

Gestión de desechos radiactivos: Perspectiva internacional

Informe sobre las políticas y prácticas nacionales en el contexto de las actividades de investigación, desarrollo y demostración que tienen lugar en todo el mundo

por Candace Y. Chan

En los últimos 35 años, los científicos, los gobiernos y el público en general han prestado considerable atención al tema de los desechos radiactivos, y últimamente aún más, dado el aumento del interés en la protección del medio ambiente. Los posibles efectos transfronterizos han redoblado este interés, que hoy trasciende los límites nacionales y tiene alcance regional y mundial.

Casi todos los Estados Miembros del OIEA generan algún tipo de desecho radiactivo. No obstante, esos tipos de desechos varían, al igual que las cantidades, que van desde unos pocos gramos hasta varios cientos de toneladas anuales.

En el presente artículo se resume el estado actual de las actividades que llevan a cabo los Estados Miembros del OIEA en materia de gestión y evacuación de desechos, y se expone sucintamente información básica sobre lo que se entiende por desechos radiactivos, su procedencia y gestión.

Políticas y prácticas nacionales

Desechos de actividad baja y de actividad intermedia (DAB y DAI). Actualmente, en la mayoría de los programas nacionales se hace hincapié en reducir al mínimo esta categoría de desechos. El aumento del costo de su evacuación durante el decenio pasado obligó a los generadores de desechos radiactivos a adoptar medidas substanciales, generalmente fructíferas, para reducir su volumen en el momento de la generación y después de ésta. (Véanse los cuadros de las páginas 13 y 14.)

Evacuación de DAB y DAI. Durante los últimos 30 años, varios países han practicado la evacuación de desechos de actividad baja y de parte de los desechos de actividad intermedia. A este efecto los países siguen utilizando una combinación de instalaciones de evacuación ubicadas cerca de la superficie

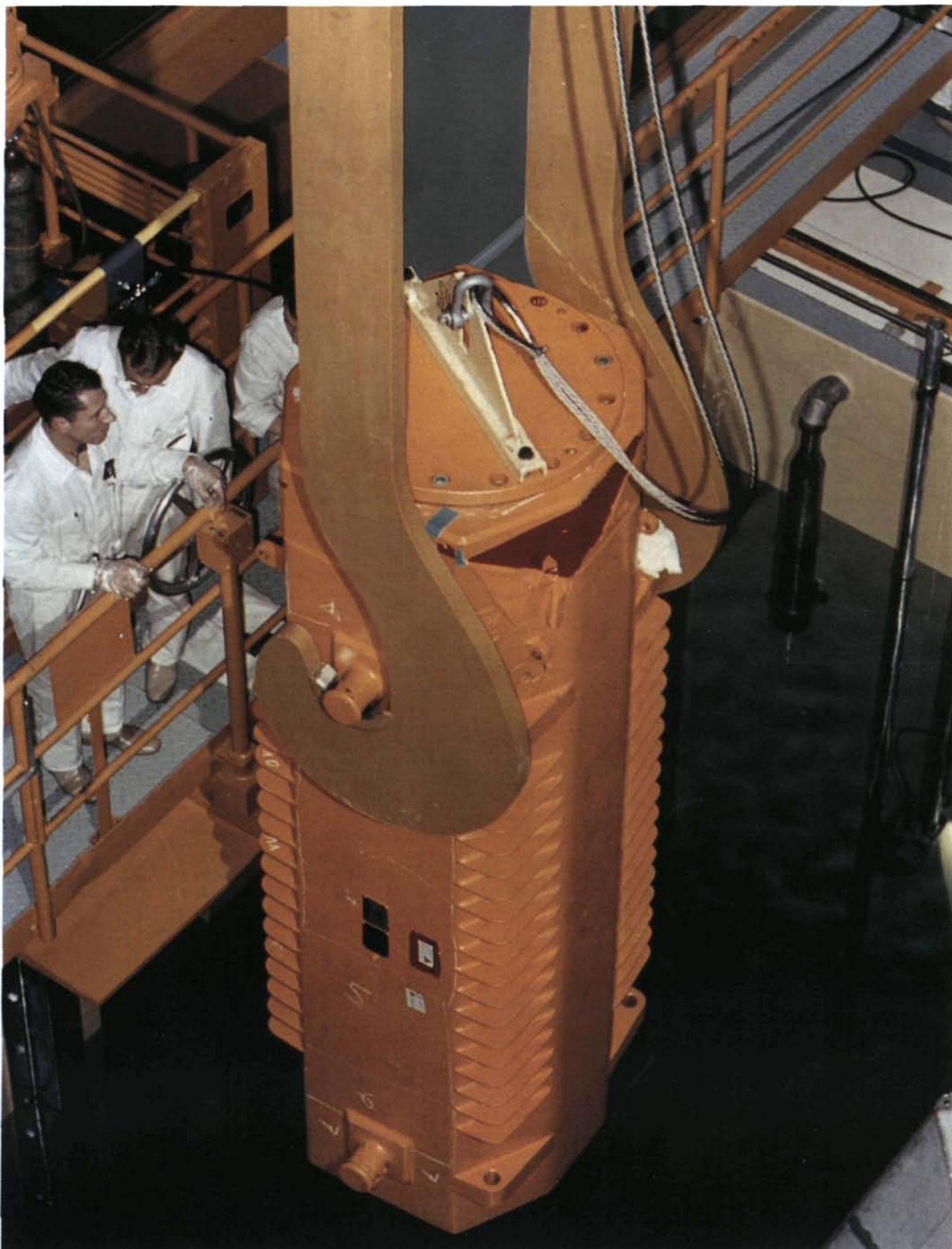
y a profundidades intermedias, pero cada vez se apoyan más en el uso de barreras artificiales para aislar los desechos radiactivos. Asimismo, algunos países, por falta de instalaciones adecuadas cerca de la superficie o por cuestiones de política nacional, evacúan sus DAB y DAI a profundidades mucho mayores. Un ejemplo de ese tipo de instalaciones es el repositorio definitivo de Suecia (SFR), que entró en funcionamiento en 1988. Situado en Forsmark, el SFR está construido en cavernas rocosas a una profundidad aproximada de 60 metros bajo el lecho marino, con acceso desde la tierra.

