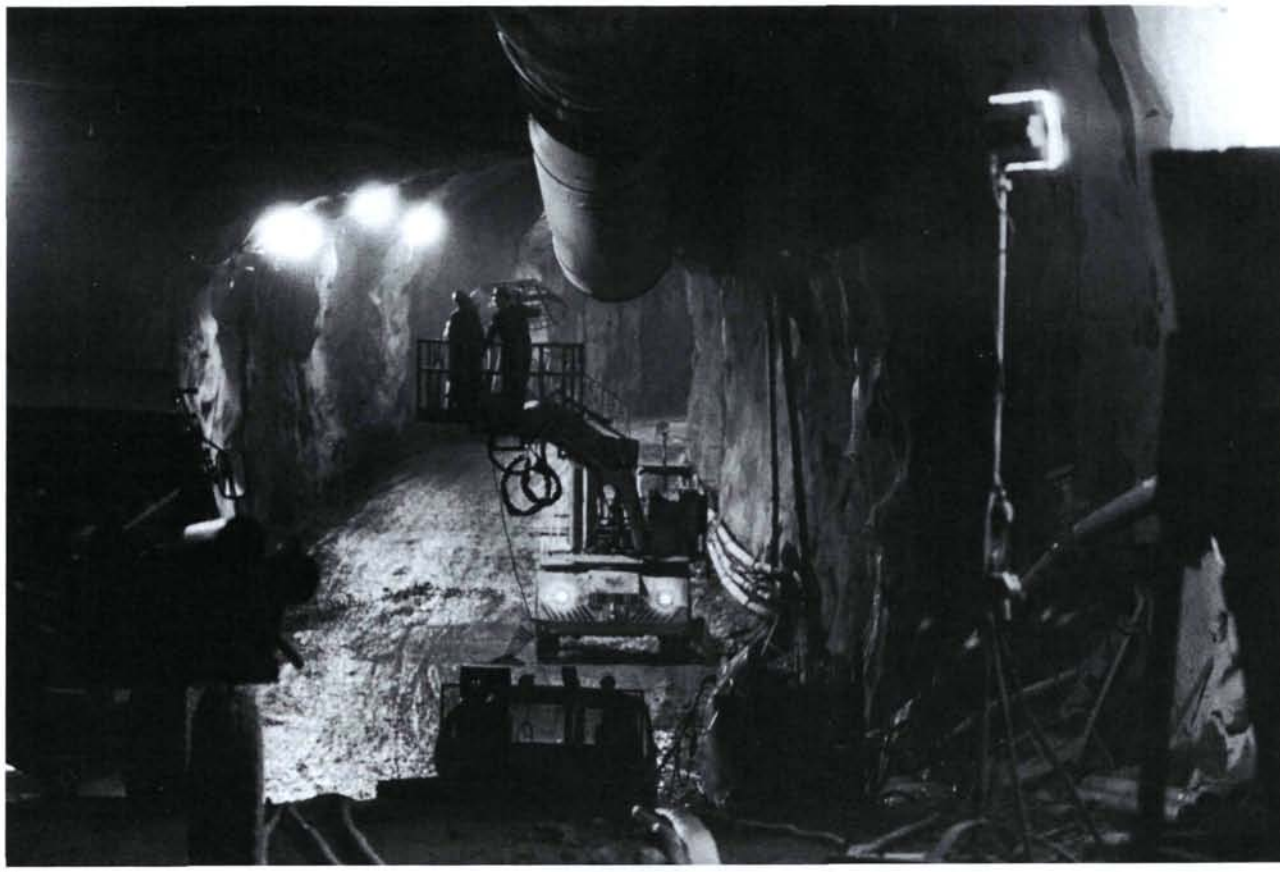
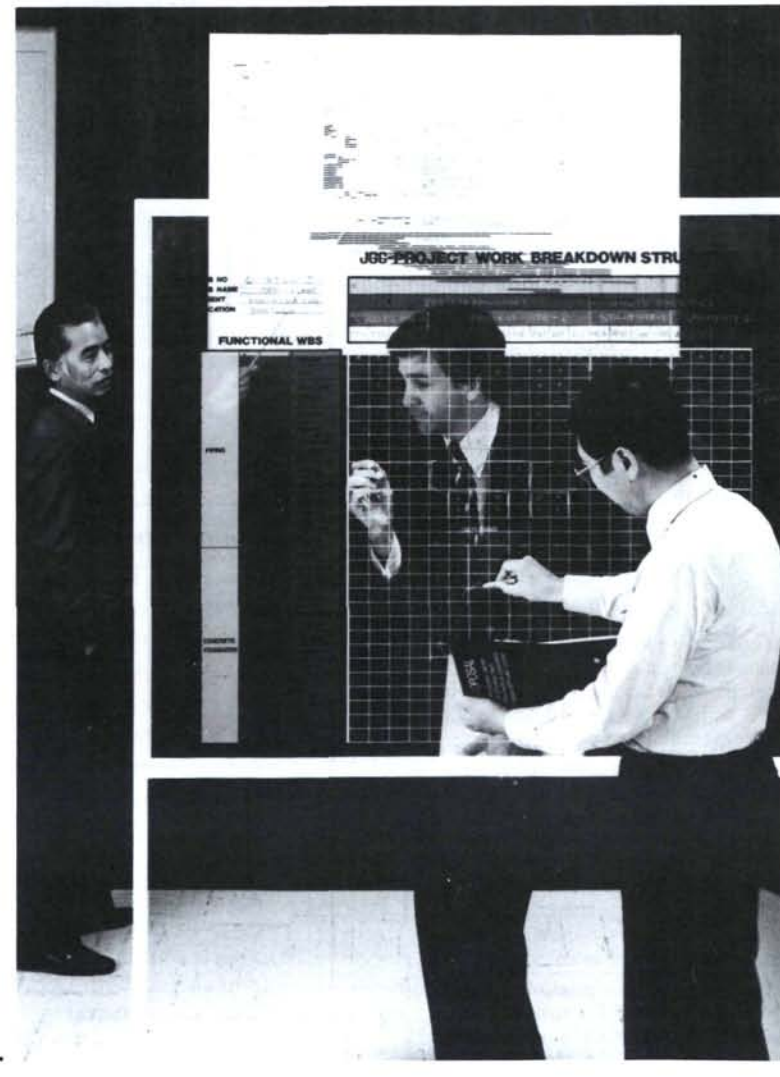
