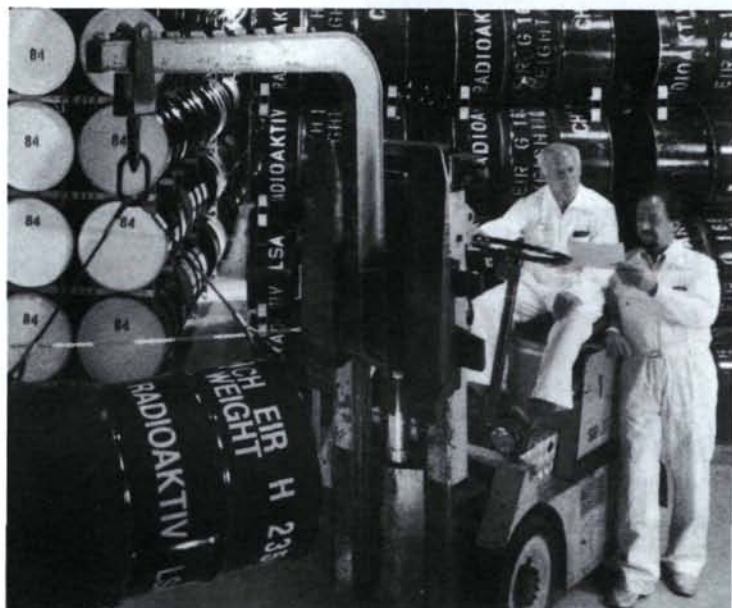


La evacuación geológica de desechos de actividad alta se basa en un criterio de barreras múltiples para aislar del medio ambiente los desechos en condiciones de seguridad. En varios países se realizan investigaciones en laboratorios subterráneos. (Fotos: SKB, ANDRA.)

Edificio de almacenamiento para desechos radiactivos de actividad baja en los Estados Unidos (Foto: USDOE)



En el Instituto de Investigación de Reactores, de Suiza, algunos desechos radiactivos de actividad baja se almacenan en el emplazamiento. (Foto: UNIPEDE)

# Panorama mundial de la gestión de desechos radiactivos

*Tendencias y novedades actuales*

por J.L. Zhu y C.Y. Chan

Con una historia de más de 40 años de desarrollo, la utilización del átomo puede clasificarse ahora como tecnología madura. No obstante, las ventajas que resultan de la utilización del átomo no dejan de presentar algunos problemas. Pocos asuntos han sido objeto de tanta atención de parte de científicos, gobiernos y el público en general a lo largo de los últimos 30 años como el tema de los "desechos nucleares" (desechos radiactivos) y qué hacer con ellos. En muchos países, la utilización futura y continua de la energía nucleoelectrónica dependerá de que se encuentren soluciones aceptables para la gestión y evacuación de los desechos.

Casi cada uno de los 113 Estados Miembros del OIEA generan algún tipo de desechos radiactivos. Estos desechos se presentan en diversas formas y características y provienen de la generación de energía nucleoelectrónica, actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear, aplicaciones industriales, y trabajos en centros de investigación y hospitales, por ejemplo. Los volúmenes actuales de desechos generados por la energía nuclear y otras aplicaciones nucleares son pequeños comparados con los derivados de otras tecnologías o industrias (por ejemplo, las centrales eléctricas de carbón). No obstante, uno de los principales problemas que presentan es que algunos desechos radiactivos pueden continuar constituyendo una amenaza para el hombre y el medio ambiente durante períodos de tiempo prolongados.

En el presente informe se resumen las tendencias y estrategias nacionales en materia de gestión y eva-

cuación de desechos radiactivos, y las actividades que se realizan en la materia a nivel internacional. El ámbito de referencia del presente resumen se basa principalmente en los programas civiles de energía nucleoelectrónica.

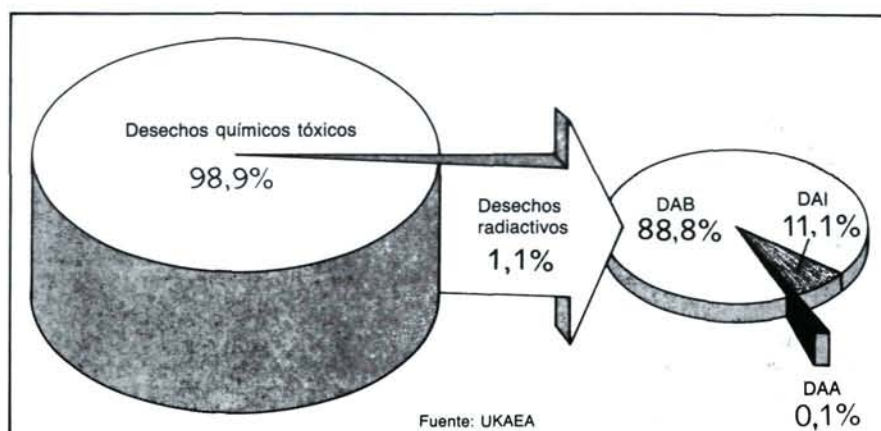
## Tendencias y estrategias

A medida que los países procuran establecer, planificar y ejecutan programas nacionales para la gestión de diversos tipos de desechos radiactivos, surgen problemas similares y algunas tendencias aparentes en los enfoques y estrategias adoptados, según se resume a continuación:

- **Se otorga particular importancia a la demostración de que todos los desechos radiactivos, incluso los más altamente radiactivos, pueden aislarse del hombre y del medio ambiente en condiciones de seguridad y durante el período de tiempo necesario.** La mayoría de los países que utilizan la energía nucleoelectrónica cuentan con programas para estudiar, desarrollar y demostrar soluciones técnicas para la gestión segura de los desechos radiactivos. La finalidad de muchos proyectos de investigación, desarrollo y demostración consiste en mostrar la existencia de métodos aceptables para la evacuación segura y a largo plazo de tales desechos. Estos desarrollos y estudios continuos son importantes por varias razones: servirán para comprobar las últimas soluciones y opciones conceptuales para la gestión y evacuación de los desechos; producirán nuevos datos de ensayo que contribuirán a mejorar los modelos matemáticos computarizados que se emplean para efectuar estudios de seguridad y evaluaciones de las posibles condiciones de la evacuación geológica; también contribuirán a evaluar, mediante la construcción de modelos analíticos, su

El Sr. Zhu es el Director de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de Desechos, del OIEA, y la Sra. Chan es funcionaria de la misma División.