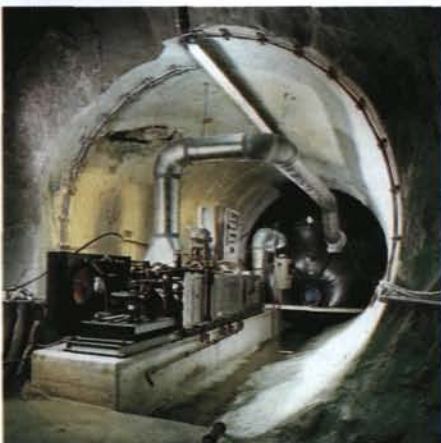
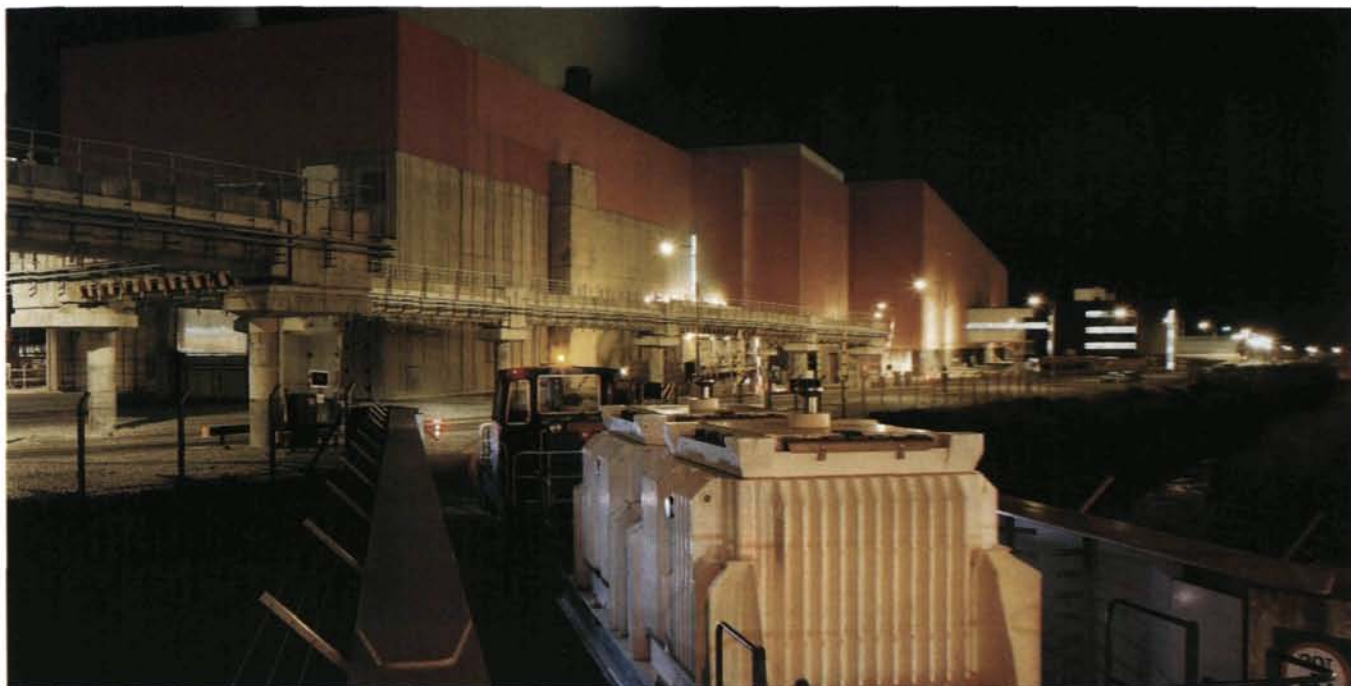
En los dos últimos años se ha autorizado la construcción o explotación de varias instalaciones nuevas de evacuación de desechos de actividad baja. Por ejemplo, a finales de 1991 se autorizó en Francia la explotación del Centre de L'Aube, que recibió su primer envío de desechos a comienzos del año en curso. En España y en los Estados Unidos, los emplazamientos respectivos para la evacuación de desechos de actividad baja de El Cabril y de Ward Valley, California, también están listos para entrar en funcionamiento una vez que reciban las autorizaciones reglamentarias. En Finlandia, el repositorio definitivo para desechos de reactores VLL, situado en la Isla de Olkiluoto, comenzó a funcionar este año.

Desechos de actividad alta y combustible gastado. Para finales del siglo, los reactores nucleares en explotación en todo el mundo habrán descargado alrededor de 200 000 toneladas de combustible gastado en forma de óxido. La elección entre la evacuación directa y la reelaboración del combustible gastado depende de varios factores, entre ellos cuestiones de índole económica, política y de política energética.