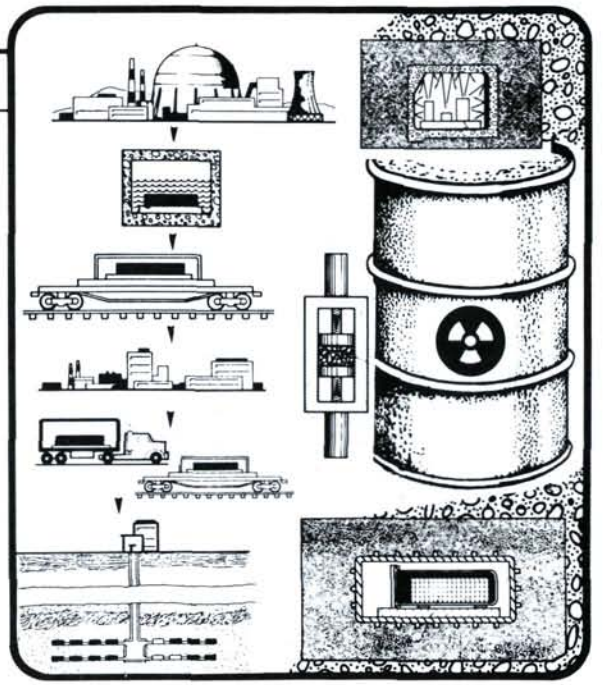





