

# COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Gestión previa a la  
disposición final de  
desechos radiactivos  
de actividad alta

## GUÍA DE SEGURIDAD

Nº WS-G-2.6



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

## PUBLICACIONES DEL OIEA RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD

### NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Con arreglo a lo dispuesto en el artículo III de su Estatuto, el OIEA está autorizado a establecer o adoptar normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y a proveer a la aplicación de esas normas.

Las publicaciones mediante las cuales el OIEA establece las normas aparecen en la **Colección de Normas de Seguridad del OIEA**. Esta serie de publicaciones abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos, así como la seguridad general (es decir, todas esas esferas de la seguridad). Las categorías comprendidas en esta serie son las siguientes: **Nociones fundamentales de seguridad, Requisitos de seguridad y Guías de seguridad**.

Las normas de seguridad llevan un código que corresponde a su ámbito de aplicación: seguridad nuclear (NS), seguridad radiológica (RS), seguridad del transporte (TS), seguridad de los desechos (WS) y seguridad general (GS).

Para obtener información sobre el programa de normas de seguridad del OIEA puede consultarse el sitio del OIEA en Internet:

<http://www-ns.iaea.org/standards/>

En este sitio se encuentran los textos en inglés de las normas de seguridad publicadas y de los proyectos de normas. También figuran los textos de las normas de seguridad publicados en árabe, chino, español, francés y ruso, el glosario de seguridad del OIEA y un informe de situación relativo a las normas de seguridad que están en proceso de elaboración. Para más información se ruega ponerse en contacto con el OIEA, PO Box 100, 1400 Viena (Austria).

Se invita a los usuarios de las normas de seguridad del OIEA a informar al Organismo sobre su experiencia en la aplicación de las normas (por ejemplo, como base de los reglamentos nacionales, para exámenes de la seguridad y para cursos de capacitación), con el fin de garantizar que sigan satisfaciendo las necesidades de los usuarios. La información puede proporcionarse a través del sitio del OIEA en Internet o por correo postal, a la dirección anteriormente señalada, o por correo electrónico, a la dirección [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

### OTRAS PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD

Con arreglo a lo dispuesto en el artículo III y el párrafo C del artículo VIII de su Estatuto, el OIEA facilita y fomenta la aplicación de las normas y el intercambio de información relacionada con las actividades nucleares pacíficas, y sirve de intermediario para ello entre sus Estados Miembros.

Los informes sobre seguridad y protección en las actividades nucleares se publican como **informes de seguridad**, que ofrecen ejemplos prácticos y métodos detallados que se pueden utilizar en apoyo de las normas de seguridad.

Otras publicaciones del OIEA relacionadas con la seguridad se publican como **informes sobre evaluación radiológica, informes del INSAG** (Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear), **Informes Técnicos**, y documentos **TECDOC**. El OIEA publica asimismo informes sobre accidentes radiológicos, manuales de capacitación y manuales prácticos, así como otras obras especiales relacionadas con la seguridad. Las publicaciones relacionadas con la seguridad física aparecen en la **Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA**.

# **GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE DESECHOS RADIACTIVOS DE ACTIVIDAD ALTA**

Los siguientes Estados son Miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica:

AFGANISTÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	FEDERACIÓN DE RUSIA	NICARAGUA
ALBANIA	FILIPINAS	NÍGER
ALEMANIA	FINLANDIA	NIGERIA
ANGOLA	FRANCIA	NORUEGA
ARABIA SAUDITA	GABÓN	NUEVA ZELANDIA
ARGELIA	GEORGIA	OMÁN
ARGENTINA	GHANA	PAÍSES BAJOS
ARMENIA	GRECIA	PAKISTÁN
AUSTRALIA	GUATEMALA	PALAU
AUSTRIA	HAITÍ	PANAMÁ
AZERBAIYÁN	HONDURAS	PARAGUAY
BAHREIN	HUNGRÍA	PERÚ
BANGLADESH	INDIA	POLONIA
BELARÚS	INDONESIA	PORTUGAL
BÉLGICA	IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	QATAR
BELICE	IRAQ	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
BENIN	IRLANDA	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BOLIVIA	ISLANDIA	REPÚBLICA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISLAS MARSHALL	CENTROAFRICANA
BOTSWANA	ISRAEL	REPÚBLICA CHECA
BRASIL	ITALIA	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BULGARIA	JAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO
BURKINA FASO	JAMAICA	REPÚBLICA DOMINICANA
BURUNDI	JAPÓN	REPÚBLICA UNIDA DE TANZANÍA
CAMERÚN	JORDANIA	RUMANIA
CANADÁ	KAZAJSTÁN	SANTA SEDE
CHAD	KENYA	SENEGAL
CHILE	KIRGUISTÁN	SERBIA
CHINA	KUWAIT	SEYCHELLES
CHIPRE	LESOTHO	SIERRA LEONA
COLOMBIA	LETONIA	SINGAPUR
CONGO	LÍBANO	SRI LANKA
COREA, REPÚBLICA DE	LIBERIA	SUDÁFRICA
COSTA RICA	LIECHTENSTEIN	SUDÁN
CÔTE D'IVOIRE	LITUANIA	SUECIA
CROACIA	LUXEMBURGO	SUIZA
CUBA	MADAGASCAR	TAILANDIA
DINAMARCA	MALASIA	TAYIKISTÁN
ECUADOR	MALAWI	TÚNEZ
EGIPTO	MALÍ	TURQUÍA
EL SALVADOR	MALTA	UCRANIA
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MARRUECOS	UGANDA
ERITREA	MAURICIO	URUGUAY
ESLOVAQUIA	MAURITANIA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE	UZBEKISTÁN
ESLOVENIA	MÉXICO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESPAÑA	MÓNACO	VIET NAM
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	MONGOLIA	YEMEN
ESTONIA	MONTENEGRO	ZAMBIA
ETIOPÍA	MOZAMBIQUE	ZIMBABWE
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA DE MACEDONIA	MYANMAR	
	NAMIBIA	
	NEPAL	

El Estatuto del Organismo fue aprobado el 23 de octubre de 1956 en la Conferencia sobre el Estatuto del OIEA celebrada en la Sede de las Naciones Unidas (Nueva York); entró en vigor el 29 de julio de 1957. El Organismo tiene la Sede en Viena. Su principal objetivo es “acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero”.

COLECCIÓN DE  
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° WS-G-2.6

GESTIÓN PREVIA A LA  
DISPOSICIÓN FINAL DE  
DESECHOS RADIACTIVOS DE  
ACTIVIDAD ALTA

GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2009

## **DERECHOS DE AUTOR**

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas en virtud de la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Berna) y revisada en 1972 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor que ahora incluyen la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Para la utilización de textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, impresas o en formato electrónico, deberá obtenerse la correspondiente autorización, y por lo general dicha utilización estará sujeta a un acuerdo de pago de regalías. Se aceptan propuestas relativas a reproducción y traducción sin fines comerciales, que se examinarán individualmente. Las solicitudes de información deben dirigirse a la Sección Editorial del OIEA:

Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones  
Sección Editorial  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Viena (Austria)  
fax: +43 1 2600 29302  
tel.: +43 1 2600 22417  
correo-e: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2009

Impreso por el OIEA en Austria  
Octubre de 2009

GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE  
DESECHOS RADIACTIVOS DE ACTIVIDAD ALTA  
OIEA, VIENA, 2009  
STI/PUB/1151  
ISBN 978-92-0-310809-6  
ISSN 1020-5837

## **PRÓLOGO**

**Mohamed ElBaradei**  
**Director General**

Una de las funciones estatutarias del OIEA es establecer o adoptar normas de seguridad para proteger, en el desarrollo y la aplicación de la energía nuclear con fines pacíficos, la salud, la vida y los bienes, y proveer lo necesario para la aplicación de esas normas a sus propias operaciones, así como a las realizadas con su asistencia y, a petición de las Partes, a las operaciones que se efectúen en virtud de cualquier arreglo bilateral o multilateral, o bien, a petición de un Estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía nuclear.

Los siguientes órganos supervisan la elaboración de las normas de seguridad: la Comisión sobre normas de seguridad (CSS); el Comité sobre normas de seguridad nuclear (NUSSC); el Comité sobre normas de seguridad radiológica (RASSC); el Comité sobre normas de seguridad en el transporte (TRANSSC); y el Comité sobre normas de seguridad de los desechos (WASSC). Los Estados Miembros están ampliamente representados en estos comités.