En el Reino Unido se producen anualmente más de 4 millones de metros cúbicos de desechos tóxicos. Solo el 1,1% de esta cantidad está constituido por desechos radiactivos. De esta pequeña fracción, la mayor parte de los desechos son de actividad baja.



## Términos relacionados con los desechos radiactivos

Por razones de seguridad y técnicas, las distintas formas de desechos radiactivos se dividen normalmente en tres categorías por niveles de radiactividad, contenido térmico y riesgo potencial. El OIEA ha establecido definiciones que describen las características técnicas de los desechos radiactivos que se aplican a la gestión de éstos en muchos países. No obstante, con fines generales y a efectos de lograr una comprensión básica, puede ser útil presentar descripciones y explicaciones simplificadas de los términos importantes:

● **Período de semidesintegración.** Este término se refiere al intervalo de tiempo necesario para que un radionucleido determinado reduzca su radiactividad a la mitad. La mayoría de los productos de fisión significativos, que son altamente radiactivos, tienen períodos de semidesintegración de unos 30 años o menos; por ejemplo, el cesio 137. Unos pocos, como el yodo 129, tienen períodos de semidesintegración de miles de años. En perspectiva, el uranio natural tiene un período de semidesintegración de unos 4500 millones de años, o sea aproximadamente la edad actual de la Tierra.

● **Desechos de período corto y de período largo.** Estos términos se refieren al período de semidesintegración de un elemento radiactivo determinado. Los elementos cuyos períodos de semidesintegración son superiores a unos 30 años, se consideran normalmente como de período largo.

● **Desechos de actividad baja (DAB).** Estas sustancias contienen una cantidad despreciable de radionucleidos de período largo. Producidos por las actividades nucleares pacíficas en la industria, la medicina y la investigación, y por la explotación de reactores nucleares, estos desechos pueden comprender artículos y materiales como guantes, paños, vidrio, herramientas pequeñas, papel y filtros, debidamente embalados, que han sido contaminados con sustancias radiactivas.

● **Desechos de actividad intermedia (DAI).** Estos materiales presentan niveles de radiactividad y de contenido térmico inferiores a los correspondientes a los desechos de actividad alta, pero todavía se les debe aislar y blindar durante la manipulación y el transporte. Estos desechos pueden comprender resinas resultantes de explotaciones de reactor o lodos químicos solidificados, así como piezas de equipo o fragmentos metálicos. Se están utilizando procedimientos de ingeniería comerciales para el tratamiento y la inmovilización de estos desechos; se practica ampliamente la evacuación en estructuras de superficie o subterráneas a poca profundidad. Algunos países han construido o planean construir repositorios a poca profundidad en formaciones rocosas en tierra o bajo el mar.

● **Desechos de actividad alta (DAA).** Estos desechos se producen como consecuencia de la reelaboración de combustible gastado de reactores nucleoelectrónicos, proceso mediante el cual puede recuperarse uranio y plutonio para volver a utilizarlos. Los desechos contienen elementos transuránicos, así como productos de fisión, que son altamente radiactivos, termógenos y de período largo. Los DAA líquidos han sido eficazmente almacenados en tanques en instalaciones construidas a los efectos. Antes de la evacuación final y su aislamiento de la biosfera, es necesario tratarlos y solidificarlos. El combustible gastado que no se reelabora puede considerarse como desecho de actividad alta.

● **Desechos portadores de emisores alfa** (también denominados materiales transuránicos, contaminados con plutonio o desechos alfa). Estas sustancias comprenden desechos contaminados con nucleidos emisores alfa de período suficientemente largo, lo que hace inaceptable su evacuación mediante enterramiento a poca profundidad. Se originan principalmente en la reelaboración de combustible gastado y en la fabricación de combustible de óxidos mixtos. Los desechos pueden evacuarse en forma similar a los DAA.

## Evaluación ambiental

En cumplimiento de las recomendaciones de la Reunión de examen postaccidente, realizada en 1986 después del accidente de Chernobyl, el OIEA estableció un estudio internacional dirigido a utilizar los datos ambientales que existen como resultado de las precipitaciones radiactivas consecuencia de las liberaciones de Chernobyl. Este estudio, conocido como Validación de predicciones de modelos (VAMP), procura aprovechar el "laboratorio natural" para validar los modelos de transferencia ambiental. Estos modelos son de aplicación en la evaluación de las consecuencias radiológicas en todas las partes del ciclo del combustible nuclear. El estudio funciona con cuatro grupos de expertos separados, integrados por técnicos de instituciones de investigación de más de 20 Estados Miembros, y ha atraído el copatrocinio de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE). Se prevé que el VAMP continuará hasta 1992.

El OIEA participa también en un estudio internacional similar, el Estudio de validación de modelos biosféricos (BIOMOVs), iniciado en 1986 por el Instituto Nacional Sueco de Protección Radiológica (SSI). Este estudio, iniciado antes del accidente de Chernobyl, ensaya modelos de transferencia ecológica y bioacumulación de radionucleidos y otras sustancias indicadoras. Se ha modificado el calendario original del estudio para considerar datos posteriores al accidente de Chernobyl, y su realización continuará hasta 1991. — S. Hossain, División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de desechos.

validación, y las investigaciones en laboratorio, la capacidad de los repositorios de desechos en cuanto a la protección de la salud pública en condiciones de seguridad y a largo plazo. También se obtienen garantías adicionales respecto del comportamiento a largo plazo de los desechos a partir de estudios de condiciones radiactivas naturales, incluyendo el comportamiento de radionucleidos de depósitos de mineral de uranio que han estado presentes, sin sufrir perturbaciones, en la corteza terrestre durante miles de años.