En la actualidad se prevé la evacuación directa de gran parte del combustible gastado. (Véase el cuadro de la pág. 12.) En particular, el Canadá, España, los Estados Unidos, Finlandia y Suecia están considerando la posibilidad de evacuar el combustible gastado. La Argentina, Bélgica, China, Francia, Italia, el Reino Unido, Rusia y Suiza se pronuncian en favor de la reelaboración. En Alemania

La señora Chan es funcionaria de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de Desechos del OIEA.





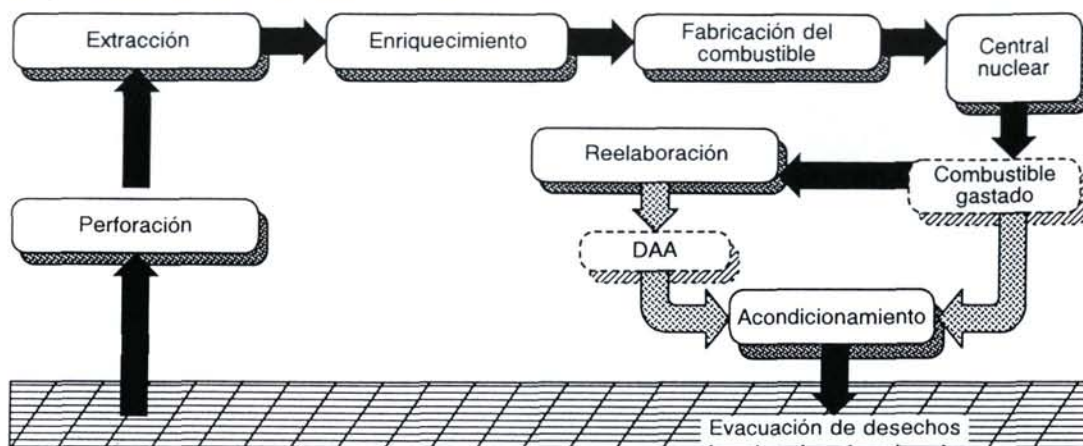
En la página anterior: Momento en que se hace descender un cofre de combustible gastado para colocarlo en posición, en el centro de investigaciones nucleares de Karlsruhe, Alemania.

En esta página: Arriba — Llegada de recipientes de combustible gastado al emplazamiento de Sellafield, Reino Unido, para su reelaboración. En el centro a la izquierda: Manipulación de desechos radiactivos de período corto en el centro de evacuación de desechos de La Manche, en Francia.

En el centro, al medio y a la derecha — Investigación sobre la evacuación de desechos radiactivos en un emplazamiento subterráneo de ensayo en Suiza.

A la derecha — Interior de las cámaras de almacenamiento del repositorio definitivo de Suecia, en Forsmark.
(Cortesía: KFZ, SKB, BNFL y Nagra.)

Esquema del ciclo del combustible nuclear



Origen y tipos de desechos radiactivos

Los desechos, ya procedan de las viviendas o de las industrias, son una parte natural de la vida cotidiana. Están a todo nuestro alrededor, incluso algunos que no vemos como los desechos gaseosos liberados en la atmósfera. Todas las criaturas vivientes generan desechos y lo mismo ocurre con casi todas las actividades humanas, como la generación de electricidad, independientemente de que la fuente energética sea carbón, petróleo o la reacción nuclear.

Procedencia de los desechos radiactivos

En general, el OIEA define los desechos radiactivos como "cualquier material que contenga o esté contaminado por radionucleidos cuyas concentraciones o niveles de radiactividad rebasen las 'cantidades exentas' fijadas por el órgano regulador y para el que no se prevé aplicación futura alguna". Esos desechos se derivan de cinco actividades fundamentales:

- **Extracción y tratamiento del uranio y el torio.** Unos 16 países realizan actividades de extracción y refinación de minerales de uranio y torio.
- **Actividades del ciclo del combustible nuclear como la conversión y el enriquecimiento del uranio, la fabricación de combustible y la reelaboración de combustible gastado.** Hasta 1991, 11 países habían explotado instalaciones de enriquecimiento con fines industriales, o de demostración, 19 habían fabricado combustibles de óxido de uranio (UO_2) y óxido de plutonio (PuO_2), y 15 reelaboraban ya combustible nuclear gastado o tenían previsto hacerlo.
- **Explotación de las centrales nucleares.** Al finalizar 1991 había 420 reactores nucleares de potencia en explotación en 29 países, con una capacidad total de 326 611 megavatios eléctricos.
- **Descontaminación y clausura de instalaciones nucleares.** En el año 2000, unas 64 centrales nucleares y 256 reactores nucleares de investigación alcanzarán sus 30 años de existencia.
- **Usos institucionales de los isótopos.** Estas actividades están muy difundidas e incluyen el empleo de radionucleidos y fuentes de radiación en la medicina, la investigación (incluidos los reactores de investigación y las instalaciones de ensayo), la industria y la agricultura.

Aunque sólo un grupo de Estados Miembros del OIEA participa en todas las actividades antedichas, cabe señalar que casi todos generan desechos radiactivos de algún tipo, aunque sólo sea a partir de usos institucionales de los isótopos.

Los desechos procedentes de las actividades mencionadas adoptan diversas formas (es decir, gaseosa, líquida o sólida) y tienen diferentes características. Por razones de seguridad y técnicas, las diversas formas de desechos suelen clasificarse por nivel de radiactividad, contenido térmico y riesgo potencial.

