evacuación de desechos.

### Magnitud del problema de los desechos

El volumen de los desechos procedentes de actividades de investigación y desarrollo y de trabajos con materiales radiactivos puede considerarse estable. Aunque ha ido en rápido aumento el empleo de radioisótopos con fines industriales y otros, la parte que representan del total de los desechos producidos por la sociedad humana es muy pequeña y relativamente fácil de controlar. Por lo tanto, el principal problema que plantea la gestión de los desechos, tanto ahora como en el futuro, es el de los residuos de las fases industriales del ciclo del combustible nuclear.

Desde luego, los problemas de evacuación significativos en relación con el medio ambiente no se dan precisamente en los emplazamientos de las centrales. De ellas sólo salen pequeñas cantidades de materiales radiactivos, mientras los productos de fisión que se forman quedan contenidos en los elementos combustibles del reactor. Los problemas graves comienzan cuando es reelaborado el combustible y se separan los productos de fisión. En esta fase es preciso tratar las grandes cantidades de desechos radiactivos que se producen y eliminar la fracción de alta actividad de forma que impida su paso a la biosfera. Esto puede hacerse, y se hace efectivamente, con un alto grado de seguridad. Hoy se almacenan cantidades importantes de desechos de elevada actividad, principalmente en forma líquida, pero su acumulación constituirá sin duda alguna un grave problema en los decenios próximos, y se están estudiando otros métodos (solidificación y almacenamiento definitivo en condiciones geológicas adecuadas). [En noviembre del año en curso se examinará la gestión de los desechos radiactivos procedentes de la reelaboración del combustible en un simposio que van a convocar conjuntamente la AEEN y el OIEA.]

### El pasado, el presente y el futuro

En las primeras fases de desarrollo de la energía nuclear, los problemas de gestión de los desechos eran menores, su escala era la propia del laboratorio y sólo afectaban a los centros relativamente escasos donde se realizaban trabajos nucleares. Pero ya entonces, hace más de 20 años, se conocían bien los posibles peligros, y se establecieron numerosos principios mucho antes de que surgiera la necesidad de aplicarlos en escala mayor o industrial. Aunque existía una cierta colaboración entre los países, en general se limitaba a intercambios de información y de experiencia práctica, mientras que las autoridades nacionales mostraban tendencia a establecer normas propias de reglamentación y control que respondieran a sus circunstancias

particulares. No obstante, ya entonces se aceptaban las recomendaciones de la CIPR como base adecuada para juzgar la seguridad de las descargas de radiactividad en el medio humano.

El aumento continuo de la colaboración internacional registrado desde aquellos primeros tiempos ha contribuido a ampliar el conocimiento de los múltiples y variados aspectos de la tecnología de la gestión de los desechos. A estos progresos se debe, por lo menos en parte, el que, pese a haber entrado en servicio muchas instalaciones nucleares nuevas en el último decenio, y a haberse extendido considerablemente el empleo de materiales radiactivos para muchos fines, no hay indicio alguno de que la contaminación radiactiva del medio ambiente haya alcanzado valores inadmisibles. Nuestro objetivo debe ser mantener la misma situación en el futuro.

En muchas ocasiones se han examinado en detalle los métodos de gestión de los desechos gaseosos, líquidos y sólidos de diversos orígenes, así como los criterios básicos aplicables a la evacuación a tierra o al mar, y se han editado muchas publicaciones. En el presente artículo no es posible, dada su brevedad, tratar extensamente estos temas, pero en la bibliografía se citan algunas de las publicaciones más recientes.

No obstante, hay que mencionar especialmente un estudio reciente relativo a los países de la Europa Occidental [el último de la bibliografía], que ha demostrado que los procedimientos de gestión de los desechos radiactivos se han establecido sobre principios básicos sólidos, en función de normas admitidas internacionalmente. Se han dado a las autoridades sanitarias de los países en cuestión medios eficaces, objetivos y de aceptación general para reglamentar la gestión de los desechos radiactivos en interés de la población, y ha quedado claro que la expansión óptima de la energía nuclear no será impedida por los problemas de evacuación de desechos que lleva aparejados. Pero también ha quedado claro que los problemas ambientales regionales, la evacuación al mar, el aprovechamiento de ríos internacionales y la probabilidad de agrupar a los países vecinos para resolver sus problemas de gestión de los desechos exigirán una estrecha cooperación internacional.

## BIBLIOGRAFIA

---

1. Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas, Asamblea General, Documentos Oficiales: Decimoséptimo Período de Sesiones. Suplemento N° 16 (A/5216) Naciones Unidas, Nueva York (1962).
2. Radioactivity in the Marine Environment, National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, D.C., (1971).
3. Management of Low- and Intermediate-level Radioactive Wastes (Tratamiento y evacuación de desechos de actividad baja e intermedia), Actas de un Simposio organizado conjuntamente por el OIEA y la AEEN, OIEA, Viena (1970).
4. Disposal of Radioactive Wastes into the Ground (Evacuación de desechos radiactivos en el suelo), Actas de un Simposio organizado conjuntamente por el OIEA y la AEEN, OIEA, Viena (1967).
5. Radioactive Waste Disposal Operation into the Atlantic 1967, ENEA Report, OECD, París (1968).
6. Radioactive Waste Management Practices in Western Europe, Report of an ENEA Expert Group, OECD, París (1972).