Con el fin de asegurar el más amplio consenso internacional posible, las normas de seguridad se presentan además a todos los Estados Miembros para que formulen observaciones al respecto antes de aprobarlas la Junta de Gobernadores del OIEA (en el caso de las Nociones fundamentales de seguridad y los Requisitos de seguridad) o el Comité de Publicaciones, en nombre del Director General, (en el caso de las Guías de seguridad).

Aunque las normas de seguridad del OIEA no son jurídicamente vinculantes para los Estados Miembros, éstos pueden adoptarlas, a su discreción, para utilizarlas en sus reglamentos nacionales respecto de sus propias actividades. Las normas son de obligado cumplimiento para el OIEA en relación con sus propias operaciones, así como para los Estados en relación con las operaciones para las que éste preste asistencia. A todo Estado que desee concertar con el OIEA un acuerdo para recibir su asistencia en lo concerniente al emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación o clausura de una instalación nuclear, o a cualquier otra actividad, se le pedirá que cumpla las partes de las normas de seguridad correspondientes a las actividades objeto del acuerdo. Ahora bien, conviene recordar que, en cualquier trámite de concesión de licencia, la decisión definitiva y la responsabilidad jurídica incumbe a los Estados.

Si bien las mencionadas normas establecen las bases esenciales para la seguridad, puede ser también necesario incorporar requisitos más detallados, acordes con la práctica nacional. Además, existirán por lo general aspectos especiales que será necesario aquilatar en función de las circunstancias particulares de cada caso.

Se menciona cuando procede, pero sin tratarla en detalle, la protección física de los materiales fisibles y radiactivos y de las centrales nucleares en general; las obligaciones de los Estados a este respecto deben enfocarse partiendo de la base de los instrumentos y publicaciones aplicables elaborados bajo los auspicios del OIEA. Tampoco se consideran explícitamente los aspectos no radiológicos de la seguridad industrial y la protección del medio ambiente; se reconoce que, en relación con ellos, los Estados deben cumplir sus compromisos y obligaciones internacionales.

Es posible que algunas instalaciones construidas conforme a directrices anteriores no satisfagan plenamente los requisitos y recomendaciones prescritos por las normas de seguridad del OIEA. Corresponderá a cada Estado decidir la forma de aplicar tales normas a esas instalaciones.

Se señala a la atención de los Estados el hecho de que las normas de seguridad del OIEA, si bien no jurídicamente vinculantes, se establecen con miras a conseguir que las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y los materiales radiactivos se realicen de manera que los Estados puedan cumplir sus obligaciones derivadas de los principios generalmente aceptados del derecho internacional y de reglas como las relativas a la protección del medio ambiente. Con arreglo a uno de esos principios generales, el territorio de un Estado ha de utilizarse de forma que no se causen daños en otro Estado. Los Estados tienen así una obligación de diligencia y un criterio de precaución.

Las actividades nucleares civiles desarrolladas bajo la jurisdicción de los Estados están sujetas, como cualesquier otras actividades, a las obligaciones que los Estados suscriben en virtud de convenciones internacionales, además de a los principios del derecho internacional generalmente aceptados. Se cuenta con que los Estados adopten en sus ordenamientos jurídicos nacionales la legislación (incluidas las reglamentaciones) así como otras normas y medidas que sean necesarias para cumplir efectivamente todas sus obligaciones internacionales.

## NOTA EDITORIAL

*Todo apéndice de las normas se considera parte integrante de ellas y tiene la misma autoridad que el texto principal. Los anexos, notas de pie de página y bibliografía sirven para proporcionar información suplementaria o ejemplos prácticos que pudieran ser de utilidad al lector.*

*En las normas de seguridad se usa la expresión “deberá(n)” (en inglés “shall”) al formular indicaciones sobre requisitos, deberes y obligaciones. El uso de la expresión “debería(n)” (en inglés “should”) significa la recomendación de una opción conveniente. El texto en inglés es la versión autorizada.*



# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Antecedentes (1.1–1.10) .....	1
	Objetivo (1.11) .....	3
	Campo de aplicación (1.12–1.20) .....	4
	Estructura (1.21).....	5
2.	PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y DEL MEDIO AMBIENTE (2.1–2.12).....	6
3.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES .....	9
	Consideraciones generales (3.1–3.3) .....	9
	Responsabilidades del órgano regulador (3.4–3.10) .....	10
	Responsabilidades de los explotadores (3.11–3.14) .....	11
4.	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE SEGURIDAD TECNOLÓGICA .....	13
	Interdependencia (4.1–4.3) .....	13
	Control de la generación de desechos (4.4–4.7) .....	14
	Clasificación de los desechos (4.8–4.13) .....	15
	Criterios de aceptación (4.14–4.15) .....	16
	Cualificación del personal (4.16–4.17) .....	17
	Facilitación de la clausura (4.18–4.21) .....	18
	Preparación de la documentación sobre seguridad (4.22) .....	19
	Control del acceso (4.23–4.25) .....	20
	Preparación para casos de emergencia (4.26) .....	20
5.	ELEMENTOS DE SEGURIDAD TECNOLÓGICA CON MIRAS A LA GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS HLW .....	21
	Consideraciones generales (5.1–5.3) .....	21
	Elementos de la gestión previa a la disposición final de los HLW (5.4–5.27) .....	22
	Diseño de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW (5.28–5.38) .....	28

Explotación de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW (5.39–5.43) .....	31
Transporte (5.44–5.45) .....	32
6. LLEVANZA DE REGISTROS Y PRESENTACIÓN DE INFORMES .....	32
Llevanza de registros (6.1–6.3) .....	32
Presentación de informes (6.4–6.5) .....	33
7. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (7.1–7.9) .....	34
8. GARANTÍA DE CALIDAD (8.1–8.14) .....	37
APÉNDICE: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS HLW .....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
ANEXO I: MEDIDAS PRÁCTICAS ESCALONADAS EN LA GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE HLW .....	51
ANEXO II: CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO, PROCESOS Y SUCESOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS NATURALES EXTERNOS) .....	56
ANEXO III: CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO, PROCESOS Y SUCESOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS EXTERNOS PROVOCADOS POR LOS SERES HUMANOS) .....	58
ANEXO IV: SUCESOS INICIADORES POSTULADOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS INTERNOS) .....	60
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN .....	63
ÓRGANOS ENCARGADOS DE APROBAR LAS NORMAS DE SEGURIDAD .....	65

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. La producción de electricidad en los reactores nucleoelectrónicos y el empleo de materiales radiactivos en la industria, la investigación y la medicina generan desechos radiactivos. Desde hace mucho tiempo se reconoce la importancia que tiene la gestión segura de los desechos radiactivos para la protección de la salud humana y del medio ambiente. Los principios y requisitos que rigen la seguridad tecnológica de la gestión de los desechos radiactivos se exponen en las publicaciones tituladas Principios para la gestión de desechos radiactivos [1], Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte [2] y Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, incluida la clausura [3].

1.2. La Referencia [3] establece los requisitos de la gestión segura de los desechos radiactivos antes de su disposición final, los cuales derivan de los principios de la gestión de los desechos radiactivos establecidos en la publicación Principios para la gestión de desechos radiactivos [1], de la colección Seguridad, y comprenden requisitos para la protección de la salud humana y del medio ambiente y las correspondientes responsabilidades. En esta Guía de seguridad y en varias Guías de seguridad que tratan de temas afines se formulan recomendaciones sobre cómo cumplir esos requisitos.

1.3. En esta Guía de seguridad se formulan recomendaciones sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad en la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos de actividad alta, que comprenden los desechos de actividad alta (HLW) en forma líquida y forma solidificada procedentes del reprocesamiento de combustible gastado y además el propio combustible gastado, si ha sido declarado desecho. La gestión previa a la disposición final de los desechos radiactivos abarca todas las fases de la gestión de los desechos antes de su disposición final y también comprende la clausura. En esta Guía de seguridad se dan recomendaciones a los órganos reguladores y otras autoridades nacionales y organizaciones explotadoras (explotadores) sobre el procesamiento seguro de los desechos y orientación acerca de las propiedades necesarias para que los bultos de desechos cumplan los requisitos establecidos en materia de manipulación, transporte, almacenamiento y disposición final. El cumplimiento de esos requisitos asegurará la correcta planificación y la gestión segura de los HLW en el marco reglamentario nuclear establecido.