Todos los radionucleidos tienen un **período de semidesintegración**, término por el que se designa el intervalo de tiempo necesario para que la radiactividad de un radionucleido determinado se reduzca a la mitad. Ello significa que a la larga los desechos radiactivos se convierten en elementos no radiactivos (un aspecto positivo de los materiales radiactivos). Los radionucleidos que predominan en los desechos, y 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 millones de años. Para tener una idea, el uranio que existe en la tierra de forma natural tiene un período de semidesintegración de unos 4500 millones de años. En general, los desechos radiactivos pueden dividirse en dos grupos generales: **desechos de período corto** y **desechos de período largo**. Por regla general, se consideran de período largo los desechos cuyo período de semidesintegración excede de 30 años.

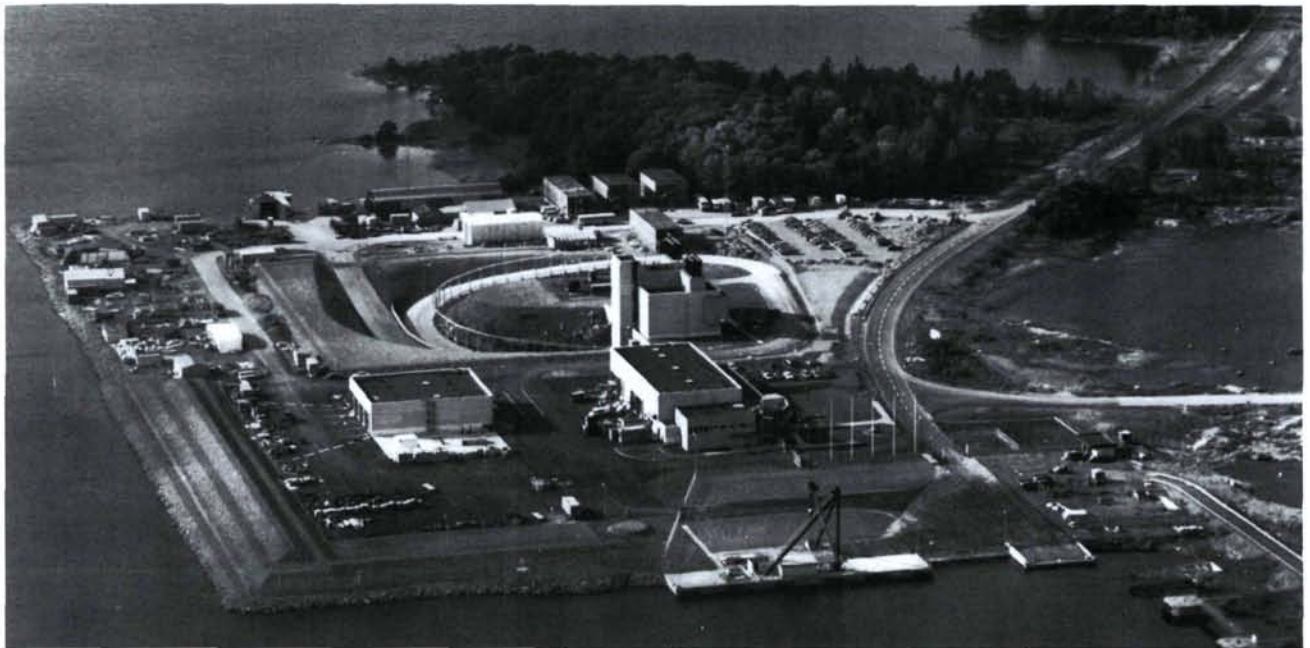
Categorías de desechos radiactivos

En las definiciones que figuran a continuación se incluyen las características técnicas de los desechos radiactivos atendiendo a los aspectos generales de su evacuación, conforme a los cuales ese tipo de desechos se divide en las categorías siguientes:

● **Desechos de actividad baja (DAB).** Estos materiales contienen una cantidad despreciable de radionucleidos de período largo. Proviene de las actividades nucleares pacíficas en las esferas de la industria, la medicina y la investigación, así como de la explotación de reactores nucleares de potencia, y pueden comprender artículos y materiales como guantes, paños, vidrio, herramientas pequeñas, papel y filtros, debidamente embalados, que han sido contaminados con sustancias radiactivas. Está muy generalizada su evacuación en estructuras ubicadas cerca de la superficie o mediante enterramiento somero.

● **Desechos de actividad intermedia (DAI).** Aunque estos materiales presentan menores niveles de radiactividad y de contenido térmico que los desechos de actividad alta, es preciso aislarlos y blindarlos para su manipulación y transporte. Estos desechos pueden incluir resinas resultantes de la explotación de reactores o lodos químicos solidificados, así como piezas de equipo o fragmentos metálicos. Se están utilizando procedimientos técnicos comerciales para el tratamiento y la inmovilización de estos desechos. En este caso las opciones de evacuación son similares a las de los desechos de actividad baja.

● **Desechos de actividad alta (DAA).** Estos desechos se derivan de la reelaboración de combustible gastado de reactores nucleares de potencia a fin de recuperar uranio y plutonio. Contienen elementos transuránicos, y productos de fisión, que son altamente radiactivos, termógenos y de



Vista aérea del repositorio definitivo de Suecia para la evacuación de desechos radiactivos en Forsmark.

período largo. Los DAA líquidos suelen inmovilizarse en una matriz de vidrio sólido y conservarse en instalaciones de almacenamiento provisional antes de su evacuación y aislamiento definitivos en formaciones geológicas profundas y estables, como se prevé actualmente en muchos programas nacionales. El combustible nuclear gastado que no se reelabora se considera también desecho de actividad alta.