**En diversos países, equipos de proyecto de varios niveles trabajan en programas para el almacenamiento y la evacuación seguros y eficaces de los desechos radiactivos. Las fotos muestran un equipo de gestión en el Japón y trabajadores en la excavación de un repositorio proyectado en Forsmark, Suecia. (Fotos: JGC, SKB)**



# Situación mundial de la gestión de desechos radiactivos

*No obstante lo mucho que se ha avanzado, aún quedan algunos problemas por resolver*

**por Donald E. Saire**

Con una historia de más de 40 años de desarrollo, la utilización del átomo en beneficio de la humanidad puede clasificarse actualmente como una tecnología que se acerca a la madurez. Sin embargo, al igual que sucede con otras tecnologías, los beneficios resultantes del uso de la energía nuclear no están exentos de problemas. Los desechos radiactivos no sólo provienen de las centrales nucleoeléctricas y de otras actividades del ciclo del combustible nuclear, sino que también resultan de aplicaciones de radisótopos en las esferas de la medicina, la industria y la investigación, así como de operaciones no catalogadas como actividades afines a la energía nuclear (por ejemplo, la elaboración de fosfatos y la minería del oro).

Así pues, casi todos los 112 Estados Miembros del OIEA producen algunos volúmenes de desechos radiactivos cuya recogida, elaboración y evacuación debe efectuarse en condiciones de seguridad. Esas operaciones deben realizarse teniendo presentes la seguridad y la protección de las generaciones presente y futuras contra posibles exposiciones nocivas a la irradiación ionizante.

Si bien los volúmenes reales de desechos que produce la energía nuclear son pequeños comparados con los de otras tecnologías o industrias (por ejemplo, las centrales eléctricas que queman carbón), la mayor preocupación estriba en los prolongados períodos en que los desechos radiactivos pueden seguir constituyendo una amenaza para el hombre y su medio ambiente. De aquí que en la actualidad se preste a esta esfera la atención necesaria a fin de garantizar que los problemas conexos puedan resolverse oportunamente. No cabe duda de que si la energía nuclear, y más concretamente la energía nucleoeléctrica, ha de continuar incrementándose hasta colmar sus posibilidades de contribución a la humanidad, habrá que resolver el problema de la gestión de desechos a satisfacción tanto de la comunidad científica como del público en general.

En el presente artículo se examinan brevemente las actividades que los Estados Miembros del Organismo llevan a cabo con vistas a garantizar una gestión segura de los desechos radiactivos a la vez que se abordan algunas cuestiones importantes relativas al tema.*

### Actividades y prácticas de los Estados Miembros

Cuando se comenzó a aplicar la tecnología nuclear, se solía considerar los desechos radiactivos como un problema periférico y se prestaba poca atención a su tratamiento y acondicionamiento adecuados. En comparación con otras actividades del ciclo del combustible nuclear, la investigación y el desarrollo que se dedicaban a la gestión de desechos eran relativamente escasos y sólo se tomaban medidas provisionales bastante sencillas. Los desechos de actividad baja e intermedia se solían evacuar en enterramientos someros con poco tratamiento o acondicionamiento, en tanto que algunos países recurrían a la evacuación en el mar. Por regla general, los desechos portadores de emisores alfa (también conocidos por material transuránico o contaminado de plutonio, o sencillamente "desechos alfa") se almacenaban para ser elaborados en una fecha ulterior. Los desechos líquidos de alta actividad se depositaban en grandes bidones de acero, al carbono o inoxidable, a nivel del suelo o a poca distancia de la superficie.

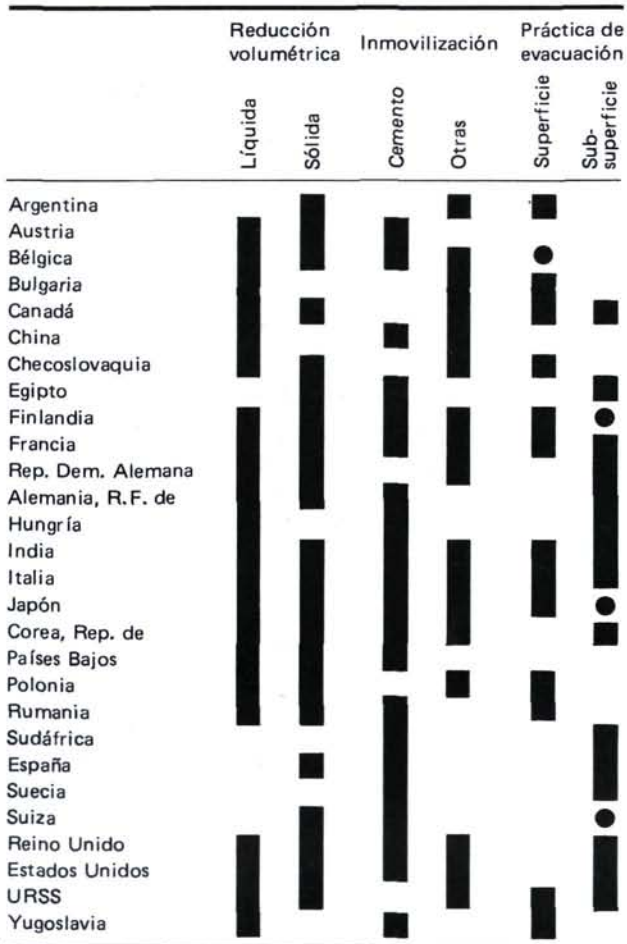
El Sr. Saire es funcionario superior en la Sección de Gestión de Desechos, División del Ciclo del Combustible Nuclear del Organismo. Los puntos de vista expresados en este artículo reflejan las opiniones del autor, que no son necesariamente las del Organismo.