● **Varios países construyen o están planificando instalaciones comerciales de reelaboración y vitrificación.** La reelaboración del combustible gastado es objeto de planificación, o ya de ejecución, en casi la mitad de los países que explotan la energía nucleoelectrónica. Francia y el Reino Unido cuentan con instalaciones comerciales de reelaboración desde hace ya casi un decenio. Para los primeros años del decenio de 1990, la mayoría de los otros países que planifican actividades de reelaboración contarán con instalaciones en funcionamiento.

A efectos de mejorar las tecnologías de vitrificación (la inmovilización del desecho mediante envoltura de vidrio o similar), algunos países han construido, o piensan construir, plantas piloto en pequeña escala para demostrar la tecnología disponible. Ya se encuentran en funcionamiento algunas plantas de vitrificación a escala natural y otras plantas similares están o bien en la etapa de planificación o bien en la de construcción. La Organización Australiana de Ciencia y Tecnología

Nucleares (ANSTO) ha comenzado recientemente a integrar sus plantas de demostración del material Synroc en pequeña escala a una planta mayor donde se desarrollarán y estudiarán métodos alternativos de calcinación.

● **La mayoría de los países con programas nucleoelectrónicos desarrollan tecnologías para la introducción de instalaciones de evacuación en capas geológicas profundas para los desechos radiactivos de actividad alta (DAA).** Los factores que influyen en la gestión de desechos nucleares dependen de la política del país y de su participación en las diversas etapas del ciclo del combustible nuclear. No obstante, existe consenso internacional, apoyado en bases técnicas, en el sentido de que la evacuación de DAA y/o combustible nuclear gastado en formaciones geológicas profundas constituye la opción más adecuada en este momento. No obstante, algunos programas nacionales continúan investigando otras opciones de evacuación, tales como la evacuación debajo del lecho marino. (Véanse los cuadros.)

● **Los países continúan desarrollando tecnologías más eficientes y eficaces para el tratamiento, el acondicionamiento y la evacuación de desechos de actividad baja (DAB) y de actividad intermedia (DAI).** Las novedades en la materia comprenden nuevos procesos y técnicas para reducir volúmenes de desechos en los puntos de generación y después de la generación (por ejemplo, incineración y compactación). Además, se está prestando particular importancia a la introducción de distintos métodos de inmovilización. En el pasado, se evacuaba algunos DAB con poco o ningún tratamiento y/o acondicionamiento. Se están volviendo a definir programas nacionales y se están desarrollando métodos para eliminar las consecuencias ambientales negativas de la evacuación de DAB.

● **Algunos países han establecido métodos especiales de financiar los programas de gestión y evacuación de desechos radiactivos, y la clausura de centrales nucleares.** Estos métodos comprenden el cobro a los productores nucleares de electricidad (o generadores de desechos) una pequeña suma por cada kilowatio-hora de electricidad generada para cubrir los costos actuales y previstos del desarrollo, explotación y clausura de instalaciones de evacuación. Debido a los enormes volúmenes de electricidad producidos, se espera que estas pequeñas "cuotas" alcancen para financiar adecuadamente los programas nacionales de gestión y evacuación de desechos nucleares. En términos absolutos, los costos totales estimados varían considerablemente dependiendo del tamaño y de las necesidades de los programas nucleoelectrónicos y del ciclo del combustible de cada país. No obstante, en el contexto general, los costos son relativamente bajos comparados con el valor total de la electricidad producida. Expresados en porcentajes, se espera que normalmente oscilen entre el 2% y el 6% de los costos totales de producción de energía por medios nucleares, con arreglo a estudios notificados al OIEA y a la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE).

● **El volumen de desechos radiactivos aumentará en los años venideros por igual en los países en desarrollo y en los industrializados debido al continuo desarrollo de la energía nuclear, así como a la clausura de viejos reactores nucleares que deberán ser desmantelados.**

### Roca sintética

En una planta de demostración emplazada en Lucas Heights, Australia, los científicos ensayan un producto, conocido como Synroc o roca sintética, para inmovilizar desechos de radiactividad elevada. El producto consta de tres minerales de titanato y una pequeña cantidad de aleación metálica. El funcionamiento de esta planta proporcionará experiencia práctica en la fabricación de Synroc a escala natural o casi natural sin emplear radiactividad; no existen planes de construir una planta de Synroc radiactiva en Australia. Esta planta proporcionará datos para el diseño de una planta para tratamiento de desechos radiactivos y permitirá contar con estimaciones preliminares sobre el costo de fabricación de la Synroc radiactiva.

La estrategia Synroc se basa en el conocimiento de que algunos minerales naturales han sobrevivido en condiciones geológicas extremas durante millones de años. Todas las rocas contienen pequeñas cantidades de elementos radiactivos, como el uranio, el torio y el potasio, que se han distribuido entre minerales coexistentes como soluciones sólidas diluidas. Muchos de estos minerales, como el circonio y el feldespato, han demostrado tener capacidad de encerrar pequeñas cantidades de elementos radiactivos durante milenios. En la Synroc, los elementos de desechos radiactivos se inmovilizan de la misma forma como soluciones sólidas en las estructuras cristalinas de sus minerales huésped.\*

En el desarrollo y ensayo de este producto, Australia colabora con el Reino Unido, Japón e Italia. En el Reino Unido, se han fabricado pequeños especímenes de Synroc que contienen desechos de actividad alta, y se prevé realizar una labor similar en el Japón, donde se han producido anteriormente muestras Synroc. Las propiedades y el comportamiento de la Synroc también se han estudiado en laboratorios del Canadá, en la República Federal de Alemania y los Estados Unidos. En Australia, los participantes principales en la labor de investigación y desarrollo son la Organización Australiana de Ciencia y Tecnología Nucleares (ANSTO) y la Universidad Nacional Australiana (ANU), donde el Prof. A.E. Ringwood y sus colegas inventaron el concepto Synroc en el decenio de 1970.