Desechos portadores de emisores alfa (también denominados materiales transuránicos, materiales contaminados con plutonio o desechos alfa). Estas sustancias comprenden desechos contaminados con nucleidos emisores alfa de período largo, hasta un grado que hace inaceptable su evacuación cerca de la superficie. Se originan principalmente en la reelaboración de combustible gastado y en la fabricación de combustible de óxidos mixtos. Estos desechos pueden evacuarse en forma semejante a los DAA.

Aunque muchos países utilizan las descripciones generales antes expuestas, cabe señalar que también se emplean otras definiciones aceptadas.

¿Qué se entiende por "gestión" de desechos radiactivos?

El OIEA define la gestión de desechos radiactivos como el conjunto de actividades, administrativas u operacionales, relacionadas con la minimización, la manipulación, el tratamiento, el acondicionamiento, el transporte, el almacenamiento y la evacuación de los desechos radiactivos. Si bien esta definición puede variar de un país a otro, los científicos e ingenieros de la esfera coinciden en que el objetivo fundamental de la gestión de desechos radiactivos es proteger al hombre y su entorno de los peligros derivados de los desechos radiactivos, en el presente y en el futuro.

Como sucede con muchos otros procesos, existen diferentes enfoques de la gestión de desechos, pero el término que utiliza el OIEA se conoce como "enfoque de sistemas" y se refiere a una estrategia lógica e integrada para determinar las necesidades, la tecnología, los recursos y las repercusiones de un sistema de gestión de desechos. Este enfoque toma en cuenta cada uno de los aspectos de todo el sistema, desde el lugar de generación hasta la evacuación definitiva de los desechos.

Gestión y evacuación de DAB y DAI. Estos tipos de desechos suelen recibir tratamiento (reducción de volumen)

y/o acondicionamiento (inmovilización de desechos) antes de su evacuación. Dado que esta esfera de la gestión de DAB y DAI fue establecida hace 35 años y se ha venido probando desde entonces, se considera bastante madura en cuanto a desarrollo tecnológico. De ahí que existan varias opciones eficaces, seguras y factibles para el tratamiento y acondicionamiento de estos desechos, como son el almacenamiento y la desintegración, la compactación y supercompactación, la incineración, la precipitación química, la evaporación, la filtración y el intercambio iónico, a los que puede seguir la inmovilización en materiales como hormigón, betún o polímeros.

Los métodos más corrientes de evacuación de DAB y DAI entrañan la utilización de fosos poco profundos revestidos de barro u hormigón o estructuras en el suelo (denominadas comúnmente instalaciones técnicas en la superficie). Durante casi 30 años, varios países han venido practicando la evacuación segura de DAB cerca de la superficie. La lógica que sustenta la evacuación cerca de la superficie es que el tiempo de aislamiento necesario para este tipo de desechos es relativamente limitado (de hasta 300 años) y, en consecuencia, se puede garantizar el control institucional o administrativo del emplazamiento de evacuación.

Gestión y evacuación de DAA y combustible gastado. Una vez agotada su vida útil, el combustible nuclear gastado se extrae del reactor y luego, por lo general, se almacena provisionalmente en el emplazamiento antes de que:

- se almacene provisionalmente fuera del reactor (por un período de 5 a 100 años), se acondicione cuando haya transcurrido suficiente tiempo de desintegración y se almacene antes de ser evacuado definitivamente en un repositorio geológico; o
- se reelabore después de haber permanecido almacenado fuera del reactor por un tiempo adicional. Más tarde, los desechos líquidos de actividad alta resultantes de este proceso, que contienen fundamentalmente productos de fisión y una pequeña proporción de los actínidos, se inmovilizan en una matriz estable (es decir, vidrio de borosilicato) y por último se evacúan en un repositorio geológico.

Independientemente de la opción que se seleccione, en general los científicos coinciden en que el método preferido para aislar esos desechos es la evacuación en formaciones geológicas profundas mediante un sistema de barreras artificiales y naturales.

Planes para la gestión de desechos de actividad alta y de combustible gastado en países seleccionados:

	Tiempo de almacenamiento (años)	Forma final del desecho	Estado/medio geológico
Alemania	hasta 30	DAA	S Sal
Argentina	20 o más	DAA	S Granito
Bélgica	50	DAA	I Arcilla
Bulgaria	3	DAA CG*	
Canadá		CG	I Granito I Cristalino
Cuba	10	CG	
Chile	10	CG	PD
China	30-40	DAA	I Granito I Basalto I Toba
España	30	CG	I Arcilla I Granito I Cristalino
Estados Unidos	5-10	CG	I Toba
Finlandia	40	CG	I Granito I Cristalino
Francia	30 o más	DAA	I Arcilla I Granito I Esquisto I Sal
Indonesia	5 o más	CG	I Granito I Cristalino
Italia	PD	DAA CG	I Arcilla
Japón	30-50	DAA	I Cristalino I Roca sedimentaria
México	30	CG	I Arcilla I Granito I Esquisto I Cristalino I Sal I Roca sedimentaria I Toba
Noruega	5-15	CG	PD
Países Bajos	50 o más 50 o más	DAA CG	
Polonia	30 3-5	DAA CG*	
Reino Unido	50	DAA	PD
Rumania	2	CG	
Sudáfrica	40	CG	PD
Suecia	40	CG	I Cristalino
Suiza	40	DAA	I Arcilla I Granito I Roca sedimentaria
URSS (antigua)	30 30-40	DAA CG	S Granito I Cristalino I Sal I Toba I Arcilla

* Combustible gastado devuelto al proveedor.