* El Folleto del OIEA titulado *Radioactive Waste Management: A Status Report* (agosto de 1985), ofrece un análisis general más amplio de este campo. Por ahora sólo está disponible en idioma inglés.

La creciente preocupación sobre los problemas radiológicos y ambientales a principios de los años setenta dio lugar a que muchos países prestaran más atención a la gestión de desechos radiactivos y a que se iniciaran importantes esfuerzos de investigación y desarrollo. Al principio, esos esfuerzos se concentraron en el tratamiento y la evacuación de desechos de alta actividad, ya que esa corriente de desechos contenía una fracción significativa del inventario de actividad. Sin embargo, los grandes volúmenes de desechos líquidos y sólidos de baja actividad que generan las centrales nucleoeléctricas y las instalaciones no pertenecientes al ciclo del combustible también dieron lugar a un rápido incremento de las actividades investigativas con respecto a estos desechos.

Si se revisa la situación actual de las actividades relacionadas con el tratamiento (reducción volumétrica), el acondicionamiento (inmovilización) y la evacuación de los desechos de actividad baja e intermedia, se podrá apreciar claramente la importancia que hoy día se concede a esta esfera. (Véase el cuadro adjunto para las actividades en curso o propuestas en algunos Estados Miembros.)

**Actividades nacionales: Desechos de actividad baja e intermedia (de período corto)**




■ = Práctica en uso
● = *Práctica propuesta*

Fuente: Datos extraídos del folleto del OIEA *Radioactive Waste Management: A Status Report* (agosto de 1985).

Se ha hecho el mayor hincapié en el tratamiento de desechos de baja actividad para reducir sus volúmenes, no sólo con el fin de facilitar su manipulación y elaboración ulterior, sino también de reducir las necesidades de espacio para su evacuación definitiva.

Los procesos de ingeniería —evaporación, intercambio iónico y precipitación química—, aplicados tradicionalmente en otras industrias, se han adaptado para los desechos líquidos de baja actividad modificándolos a fin de que cumplan con los requisitos de los sistemas de tratamiento de desechos radiactivos. Estos procesos se aplican ahora en muchos países y representan una tecnología sencilla capaz de reducir con seguridad y eficacia los volúmenes de desechos por factores que oscilan entre 10 y 100 del volumen original.

En el cuadro adjunto se muestran las medidas aplicadas hoy en día para tratar los desechos sólidos de actividad baja e intermedia. Actualmente se utiliza la compactación o la incineración, y en algunos casos se combinan ambas tecnologías en dependencia del carácter de los desechos sólidos, los volúmenes que se generan y el método de evacuación definitiva que el país seleccione.

Los factores de reducción volumétrica para la compactación suelen oscilar entre 5 y 10 del volumen original. La incineración de los desechos sólidos permite una reducción volumétrica mucho mayor (más de 20), pero generalmente se limita a los países que generan grandes cantidades de desechos combustibles de baja actividad. La mayoría de los países en los que funcionan grandes centros de investigación nuclear o centrales nucleares, o ambos tipos de instalaciones, inmovilizan los desechos de actividad baja e intermedia. La inmovilización de desechos líquidos y sólidos suele estar precedida por algún tratamiento de reducción volumétrica. Hace ya algunos años se viene utilizando también la cementación, una tecnología bien establecida, pero en varios países se han introducido otras matrices de inmovilización como son el betún y los polímeros, y están sometidas a una investigación activa.