Como parte de las actividades nacionales, la ANU ha preparado Synroc que contiene uranio y tecnecio radiactivos y han ensayado sus propiedades. Los investigadores de la ANU también han realizado estudios geológicos, cristalográficos e isotópicos de minerales de ocurrencia natural que han estado expuestos a grandes dosis acumulativas de radiación durante tiempos geológicos y que han retenido cuantitativamente elementos radiactivos. La ANSTO ha preparado y ensayado mediante lixiviación Synroc radiactiva que contiene elementos actínidos y, separadamente, productos de fisión derivados de la producción de isótopos médicos en su laboratorio de investigación de Lucas Heights. Se informó que los resultados obtenidos fueron excelentes. La Synroc también se sometió a irradiación con neutrones rápidos en el reactor de investigación. En ensayos que duraron hasta seis meses, la Synroc ha soportado un período simulado de cien mil años de contención de desechos de actividad alta sin experimentar ningún daño físico significativo o pérdida de resistencia a la lixiviación, según informó la ANSTO.

\*"Synroc", por A.E. Ringwood y S.E. Kesson, *Radioactive Waste Forms for the Future*, Elsevier Science Publishers B.V. (1988).

## Crónicas

### Desechos de actividad baja e intermedia: estrategias de manipulación y tratamiento

	Estrategias de manipulación	Tipo de evacuación (real y/o propuesta)
Alemania, Rep. Fed. de	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	repositorio
Argentina	algo de incineración	enterramiento somero
Bélgica	tratados, embalados y almacenados	repositorio
Brasil	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	enterramiento somero o instalación en la costa
Bulgaria	tratados/no tratados, embalados y almacenados	en superficie/recubrimiento
Canadá	tratados, no tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero; repositorio
Corea, Rep. de	tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero; repositorio
Cuba	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	en superficie/recubrimiento
Checoslovaquia	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	enterramiento somero; repositorio
China	tratados, no tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	enterramiento somero;
España	tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero
Estados Unidos	tratados, no tratados, embalados y almacenados, algo de incineración	enterramiento somero; en superficie/recubrimiento
Finlandia	tratados, embalados y almacenados	repositorio
Francia	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	enterramiento somero; en superficie/recubrimiento
Hungría	tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero;
India	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	en superficie/recubrimiento
Italia	no tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero
Japón	tratados, embalados y almacenados	enterramiento somero; estudios del lecho marino
Países Bajos	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	repositorio
Reino Unido	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	enterramiento somero; repositorio
Rep. Dem. Alemana	no tratados, embalados y almacenados, empaquetados y enterrados	repositorio
Rumania	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	
Suecia	tratados, embalados y almacenados; empaquetados y enterrados	instalación en la costa
Suiza	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	repositorio
URSS	tratados, embalados y almacenados; algo de incineración	en superficie/recubrimiento
Yugoslavia		repositorio; en superficie/recubrimiento

Sobre la base de datos notificados al OIEA, a octubre de 1989 había en todo el mundo 531 reactores nucleoelectrónicos en explotación o en construcción en 31 países. En 67 países, 356 reactores de investigación estaban en la etapa de explotación, construcción o planificación. Otras 239 unidades se encontraban en estado de parada a finales de 1988. Además, en 17 países se contabilizaron casi 100 instalaciones nucleares en distintas etapas de la clausura.

Con arreglo a cálculos basados en las últimas cifras de capacidades de centrales nucleoelectricas publicadas por la AEN/OCDE y el OIEA, se han proyectado inventarios de desechos para los años 1988, 1990, 1995 y 2005. (Véanse las figuras de la página 10.) Estos cálculos se basan en una vida media de 30 años para las centrales nucleoelectricas (las cifras reales pueden ser diferentes).

● *Los países en desarrollo enfrentan problemas diferentes a los de los países industrializados en la manipulación y gestión seguras cotidianas de los desechos radiactivos, y por consiguiente sus necesidades inmediatas son también diferentes.* Entre las razones de lo anterior está el hecho de que sus respectivos programas nucleoelectrónicos se encuentran o bien en las primeras etapas o bien acaban de iniciarse. Por consiguiente, la base total de experiencia de los países en desarrollo es menor y, frecuentemente, las infraestructuras industriales y reglamentarias generales no están tan bien establecidas como en los países industrializados. Muchos países en desarrollo no cuentan con programas nucleoelectrónicos pero deben encarar la gestión de desechos producidos por la utilización de radisótopos en la industria, la medicina, la investigación y otras esferas. Para ayudar a sus Estados Miembros en desarrollo en la