Notas: DAA = combustible de actividad alta; CG = combustible gastado; S = seleccionado; I = en investigación; PD = por decidir.

Fuente: Base de Datos de Gestión de Desechos del OIEA

sólo está aprobada oficialmente la reelaboración, pero se estudia la idea de la evacuación directa.

Todos los países que reelaboran el combustible gastado prevén convertir los desechos de actividad alta en un vidrio sólido monolítico de borosilicato que, según se ha demostrado, posee excelentes propiedades de durabilidad química. Del conjunto de países que prefieren la evacuación directa del combustible gastado acondicionado, el Canadá y Suecia prevén incorporarlo a un material matriz de arena y cobre o de plomo, respectivamente. Por ahora Alemania y los Estados Unidos no tienen previsto utilizar ningún tipo de material matriz.

Alemania, Bélgica, Francia, el Japón, el Reino Unido y Suiza esperan utilizar el contenedor del tipo francés para su vidrio de borosilicato (acero inoxidable, y paredes de 5 mm de grosor). Los Estados Unidos se proponen usar un contenedor de acero inoxidable de pared más gruesa (1 cm). Además, para la pequeña cantidad de desechos vitrificados civiles de actividad alta que generan, dicho país proyecta utilizar recipientes de acero inoxidable similares a los previstos en la mayoría de los otros países. Entre los diferentes tipos de contenedores de paredes gruesas figuran el contenedor sueco de cobre de 10 cm de grosor, así como el cofre alemán de acero Pollux para la evacuación del combustible gastado. Alemania tiene la intención de utilizar a este efecto un envase de triple propósito que incluye un sobrenvase desechable para el transporte. En el caso de los desechos solidificados de actividad alta, Suiza y los Estados Unidos esperan emplear sobrenvases, y el Reino Unido estudiará esta posibilidad en el futuro.

En el caso de la reelaboración, el combustible gastado se suele colocar en almacenamiento provisional prolongado dentro de las piscinas de almacenamiento del reactor (por un período de hasta diez años) hasta su envío a la planta de reelaboración, donde también se conserva por algún tiempo en piscinas de almacenamiento. En los programas de evacuación directa se prevén, o utilizan ya, métodos de almacenamiento provisional en medio húmedo o en medio seco. El Canadá se propone almacenar provisionalmente su combustible gastado en los reactores (utilizando métodos de almacenamiento en medio húmedo y en medio seco) hasta la evacuación. Suecia está almacenando por algunos años su combustible gastado en los reactores y luego lo almacena provisionalmente en su instalación central de almacenamiento en medio húmedo fuera del reactor (CLAB). Suiza y Alemania prevén almacenar provisionalmente parte de su combustible gastado en uno o más emplazamientos centrales, incluidas instalaciones fuera del reactor, para complementar su almacenamiento en el reactor.

En la mayoría de los países, el combustible gastado y los desechos solidificados de actividad alta se almacenarán por un período de aproximadamente 20 a 100 años antes de su evacuación, ya que no se espera que haya repositorios geológicos en funcionamiento por lo menos hasta dentro de 20 años. Los países que reelaboran (o prevén reelaborar) su combustible gastado proyectan almacenar provisionalmente sus desechos solidificados de actividad alta por lo menos de 10 a 50 años, o incluso más. En el Reino Unido se está aplazando la creación de reposi-

torios y en su lugar se prefiere el almacenamiento a largo plazo, que podría prolongarse por un período de hasta 100 años. Se espera que todo el almacenamiento provisional de desechos de actividad alta se realizará aplicando conceptos de medio seco.

Transporte de desechos radiactivos

El sistema de transporte de materiales radiactivos es uno de los más satisfactorios y probados del mundo. El gran número de expediciones que tienen lugar anualmente en el mundo confiere a este sistema uno de los mejores historiales de seguridad de toda la industria. Una de las razones de este éxito es la existencia de reglamentaciones y códigos internacionales de transporte (por ejemplo, los reglamentos de transporte del OIEA), así como el alto nivel de cooperación que existe entre los países.

La mayoría de los países utilizan cofres de un sólo propósito para transportar el combustible gastado y los desechos de actividad alta. Algunos otros están creando o utilizando cofres de doble propósito para el transporte y el almacenamiento. En Alemania y el Canadá se están fabricando cofres de triple propósito (transporte, almacenamiento y evacuación).

Evaluación de la seguridad de los repositorios de desechos

Aunque la evacuación de desechos de actividad alta aún está por demostrarse, se han llevado a cabo numerosas actividades de investigación y desarrollo en esta esfera, incluida la creación de laboratorios subterráneos y otras instalaciones de ensayo, próximas a los emplazamientos y alejadas de ellos. Los resultados prácticos y los estudios realizados han demostrado que, desde el punto de vista técnico, la evacuación de desechos de actividad alta y combustible gastado en formaciones geológicas profundas aplicando el concepto de barreras múltiples es hasta ahora la opción más acertada, segura y viable. Por barreras múltiples se entiende un sistema redundante de barreras artificiales y naturales (medio geológico), que impiden la posible migración de radionucleidos del emplazamiento del repositorio.