1.4. Los HLW se originan primordialmente a partir de combustible gastado. Hay dos enfoques fundamentales para gestionar el combustible gastado:

- a) El reprocesamiento para extraer materiales fisibles potencialmente valiosos para el reciclado y la gestión de los desechos resultantes del reprocesamiento (denominado generalmente el ‘ciclo del combustible cerrado’);
- b) La disposición final directa del combustible gastado, si se declara desecho (denominado generalmente el ‘ciclo completo del combustible de una sola vez’).

1.5. Los HLW pueden consistir en: 1) combustible gastado (si se declara desecho); 2) el líquido radiactivo (en lo sucesivo, ‘HLW líquidos’) procedente del reprocesamiento de combustible gastado, que contiene la mayoría de los productos de fisión y actínidos existentes originalmente en el combustible gastado, y el cuerpo de desechos (en lo sucesivo, ‘HLW solidificados’) resultante de la solidificación de estos materiales; y 3) otros desechos con una actividad comparable a los de 1) y 2) *supra*. Los HLW generan calor y además son de vida larga.

1.6. Los programas de gestión de los HLW pueden abarcar otras corrientes de desechos que se dirigen a un programa de HLW. Son ejemplos de ello los componentes del núcleo del reactor, las partes estructurales de los conjuntos combustibles u otras corrientes de desechos a que da lugar el reprocesamiento y que se pueden concentrar y añadir a HLW líquidos por motivos técnicos o económicos.

1.7. El combustible gastado se puede conservar en una instalación de almacenamiento durante un período prolongado hasta que se decida si se reprocesa o no. Además de la protección de la salud humana y del medio ambiente, varias consideraciones influirán en la elección del enfoque, por ejemplo: la cantidad acumulada de combustible gastado y la capacidad de almacenamiento de que se disponga; consideraciones en materia de seguridad tecnológica (como la integridad del plaqueado del combustible) del almacenamiento de larga duración del combustible; los recursos financieros existentes; el estado de los sistemas de gestión de desechos que existan; las consultas públicas y las incertidumbres acerca de las condiciones sociales y políticas futuras. Si no se adopta ninguna decisión sobre la disposición final o el reprocesamiento del combustible gastado, se debería asegurar que la capacidad de almacenamiento sea suficiente.

## **Procesamiento y almacenamiento**

1.8. La gestión previa a la disposición final de los HLW puede comprender una o varias fases de procesamiento (por ejemplo, el tratamiento previo, el tratamiento y el acondicionamiento). La manipulación, el almacenamiento y el transporte de los desechos serán necesarios dentro de, entre y después de esas fases. Los enfoques que se adopten para gestionar los HLW determinarán las fases del procesamiento que serán necesarias (véase el Anexo I).

1.9. El objetivo de la gestión previa a la disposición final es producir bultos de HLW acondicionados que sean adecuados para su manipulación, transporte, almacenamiento y disposición final seguros. Si no existe una instalación de disposición final de HLW, se debería formular supuestos acerca de los requisitos para la aceptación de los desechos en el futuro en un repositorio, a fin de dar orientaciones para su gestión previa a la disposición final. De no existir una instalación de disposición final, habría que asegurar que todas las partes pertinentes intervengan en los debates que conduzcan a la formulación de las orientaciones necesarias.

## **Clausura**

1.10. La clausura de una instalación de gestión de HLW entraña diversas medidas administrativas y técnicas que deben tomarse al final de su vida útil para poder suprimir algunos o todos los controles reglamentarios de la instalación. Se debería efectuar una labor de planificación en una fase temprana para poder incorporar elementos del diseño que faciliten la clausura y la especificación de las medidas operacionales apropiadas que, en conjunto, deberían contribuir sustancialmente a la clausura de la instalación en condiciones de seguridad. Los requisitos y recomendaciones pertinentes para la clausura de instalaciones nucleares de diferentes tipos se exponen en las Refs. [3–6], normas de seguridad que habría que consultar para conocer su aplicabilidad a las actividades de clausura de instalaciones de HLW.