**Evacuación de desechos de actividad alta/combustible gastado: Programa de investigación y desarrollo**

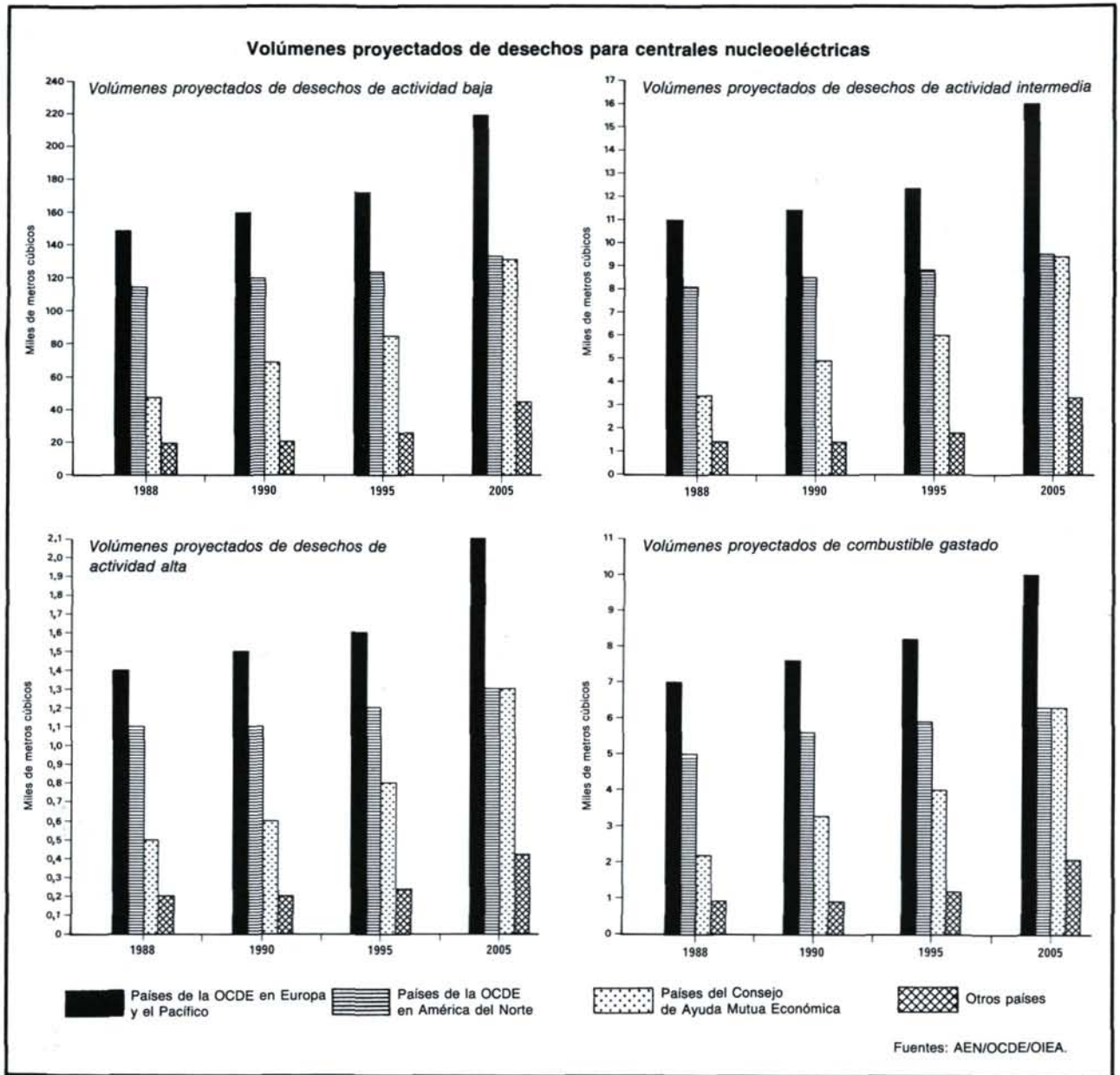
	Investigación del emplazamientos	Selección de emplazamientos	Laboratorio de investigación subterráneo		Funcionamiento del repositorio (proyectado)
			Construcción	Investigación	
Alemania, Rep. Fed. de	■	■	■	■	> 2000
Argentina	■				
Bélgica	■	■	■	■	
Brasil	■				
Canadá	■		■	■	> 2020
China	■				
España	■				
Estados Unidos	■	■	■		2005-10 2003
Finlandia	■				
Francia	■	■			2009
India	■		■	■	
Japón	■	■			> 2020
Países Bajos	■				
Suecia	■	■			> 2020
Suiza	■	■	■	■	> 2020
Reino Unido	■				
URSS	■				

**Notas:** En Bulgaria, Cuba, Checoslovaquia, Hungría, Polonia, República Democrática Alemana, y Rumania, el combustible gastado se devuelve al suministrador extranjero.

**Planes nacionales para evacuación de desechos de actividad alta y/o combustible gastado**

	Evacuación geológica	Medio rocoso	Reelaboración		Forma final del desecho
			Nacional	Extranjero	
Alemania, Rep. Fed. de	■	Sal		■	Bloques de vidrio
Argentina	■	Granito	■		Bloques de vidrio
Bélgica	■	Arcilla		■	Bloques de vidrio
Bulgaria				■	
Canadá	■	Granito			Combustible gastado en barriles
Cuba				■	
Checoslovaquia				■	
China	■		■		Bloques de vidrio
España	■	Sal, arcilla, cristalino		■	Bloques de vidrio y combustible gastado en barriles
Estados Unidos	■	Toba			Combustible gastado en barriles
Finlandia	■	Granito		■	Bloques de vidrio
Francia	■	Arcilla, sal, granito, esquisto	■	■	Bloques de vidrio
Hungría				■	
India	■	Granito	■		Bloques de vidrio
Italia	■	Arcilla o cristalino		■	Bloques de vidrio
Japón	■	Granito, esquisto, toba	(1992)■	■	Bloques de vidrio
Países Bajos	■	Sal, arcilla		■	Bloques de vidrio
Polonia				■	
Reino Unido	■		■	■	Bloques de vidrio
Rep. Dem. Alemana				■	
Rumania				■	
Suecia	■	Granito			Combustible gastado en barriles
Suiza	■	Granito, roca		■	Bloques de vidrio y combustible gastado en barriles
URSS	■	Sal, cristalino	■	■	Bloques de vidrio

**Nota:** Ningún Estado Miembro ha realizado una selección final de emplazamientos de repositorios para evacuación de DAA o combustible gastado. Los medios rocosos indicados son los que se están considerando y/o son objeto de estudios de caracterización de emplazamientos. En Bulgaria, Cuba, Checoslovaquia, Hungría, Polonia, República Democrática Alemana y Rumania, el combustible gastado se devuelve al suministrador extranjero.



satisfacción de sus necesidades concretas en materia de gestión de desechos, el OIEA proporciona asistencia técnica patrocinando proyectos técnicos y facilitando expertos, capacitación y equipo. (Véase el artículo en la presente edición titulado "La gestión de desechos radiactivos en los países en desarrollo".)