Todos los procesos de inmovilización para los desechos de actividad baja e intermedia prevén la matriz de desechos sólidos necesaria para evitar liberaciones anticipadas de radionucleidos en el medio ambiente cuando los productos de desecho solidificado resultantes se evacuan en instalaciones de almacenamiento tecnológico. La evacuación de desechos de actividad baja e intermedia tratados o inmovilizados depende de la disponibilidad de masas de tierra, las formaciones geológicas y las condiciones hidrológicas de cada país.

A principios de la era de la energía nuclear, se consideraba que el vertimiento en el mar era una vía de evacuación adecuada con consecuencias radiológicas aceptablemente bajas. Con todo, la opinión pública mundial y una gestión deficiente han clausurado esta opción para el futuro inmediato. La mayoría de los Estados Miembros del Organismo evacuan hoy sus desechos de actividad baja e intermedia en instalaciones situadas en la superficie o cerca de la superficie y provistas de barreras tecnológicas adecuadas. En algunos países, como por ejemplo, la República Democrática Alemana, la República Federal de Alemania y los Estados Unidos de América, se practica la evacuación geológica en antiguas minas y la inyección en pozos a gran profundidad (fracturación hidráulica de rocas).

**Actividades nacionales: Desechos portadores de emisores alfa y de alta actividad**

| | Desechos portadores de emisores alfa | | Desechos de alta actividad | Evacuación de desechos alfa y de alta actividad | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Reducción volumétrica | Inmovilización | Inmovilización | Provisional | Geológica |
| Argentina | | | ID | | |
| Austria | | | PPF | | |
| Bélgica | ■ | ■ | I+D | ▮ | ● |
| Canadá | | | I+D | ▮ | |
| China | | | I+D | ▮ | |
| Francia | ■ | ■ | EIC | ▮ | ● |
| Alemania, Rep. Federal de | ■ | ■ | EIC | ▮ | ● |
| India | ● | | EIC | ▮ | ● |
| Italia | ● | ■ | PPF | ▮ | ● |
| Japón | ● | | CIC | ▮ | ● |
| R.U. | ● | ■ | CIC | ▮ | ● |
| EE.UU | ■ | ● | CIC | ▮ | ● |
| URSS | ■ | ■ | PPF | ▮ | ● |

Leyenda: ■ = Actividad actual
● = Actividad propuesta
I+D = Investigación y desarrollo
PPF = Planta piloto en frío
EIC = Explotación de instalación en caliente
CIC = Construcción de instalación en caliente

Fuente: Datos extraídos del folleto del OIEA *Radioactive Waste Management: A Status Report* (agosto de 1985).

**Estrategias para los desechos de alta actividad y los desechos portadores de emisores alfa**

Las estrategias nacionales para la gestión de los desechos de alta actividad suelen responder a la decisión que tome el país respecto del ciclo del combustible nuclear, en cuanto a si reelabora o almacena el combustible irradiado. En cierta medida, esto ocurre también con los desechos portadores de emisores alfa, aunque las actividades investigativas pueden generar algunas cantidades de este tipo de desechos. (Véase el cuadro adjunto para un resumen de la situación actual de la gestión de desechos portadores de emisores alfa y de alta actividad en algunos de los Estados Miembros.)

En algunos países se están desarrollando y se han aplicado tecnologías para el tratamiento de desechos portadores de emisores alfa. Entre las técnicas de reducción volumétrica que se han venido aplicando durante varios años figuran la digestión por ácido, la incineración y la pirólisis de los desechos. Se ha dedicado mucha atención a la incineración de los desechos combustibles portadores de emisores alfa, y actualmente se encuentran en explotación en los Estados Unidos y otros países nuevas plantas de incineración diseñadas especialmente para tratar desechos portadores de emisores alfa.