En marzo de 1991, tras varios años de trabajo, un grupo asesor de expertos del OIEA y la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos presentó un documento trascendental apoyado por la Comisión de las Comunidades Europeas. Titulado Opinión Colectiva, el documento es una declaración sobre el estado de la evaluación científica de los repositorios de desechos radiactivos de actividad alta, en la que se reafirma el apoyo al método de repositorios geológicos. Una importante conclusión de los expertos es que el uso adecuado de los métodos de evaluación de la seguridad, junto con información suficiente de los emplazamientos de evacuación, puede servir de base técnica para determinar si los sistemas de evacuación de desechos radiactivos ofrecerán a la sociedad un nivel satisfactorio de seguridad para las generaciones presentes y futuras.

Almacenamiento y evacuación de desechos de actividad baja e intermedia en países seleccionados de África, el Oriente Medio y Europa:

	Tiempo (años) y método de almacenamiento		Estado/método de evacuación	
<u>Africa y Oriente Medio:</u>				
Egipto	50	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
Jordania	20	Instalación a poca profundidad (prevista)	P	Enterramiento somero
Siria	15	Instalación a poca profundidad	P	PD
Sudáfrica	Ninguno		A	Enterramiento somero
Zambia	NN	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
		Enterramiento en pozos	A	Enterramiento somero
<u>Europa:</u>				
Alemania	Ninguno	Instalación técnica	A P	Cavidades rocosas Repositorios geológicos profundos
Bélgica	20 a 25	NN	P	Se estudian opciones
Bulgaria	NN	Instalación a poca profundidad	A	Enterramiento somero
		Instalación técnica	A	Instalación técnica en la superficie
Checoslovaquia	Ninguno	Instalación a poca profundidad	P P A P	Instalación técnica en la superficie Enterramiento somero Cavidades rocosas Repositorios geológicos profundos
España	NN	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
Finlandia	hasta 25	Instalación técnica	P	Cavidades rocosas
Francia	1	Instalación técnica (en emplazamiento de generación)	A P	Instalación técnica en la superficie Enterramiento somero
Hungría	NN	Instalación a poca profundidad	A	Enterramiento somero
Italia	NN	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
Noruega	1 a 5	Instalación técnica Instalación a poca profundidad	A	Enterramiento somero
Países Bajos	50 o más	Instalación técnica	P	Repositorios geológicos profundos
Polonia	0 a 5	PD, no se prevé almacenamiento de algunos desechos	A P	Instalación técnica en la superficie Repositorios geológicos profundos
Reino Unido	Ninguno		A	Instalación técnica en la superficie
Suecia	1 a 10	Instalación técnica	P	Enterramiento somero
Suiza	Mínimo	Instalación técnica	P	Repositorios geológicos profundos
URSS (antigua)	20 o más	Instalación técnica	A P P	Instalación técnica en la superficie Enterramiento somero Repositorios geológicos profundos

Notas: A = práctica actual; P = práctica prevista; PD = por decidir; NN = No notificado a la Base de Datos de Gestión de Desechos del OIEA.

Fuente: Base de Datos de Gestión de Desechos del OIEA

Almacenamiento y evacuación de desechos de actividad baja e intermedia en países seleccionados de América del Norte, América Latina, Asia y el Pacífico

	Tempo (años) y metodo de almacenamiento		Estado/método de evacuación	
<u>América del Norte:</u>				
Estados Unidos	Mínimo	NN	P	Instalación técnica en la superficie
			A	Enterramiento somero
			P	Instalación técnica en la subsuperficie
Canadá	NN	Instalación técnica	P	Enterramiento somero
México	hasta 10	Instalación a poca profundidad	A	Enterramiento somero
		Instalación técnica	P	Enterramiento somero
<u>América Latina:</u>				
Brasil	10	Instalación	P	Enterramiento somero
Cuba	10 a 15	Instalación técnica	A	Instalación técnica en la superficie
			P	Enterramiento somero
Chile	30	Instalación técnica (almacenados para su desintegración)	A	Instalación técnica en la superficie
			A	Almacenamiento para su desintegración
<u>Asia y el Pacífico:</u>				
Australia	PD	Instalación provisional	P	Enterramiento somero
Corea, República de	1	Instalación técnica	P	Cavidades rocosas
China	5	Instalación técnica	P	Enterramiento somero
			P	Cavidades rocosas
Indonesia	1 a 5	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
		Instalación a poca profundidad	P	Enterramiento somero
			A	Dilución/dispersión
Japón	310	Instalación a poca profundidad	P	Enterramiento somero
			P	Vertimiento en el mar
Malasia	30	Instalación técnica	P	Instalación técnica en la superficie
Paquistán	hasta 1 semana	Almacenamiento en medio líquido	A	Desintegración/descarga
			A	Enterramiento somero

Notas: A = Práctica actual; P = Práctica prevista; PD = Por determinar; NN = No notificado a la Base de Datos de Gestión de Desechos del OIEA.

Fuente: Base de Datos de Gestión de Desechos del OIEA

La tecnología de evacuación en formaciones geológicas profundas es objeto de investigación en varios programas nacionales e internacionales de investigación y desarrollo. En los últimos 20 años, muchas actividades conjuntas de investigación internacionales y multinacionales se han visto coronadas por el éxito. Aunque en su mayoría esas actividades son de carácter general y no se orientan a emplazamientos concretos, han proporcionado datos y respuestas inestimables, validado modelos, verificado datos experimentales y demostrado diversas técnicas y métodos de investigación, todo lo cual ha servido de apoyo al concepto de la evacuación de desechos de actividad alta en formaciones geológicas.