● *En muchos países la opinión pública ha influido considerablemente en el progreso de la gestión de desechos radiactivos y cabe esperar que continúe haciéndolo en el futuro.* Si bien los científicos e ingenieros confían en que la moderna tecnología puede asegurar la evacuación segura de los desechos nucleares, frecuentemente la opinión pública no comparte esa certidumbre. "Lo que se necesita en muchos países es un esfuerzo para hacer que se comprendan más ampliamente las técnicas propuestas y sus características de seguridad", ha dicho el Director General del OIEA,

Hans Blix. "Es evidente que este esfuerzo educativo puede resultar más difícil que el esfuerzo técnico que ha sido necesario." En los años más recientes ha aumentado considerablemente el número de programas nacionales e internacionales educativos y de información pública. Muchas organizaciones determinan y preparan mecanismos para llegar al público con fines educativos. El OIEA está preparando actualmente un libro de referencia, denominado IAEA Source Book, en el que se destacan los principales temas que preocupan al público en relación con la gestión y evacuación de los desechos. Este libro proporcionará un panorama general de la forma en que algunos países encaran la gestión de los desechos nucleares, cómo se comunican con el público, y cómo desarrollan y ejecutan políticas en la materia. El objetivo de la publicación es presentar a los países material de referencia sobre asuntos, problemas y posibles soluciones.

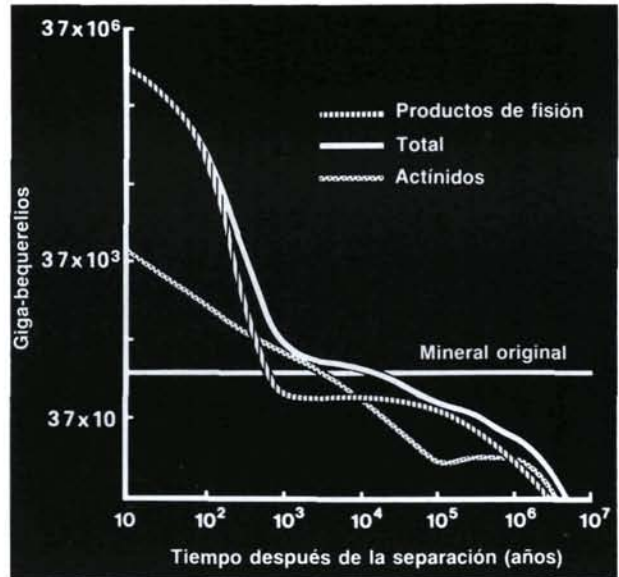
● *La cooperación internacional y el intercambio entre programas nacionales y organizaciones internacionales continúan siendo importantes y ventajosos para todas las partes interesadas.* El número de estudios cooperativos, grupos de trabajo especiales y proyectos conjuntos patrocinados por organizaciones nacionales e internacionales, y entre dichas organizaciones, continúa aumentando a medida que éstas reconocen la importancia y las ventajas de los esfuerzos conjuntos. Organizaciones internacionales como la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), el OIEA y la AEN/OCDE han patrocinado y participado en varios estudios técnicos y ambientales relacionados con la gestión de desechos. Estudios conjuntos, como el proyecto Stripa en Suecia, continúan produciendo datos y experiencia valiosos para sus participantes. También se han planificado o se están realizando varias nuevas iniciativas ambientales patrocinadas conjuntamente por las tres organizaciones.

**Estrategias de gestión de desechos radiactivos**

*Desechos de actividad baja e intermedia.* La mayoría de las estrategias nacionales comprenden algún tipo de tratamiento y acondicionamiento de DAB y DAI. Durante los últimos años muchos programas nacionales han establecido proyectos y estudios activos para elaborar técnicas y tecnologías que reducirían considerablemente el volumen de desechos generados y el volumen de desechos "después de la generación". Normalmente, después del tratamiento y/o acondicionamiento, los desechos se embalan y almacenan o se colocan en instalaciones artificiales para evacuación (por ejemplo, a poca profundidad y en fosas de hormigón).

En algunos países ya están funcionando repositorios e instalaciones de evacuación a poca profundidad para DAB y DAI. La República Democrática Alemana, por ejemplo, ha tenido en funcionamiento desde 1978 un repositorio para los desechos producidos por sus reactores. En 1988, Suecia finalizó la construcción de un repositorio (SFR) bajo el Mar Báltico cerca de Forsmark. Otros países cuentan con instalaciones para el almacenamiento en superficie o la evacuación a poca profundidad de sus respectivos DAB y DAI.

*Combustible gastado y desechos de actividad alta (DAA).* Inicialmente, el combustible gastado se almacena, en los emplazamientos de reactores, bajo agua en piscinas construidas especialmente para permitir que gran parte de la radiactividad decaiga durante el almacenamiento provisional. Posteriormente, muchos países almacenan el combustible gastado en instalaciones centralizadas de almacenamiento provisional o en instalaciones de reelaboración. El tiempo que el combustible gastado permanece en el almacenamiento provisional depende en gran medida de las políticas nacionales. Normalmente, el combustible gastado se almacena durante 5 a 10 años antes de la reelaboración. En promedio, los DAA y/o el combustible gastado se almacenará durante 20 a 30 años antes de la evacuación. Desde el punto de vista técnico, la desintegración radiactiva durante el almacenamiento permite que los requisitos en materia de evacuación y manipulación sean menos severos; la desintegración es más rápida en los primeros años. (Véase el gráfico.)



La radiactividad de los desechos de actividad alta declina continuamente con el tiempo y más acusadamente en los primeros cientos de años. Finalmente, el nivel de radiactividad será inferior al del mineral de uranio natural del que se extrajo el combustible gastado. El gráfico muestra los niveles de radiactividad en los productos de desechos por tonelada de combustible.