La inmovilización de desechos portadores de emisores alfa se ha realizado en buena medida incorporándolos en cemento o betún. La evacuación de desechos portadores de emisores alfa depende de los niveles de actividad de los desechos y de las normas nacionales de reglamentación en materia de evacuación. La mayoría de los Estados Miembros practican el almacenamiento controlado de desechos portadores de emisores alfa tratados o acondicionados para una estancia provisional en instalaciones tecnológicas de evacuación situadas en la superficie o cerca de ella. Se espera que en el futuro los desechos portadores de emisores alfa que excedan los límites establecidos para el enterramiento superficial se evacuen en repositorios geológicos profundos similares a los de la Planta Piloto para el Aislamiento de Desechos (WIPP) que se construye actualmente en los Estados Unidos.

El programa de gestión de desechos de alta actividad en los países que han optado por la reelaboración del combustible se basa en la inmovilización de esos desechos en formas sólidas monolíticas. A finales de los años setenta y principios de los ochenta se emprendieron numerosas actividades de investigación sobre distintas opciones para formas de inmovilización de desechos de alta actividad, considerando el alojamiente de los desechos en matrices constituidas por productos desnitrados por calcinación, vidrios, y productos cerámicos cristalinos.

A lo largo de los últimos años, ha aumentado el consenso en muchos países en cuanto a que, en la actualidad, el vidrio parece ofrecer la mejor transacción entre las propiedades que debe reunir la forma adoptada para el acondicionamiento de los desechos, la facilidad de fabricación y un largo historial de experiencia con materiales. En muchos países prosiguen las actividades de investigación y desarrollo de formas de vidrio cristalino para el acondicionamiento de desechos, y las de vidrio de borosilicato han pasado a ser reconocidas internacionalmente como las formas de referencia para los desechos de alta actividad.

En lo que respecta a la magnitud de la base tecnológica para la inmovilización de desechos de alta actividad en vidrios de borosilicato o en otros medios, varios Estados Miembros están enfrascados en actividades que abarcan desde modestas operaciones de investigación y desarrollo en frío hasta la vitrificación en gran escala de desechos de alta actividad en instalaciones al efecto. (Véase el cuadro de la página 8.)

**Principales instalaciones de evacuación de desechos de alta actividad y de combustible irradiado.**
A continuación se ofrece un resumen de los programas nacionales de varios Estados Miembros del Organismo para la construcción y explotación de instalaciones de evacuación de desechos de alta actividad (DAA) y de combustible irradiado. La mayoría de las instalaciones proyectadas están relacionadas con la vitrificación de desechos de alta actividad y el almacenamiento de los productos de desecho acondicionados.

| País | Instalación | Situación* |
|---|---|---|
| Alemania, Rep. Federal de | • Almacén FER para combustible irradiado (Gorleben) | 1984 |
| | • Repositorio de desechos (Gorleben) | 1995 |
| Argentina | • Repositorio para vidrio de DAA | 1984** |
| Bélgica | • Repositorio para desechos alfa | mediados de los años 90 sin definir aprobación del proyecto |
| | • Planta de vitrificación AVB para DAA líquidos de la Eurochemic | |
| Canadá | • Repositorio para combustible irradiado | 2010 ó después |
| España | • Repositorio para combustible irradiado | 2005/10 |
| EE.UU | • Planta de vitrificación para DAA de West Valley | 1988 |
| | • Planta de vitrificación para DAA de Savannah River | 1989 |
| | • Primer repositorio para DAA o combustible irradiado | 1998 |
| | • WIPP (repositorio de demostración para desechos alfa de defensa) | 1989 |
| Finlandia | • Repositorio para DAA o combustible irradiado | 2020 |
| Francia | • Plantas de vitrificación AVH (La Hague) | 1987/89 |
| India | • Planta de inmovilización de desechos en Tarapur para DAA y otros desechos de reelaboración | 1983 |
| Japón | • Planta de vitrificación de DAA en la fábrica de Tokai | 1991 |
| | • Almacenamiento de vidrio con DAA en Tokai | 1992 |
| | • Planta comercial de vitrificación de DAA | 1997 |
| | • Repositorio para vidrio con DAA | 2020 |
| Reino Unido | • Planta de vitrificación de DAA de Windscale en Sellafield | 1988 |
| Suecia | • Instalación de almacenamiento FER CLAB para combustible irradiado y vidrio con DAA | 1985 |
| | • Repositorio para DAA y combustible irradiado | 2020 |
| Suiza | • Instalación de almacenamiento FER para combustible irradiado, vidrio con DAA y otros desechos de reelaboración | 1992 |
| | • Repositorio geológico para DAA o combustible irradiado. | después de 2020 |

* Indica la puesta en marcha a menos que se indique otra cosa.
** Caracterización completa del emplazamiento.