No obstante, a medida que varios Estados se aproximan a la etapa en que deberán seleccionar los emplazamientos de los repositorios para la evacuación en formaciones geológicas profundas, sus acti-

vidades de evaluación de la seguridad tienden a pasar de estudios generales a evaluaciones de emplazamientos concretos basadas en datos provenientes de la investigación *in situ*. Ya se ha adquirido experiencia en evaluaciones de seguridad de emplazamientos concretos mediante las realizadas en los repositorios de DAB y DAI construidos en formaciones rocosas en Suecia, Alemania y Finlandia, así como en el repositorio destinado a desechos portadores de emisores alfa que se encuentra en la Planta Piloto para el Aislamiento de Desechos, de los Estados Unidos.

Los criterios u objetivos de seguridad que se han adoptado en numerosos países respecto de los repositorios de desechos radiactivos se basan fundamentalmente en la limitación de la dosis de radiación, o del riesgo de exposición de las personas que estarían más expuestas a las radiaciones, o de ambas cosas. En varios países se están adoptando medidas para mejorar estos criterios a fin de ajustarlos más a las necesidades de los evaluadores y conferirles mayor crédito como objetivos de seguridad.

La cuestión fundamental es que, en períodos muy distantes en el futuro, que resultan de interés en relación con la evaluación de seguridad de los repositorios, el concepto de pronóstico de dosis para grupos hipotéticos de seres humanos va perdiendo cada vez más su significado a medida que aumentan las dudas con relación a ellos y al medio ambiente. En algunos países se ha propuesto un corte evaluativo a los 10 000 años. Se está examinando ese período, porque después de 10 000 años los riesgos asociados a los desechos radiactivos se hacen comparables con los asociados a los desechos provenientes de las fuentes convencionales de energía que se utilizan hoy. No obstante, como los resultados de algunas evaluaciones de seguridad demuestran que los efectos radiológicos alcanzan su nivel más alto transcurrido ese tiempo, en algunas reglamentaciones nacionales se exigen evaluaciones de seguridad por lo menos hasta que se manifieste ese nivel máximo.

Repositorios naturales de desechos

Un período de 10 000 años puede parecer una eternidad en lo que respecta a la civilización humana, pero para la Tierra es sólo una fracción de la evolución que ha experimentado hasta el presente. La evacuación (o el aislamiento) de materiales radiactivos en formaciones geológicas no es un concepto ideado por el hombre. La naturaleza ha demostrado ya, mediante varios ejemplos propios (denominados análogos naturales), que el aislamiento en formaciones geológicas es posible.

Por ejemplo, el caso más significativo ocurrió hace casi 2000 millones de años en lo que hoy día es Gabón, en África occidental, donde se produjo una reacción nuclear espontánea en una rica veta de mineral de uranio, un reactor nuclear natural. Este reactor natural se mantuvo activo durante 500 000 años (hasta que finalmente se apagó) y produjo todos los radionucleidos importantes que se manifiestan en los desechos de actividad alta. Lo increíble de este suceso es que los radionucleidos se mantuvieron alrededor del emplazamiento y fueron perdiendo radiactividad hasta convertirse



finalmente en elementos no radiactivos. El estudio de estos análogos naturales ocupan un lugar importante en la evaluación de los repositorios geológicos y es objeto de varios proyectos internacionales de investigación, incluidos los de Alligator River y Cigar Lake.

Hechos e impresiones

En los años venideros, la gestión y evacuación de desechos radiactivos deberá recibir, y recibirá, gran atención de los gobiernos y del público. En este caso, al igual que en cualquier otro, es conveniente y necesario obrar con cierto celo para mantener bajo control los programas y no perderlos de vista. Sin embargo, llevada a extremos, esa atención también puede ser destructiva, pues puede obstaculizar e incluso detener el progreso científico.

Al acercarnos al siglo XXI, la humanidad no puede darse el lujo de descartar el uso del átomo con fines pacíficos. Hay que reconocer que los desechos radiactivos son un subproducto natural de ese uso y que pueden tratarse de forma segura, eficaz y económica.

En medio de los debates, a veces acalorados, y de la ansiedad que generan la gestión y evacuación de los desechos radiactivos, deben reconocerse y tenerse en cuenta las siguientes realidades:

- Los desechos radiactivos son tangibles y se pueden contener.

- La radiactividad puede medirse con exactitud.
- La toxicidad de los materiales radiactivos disminuye con el tiempo.
- Los volúmenes totales de desechos radiactivos son relativamente pequeños en comparación con otros tipos de desechos procedentes de las industrias.
- Los desechos de actividad alta son una parte ínfima del volumen total de desechos radiactivos.
- Todos los desechos radiactivos se pueden almacenar provisionalmente de forma segura y probada.
- Existen instalaciones para la evacuación definitiva de los desechos de período corto y otros desechos de actividad baja.
- Se conocen métodos seguros para la evacuación de desechos de actividad alta.
- Existen amplias redes internacionales para el intercambio de información.
- Hay consenso internacional sobre la evaluación de la seguridad de los repositorios.
- Sólo una mínima parte del costo de la energía nucleoelectrica corresponde a la gestión de desechos y la clausura de las instalaciones nucleares.

Al apoyar a los países en sus actividades, el OIEA seguirá prestando una gama de servicios que contribuyan a fortalecer aún más las bases para la gestión segura y fiable de los desechos radiactivos a escala mundial.

Hace cientos de miles de años, en un lugar de Gabón se produjo una reacción nuclear espontánea que generó desechos radiactivos.