*El bequerelio es la unidad internacional de medida que indica la velocidad con que un elemento radiactivo decae o se desintegra espontáneamente y libera su energía. Un bequerelio corresponde a la velocidad de desintegración de un átomo por segundo. El bequerelio es una unidad menor que el curio, que también se usa a veces. Un curio corresponde a 37 gigabequerelios.*

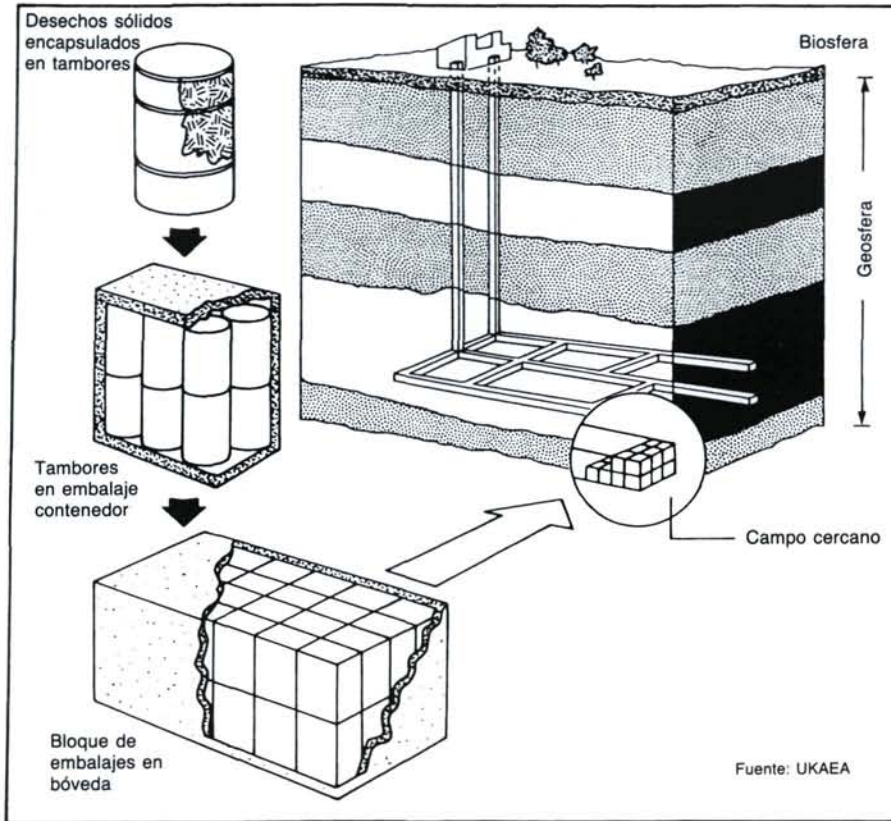
En algunos países se han construido o se construirán centros de almacenamiento centralizados ("lejos del reactor", denominadas instalaciones LDR), para combustible gastado. En algunos casos, son necesarias para integrar mejor todo el sistema de gestión de desechos antes de la reelaboración o evacuación, o debido a la limitada capacidad de las instalaciones de almacenamiento provisional en los emplazamientos de reactor. Las centrales nucleoelectricas están enfrentando graves problemas de almacenamiento en algunos países. Estudios realizados por el OIEA y la AEN/OCDE han calculado que para el año 2000 se habrán acumulado en todo el mundo unas 200 000 toneladas métricas de combustible gastado procedente de los reactores de agua ligera.\*

Actualmente, nueve países explotan o están construyendo instalaciones de reelaboración de combustible gastado, y 12 países envían o enviarán el combustible gastado al exterior para su reelaboración. También actualmente, alrededor de la mitad de los Estados Miembros que cuentan con centrales nucleoelectricas prevén reelaborar el combustible gastado, proceso mediante el cual se separa el uranio y el plutonio reutilizables de los productos de fisión.

*Evacuación de DAA en formaciones geológicas profundas — concepto y fundamentación.* ¿Por qué la evacuación en formaciones geológicas profundas? Muchos científicos están de acuerdo en que la evacuación de DAA en formaciones geológicas profundas es la mejor opción de evacuación disponible actualmente.

\* Nuclear power and fuel cycle: Status and trends, Parte C del IAEA Yearbook 1989 (Anuario), Viena (1989).





Para la evacuación de desechos de actividad baja e intermedia en formaciones geológicas profundas, las estrategias empleadas en varios países han adoptado un enfoque de barreras múltiples, similar al que aquí se ilustra.

También se conviene en que el objetivo de la evacuación geológica es aislar los desechos radiactivos del medio humano durante un período de tiempo y en condiciones tales que toda posible liberación subsiguiente de radionucleidos del repositorio no provocará riesgos radiológicos inaceptables, incluso a largo plazo.\*

Este objetivo puede lograrse diseñando sistemas con múltiples componentes, en los cuales el embalaje de los desechos (la forma del desecho, el recipiente y el sobre-embalaje), las otras barreras artificiales, y el repositorio y las características específicas del sistema geológico (por ejemplo, la geología y la hidrogeología) proporcionan barreras múltiples a la liberación y transporte de los radionucleidos. El emplazamiento de desechos de período largo adecuadamente embalados en formaciones geológicas estables y profundas puede asegurar que los desechos permanecerán inmobilizados y aislados mientras la desintegración radiactiva reduce el nivel de radiactividad a niveles bajos o despreciables. Se conviene en que los riesgos radiológicos para las generaciones presentes y futuras deben limitarse a muy bajos niveles compatibles con las normas de seguridad pertinentes, tanto nacionales como internacionales.

Se espera que en los próximos 10 a 15 años puedan realizarse las primeras demostraciones comerciales de procedimientos de evacuación final de desechos de actividad alta y/o combustible gastado debidamente acondicionados. Mientras tanto, se están intensificando los ensayos y los estudios analíticos tendientes a mejorar el conocimiento de que se dispone acerca del comporta-

miento a largo plazo de la forma de los desechos y de la contención de éstos, así como la selección de lugares de evacuación adecuados.