### Combustible irradiado acondicionado

Si bien la mayoría de los países que participan en el ciclo del combustible nuclear tienen previsto reelaborar su combustible irradiado, varias naciones aspiran a utilizar el combustible en una sola etapa y consideran el combustible irradiado acondicionado como una posible forma definitiva de desecho de alta actividad. Este concepto es objeto de estudio en por lo menos seis Estados Miembros del Organismo: Canadá, España, los Estados Unidos, Finlandia, Suecia y Suiza.

En reconocimiento de esta opción, recientemente el Organismo amplió el alcance de un programa de investigación coordinada de nueva creación para evaluar las formas solidificadas de desechos de alta actividad y las barreras tecnológicas en condiciones de repositorio a fin de incluir el combustible irradiado. No cabe duda de que la opción del combustible irradiado acondicionado como forma definitiva de desecho de alta actividad recibirá mayor atención en la medida en que el aspecto económico del reciclaje del combustible se haga cada vez más marginal y los Estados Miembros valoren las ventajas y desventajas de la complejidad técnica adicional y de los pasos de manipulación necesarios para convertir los desechos de alta actividad en una matriz de desechos solidificados.

Aunque los productos de desechos de alta actividad provenientes de las plantas de vitrificación y el combustible irradiado acondicionado parecen estar destinados al almacenamiento permanente en repositorios geológicos, son pocos los emplazamientos nacionales en fase de preparación. No obstante, sí se han iniciado actividades de planificación y desarrollo. Es poco probable que se requiera poner en funcionamiento instalaciones de repositorios permanentes destinadas a desechos de alta actividad antes de la primera mitad del siglo XXI, ya que los productos de esos desechos y el combustible irradiado pueden almacenarse con seguridad durante muchos decenios en instalaciones situadas en la superficie.

### Problemas e interrogantes

Cuando se analiza la situación de la gestión de desechos radiactivos, no se puede dejar de mencionar, aunque sea brevemente, algunos problemas e interrogantes que atañen a esta materia. En más de una ocasión el Organismo y otras organizaciones nacionales e internacionales han señalado que no existen barreras tecnológicas que impidan a la humanidad una gestión segura de los desechos nucleares con vistas a proteger a la presente generación y a las subsiguientes.

De hecho, una de las conclusiones principales de la Conferencia internacional sobre la gestión de desechos radiactivos, patrocinada por el Organismo en mayo de 1983, fue que "existía la tecnología adecuada y es posible seleccionar las formaciones geológicas subterráneas idóneas a una profundidad conveniente" para "un aislamiento prolongado y seguro" de los desechos radiactivos.* Si bien la mayoría de las personas conocidas en esta esfera coincidirán con esta afirmación, aún quedan algunos aspectos un tanto delicados que requieren comprensión y medidas prudentes por parte de las organizaciones nacionales e internacionales responsables antes de que podamos pasar a la etapa final del trabajo. Algunos de los problemas que se exponen a continuación requieren medidas y tipos de actividades que no suelen ser propias de los tecnólogos.

### Las políticas oficiales y la opinión pública

La gestión de desechos, no obstante ser un campo que suscita un alto grado de debate e interés en la comunidad científica, ha pasado a ser ahora el centro de atracción de muchos órganos estatales y locales. Si bien la tecnología se ha desarrollado y, sobre todo, ha logrado demostrar que los desechos radiactivos pueden manipularse con seguridad actualmente y en el futuro, no son los factores técnicos, sino las actitudes del público en general y de los respectivos gobiernos las que en estos momentos determinan en muchos países los planes para la evacuación de los desechos. Como estas actitudes se derivan de las medidas y prácticas de la industria nuclear, la comunidad nuclear internacional tiene el deber de planear con claridad y eficacia todas las actividades de gestión de desechos sobre una base tecnológica firme que tenga cuidadosamente en cuenta la seguridad del hombre y del medio ambiente antes de que se pongan en práctica dichas medidas.