**Emplazamientos subterráneos de investigación.** En laboratorios subterráneos de investigación de Bélgica, el Canadá, Estados Unidos, la India, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza, científicos e ingenieros realizan investigaciones detalladas de emplazamientos en formaciones salinas, arcillosas, cristalinas y de otros tipos de roca. En algunas de estas instalaciones de ensayo, se han emplazado elementos de actividad alta durante ciertos períodos de tiempo en perforaciones efectuadas en cavernas excavadas para demostrar la tecnología disponible. Algunos países están planificando o construyendo actualmente instalaciones subterráneas de ensayo en posibles emplazamientos de repositorios. Algunos de estos países participaron en el primer laboratorio internacional subterráneo de investigaciones del mundo, emplazado en la mina Stripa, que comenzó a funcionar en 1978. El proyecto Stripa, ya bien avanzado el segundo año de su tercera etapa, se dedicará a técnicas de investigación de emplazamientos, desarrollo de técnicas geofísicas, construcción de modelos de redes, efectos de canalización y sellado de rocas fracturadas.\*

**Laboratorios naturales análogos.** Uno de los aspectos más particulares y complicados desde el punto de vista científico de la predicción de la seguridad de los repositorios de DAA es la aplicación de datos de

\* *In-situ research and investigation in OECD countries*, AEN/OCDE, París (1988).

\* *"Update on waste management policies and programmes"*, Nuclear Waste Bulletin No. 2, AEN/OCDE, París (1988).

### Código de práctica para las transacciones internacionales relacionadas con desechos radiactivos

A raíz de las preocupaciones expresadas en el sentido de que en algunos países en desarrollo se habían vertido desechos tóxicos, en la trigésima segunda reunión ordinaria de la Conferencia General del OIEA, celebrada en septiembre de 1988, se aprobó una resolución dirigida a la elaboración de un código de práctica para las transacciones internacionales relacionadas con desechos radiactivos. Este código de práctica estará destinado a orientar a los Gobiernos en la prevención de transacciones ilícitas y del vertimiento de desechos radiactivos.

Atendiendo a esta resolución, se celebró en la Sede del OIEA en Viena, en mayo de 1989, la primera reunión de un Grupo de expertos que representaron a 20 Estados Miembros y tres organizaciones internacionales. Algunos de los principios básicos que se discutieron en la reunión tenían por objeto asegurar que todas las transacciones internacionales de desechos radiac-

tivos deberían realizarse con el expreso consentimiento de los países interesados, con arreglo a sus leyes y reglamentos, y de conformidad con normas de seguridad internacionalmente aceptadas; no se deberían exportar desechos radiactivos a países que no cuenten con la capacidad técnica y/o administrativa relacionada con la gestión y evacuación seguras de los mismos; los desechos que serán objeto de movimientos transfronterizos deben transportarse de conformidad con reglamentos y normas internacionales de aceptación general.

El proyecto de código de práctica quedará finalizado en la próxima reunión del Grupo de expertos que se celebrará en enero de 1990, y se presentará a la Junta de Gobernadores del OIEA y a la Conferencia General de septiembre de 1990, para su aprobación. — *P.L. De, División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de Desechos.*

laboratorio obtenidos en períodos cortos a los eventuales comportamientos a largo plazo. Los estudios de los análogos naturales pueden constituir la mejor forma de obtener pruebas de efectos acumulativos de la migración de los radionucleidos a lo largo de decenas de miles de años.

Varias organizaciones nacionales e internacionales han aunado esfuerzos para realizar proyectos cooperativos sobre análogos naturales: los científicos están estudiando varios depósitos de mineral de uranio en la región de Alligator Rivers, en el territorio norte de Australia; en la región norte de Saskatchewan, Canadá, investigadores estudian el depósito de uranio de Cigar Lake con el especial interés de descubrir las causas de la migración de radionucleidos en la roca huésped y las razones por las cuales el yacimiento de mineral de uranio ha sobrevivido durante 1300 millones de años en un sistema relativamente abierto saturado con agua subterránea; se están realizando estudios detallados de un depósito de torio cerca de Poços de Caldas, Brasil; y en el sitio Oklo, laboratorio natural ubicado en Gabón, los investigadores han recogido valiosa información relativa al almacenamiento a largo plazo de desechos radiactivos.

**Evacuación de DAB/DAI en el océano.** La evacuación en el mar de desechos radiactivos sólidos de actividad baja, embalados, constituye una alternativa a la evacuación terrestre de algunos tipos de desechos. La evacuación en el océano de ciertos desechos radiactivos embalados, ya estudiada desde 1949 y practicada regularmente por varios países en el pasado, sigue constituyendo una opción a considerar por algunos países. No obstante, en el marco del Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (conocido como CLV o Convenio de Londres sobre Vertimiento), firmado en 1972, las Partes en el CLV convinieron una moratoria no vinculante del vertimiento de desechos radiactivos en el mar, hasta que se resolvieran ciertos aspectos problemáticos.

(Véase el artículo conexo en la presente edición: "Evacuación de desechos radiactivos en el océano: Informe de situación".)

En el marco del CLV, el OIEA ha definido a los DAA como inadecuados para vertimiento en el mar. También ha publicado recomendaciones a las Partes respecto de las cantidades y de la naturaleza del material que puede verterse. La definición se revisa continuamente para reflejar los cambios habidos en la filosofía de la protección radiológica, las mejoras en cuanto a la construcción de modelos oceánicos y nuestra comprensión de las consecuencias de la evacuación marina en las especies que habitan ese medio. Estas revisiones reúnen a expertos internacionales en diversas disciplinas y recaban opiniones de muchas organizaciones.

#### El futuro

En resumen, el tiempo que ha llevado y que todavía llevará preparar, ejecutar y demostrar soluciones seguras y permanentes al problema de la evacuación de desechos radiactivos refleja la importancia política, económica y ambiental, respecto de la salud pública y la seguridad, que reviste la tarea en cuestión así como sus desafíos técnicos. No obstante, estos desafíos y problemas técnicos no constituirán obstáculos en el camino hacia el progreso. Existe consenso internacional en el sentido de que las soluciones técnicas a los problemas de gestión y evacuación de desechos existen y pueden demostrarse. Lo que debe resolverse para que continúe el progreso en la materia son los aspectos institucionales y sociopolíticos conexos. Por consiguiente, los programas de gestión de desechos, tanto nacionales como internacionales, deben continuar realizándose a partir de una base amplia, común, tecnológica e institucional que permitirá satisfacer las necesidades de los programas específicos. En todos los frentes, la cooperación internacional será y deberá seguir siendo un componente activo y necesario del progreso de todos los países.