La interacción con grupos de interés público sólo puede ser favorable si el programa de aceptación pública tiene como características fundamentales la responsabilidad técnica y el acceso abierto a la información. Es digno de destacar que el programa del Proyecto de seguridad del combustible nuclear (KBS) de Suecia ha logrado cumplir con un requisito conforme al cual, si no progresaban los planes de evacuación de desechos, se hubiera prohibido suministrar combustible nuclear a los reactores recién construidos. El enfoque sobremanera abierto de Suecia respecto del acceso a la información pública y su firme concepto técnico deberían tomarse como guía con vistas a lograr la aceptación pública del tratamiento de los desechos y los planes de evacuación.

### La cooperación internacional

Si bien se reconoce que, en cierta medida, las actividades de gestión de desechos no se pueden aislar en las fronteras de los países, al parecer es poco el progreso alcanzado en cuestiones que precisan de un foro internacional para el debate y la adopción de decisiones.

Aunque el OIEA y otras organizaciones internacionales involucradas en el uso del átomo con fines pacíficos actúan como catalizadores en algunos problemas mundiales de gestión de desechos, no se ha logrado avanzar en lo referente a las instalaciones internacionales para la evacuación de desechos.

Una preocupación especial estriba en definir la responsabilidad que atañe a las naciones y a la comunidad internacional con respecto a los países que tienen programas nucleares pequeños o cuyas tierras son inadecuadas o limitadas para la evacuación de los desechos provenientes de la explotación de centrales nucleoeléctricas. Las naciones vendedoras de centrales nucleoeléctricas tienen el estímulo de la recompensa económica para efectuar ventas a otros países, pero, ¿no debieran tener también la obligación de facilitar la evacuación segura y definitiva de los desechos producidos por esas centrales energéticas en caso de que el comprador no disponga de la tecnología o de las formaciones geológicas adecuadas para aislar tales desechos? La comunidad internacional tendrá que abordar esta situación en el futuro inmediato, ya que varias naciones que explotan o tienen previsto explotar centrales nucleoeléctricas afrontarán a la larga problemas de evacuación de desechos cuya solución tal vez no resulte viable o práctica en el marco de las fronteras nacionales.

### Evacuación geológica de productos de desecho

Se continúa desarrollando a paso firme la tecnología para la evacuación geológica profunda de paquetes de combustible irradiado y de desechos solidificados de alta actividad o de ambos, pero aún existen aspectos que requieren una mayor aclaración como por ejemplo, ¿qué se puede considerar una demostración adecuada de la seguridad futura y cómo se puede encontrar un equilibrio entre la minimización de las dosis radiológicas para la generación actual y las futuras? Por otra parte, ¿en qué consiste un equilibrio eficaz que abarque todo el sistema de evacuación, es decir, la matriz de desechos, el contenedor, las barreras tecnológicas, el material de relleno y la roca huésped?

El razonamiento científico y social tiene que llegar a apoyar el concepto de que no es viable, y ni siquiera deseable, garantizar que cada componente del sistema de contención de desechos de barreras múltiples se optimice hasta la "n" potencia con vista a asegurar riesgos radiológicos aceptables a la generación actual y a las futuras. Se trata más bien de que es preciso convenir que se integren barreras aceptables para cada uno de los componentes del sistema en "un sistema a prueba de fallos" general.

Para concluir, bien vale la pena señalar el grado de avance que se ha experimentado en la gestión de desechos radiactivos. Las tecnologías y prácticas de las naciones que utilizan el átomo son seguras y sensibles a la necesidad de proteger al hombre y a su medio ambiente de los riesgos radiológicos. Disponemos de tecnologías para realizar la elaboración y el aislamiento necesarios de los desechos. ¿Podemos acaso dejar de aunar nuestras fuerzas y resolver de una vez por todas los problemas pendientes en torno a la gestión de desechos radiactivos que limitan nuestro avance e impiden a la humanidad cosechar plenamente los beneficios del átomo?

* Tomado de las observaciones hechas por Hans Blix, Director General del OIEA, en la Conferencia internacional sobre la gestión de desechos radiactivos, celebrada en Seattle, Washington, del 16 al 20 de mayo de 1983. Para un informe sobre la conferencia, véase *Boletín del OIEA*, Vol. 25, No. 4 (diciembre de 1983).