## **OBJETIVO**

1.11. El objetivo de la presente Guía de seguridad es proporcionar a los órganos reguladores y a los explotadores que generan y gestionan desechos radiactivos recomendaciones acerca de cómo cumplir los principios y requisitos establecidos en las Refs. [1–3] para la gestión previa a la disposición final de los HLW.

## CAMPO DE APLICACIÓN

1.12. Esta Guía de seguridad se aplica a la gestión previa a la disposición final de los HLW, conforme a la definición que de ellos se da en el párr. 1.5.

1.13. En cuanto a los HLW líquidos procedentes del reprocesamiento de combustible gastado, las recomendaciones de la presente Guía de seguridad son válidas cuando se recogen los desechos líquidos del primer proceso de extracción para su almacenamiento y posterior procesamiento.

1.14. En las Refs. [7–9] figuran recomendaciones y orientación sobre el almacenamiento de combustible gastado, haya sido o no declarado desecho, con posterioridad a su retirada de la instalación de almacenamiento de un reactor.

1.15. En cuanto al combustible gastado declarado desecho, esta Guía de seguridad se aplica a todas las actividades posteriores a su retirada de la instalación de almacenamiento de un reactor y antes de su disposición final.

1.16. Los requisitos atinentes al transporte de combustible gastado, haya sido declarado o no desecho, y de todas las formas de HLW (véase el párr. 1.5) se establecen en la Ref. [10], y en la Ref. [11] se formulan recomendaciones conexas.

1.17. Respecto de cualquier otro tipo de desechos o corriente de desechos, esta Guía de seguridad se aplica cuando los desechos son dirigidos a la corriente de HLW en el marco del respectivo plan de gestión previa a la disposición final. Si no se dirigen a la corriente de HLW, las corrientes de desechos de actividad baja e intermedia, inclusive los generados en la gestión previa a la disposición final de HLW, deberían gestionarse de conformidad con las recomendaciones dadas en la Ref. [12].

1.18. En esta Guía de seguridad se dan recomendaciones sobre los aspectos de seguridad tecnológica de la gestión de los HLW, comprendidos la planificación, el diseño, la construcción, la puesta en servicio, la explotación y la clausura de equipo o de instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW. En ella se abordan los siguientes elementos:

- a) La clasificación y el procesamiento (esto es, el tratamiento previo, el tratamiento y el acondicionamiento) de HLW;
- b) El almacenamiento de HLW líquidos y solidificados;
- c) El almacenamiento de combustible gastado acondicionado.

1.19. En la Ref. [4] figuran recomendaciones sobre la clausura de instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW. Las recomendaciones sobre evaluación de la seguridad tecnológica de las instalaciones de HLW figurarán en una Guía de seguridad sobre evaluación de la seguridad tecnológica de instalaciones del ciclo del combustible nuclear, excluidos los reactores y los repositorios de desechos, y se formularán recomendaciones específicas sobre almacenamiento en una Guía de seguridad que tendrá por tema el almacenamiento seguro de desechos radiactivos. En esta Guía de seguridad se formulan recomendaciones adicionales sobre esas cuestiones sólo si son específicas de la gestión previa a la disposición final de HLW.

1.20. Salvo que se haga referencia concreta a una o más categorías, las recomendaciones de esta Guía de seguridad se aplican por lo general a todas las categorías de HLW. La posibilidad de criticidad es más importante en el caso del combustible gastado que respecto de otras categorías de HLW, y se debería tener, pues, debidamente presente en todas las actividades en las que entre en juego combustible gastado. En cambio, siempre se habrá de tomar en consideración la posibilidad de criticidad de HLW líquidos (véase el párr. 5.3).

## ESTRUCTURA

1.21. La sección 2 trata de la protección de la salud humana y del medio ambiente y la sección 3 de las funciones y responsabilidades del órgano regulador y del explotador. La sección 4 recoge unas consideraciones de carácter general sobre la seguridad tecnológica en la gestión previa a la disposición final de los HLW y la sección 5 ofrece recomendaciones sobre la gestión previa a la disposición final de HLW líquidos y combustible gastado, el diseño y la explotación de instalaciones y los requisitos en materia de aceptación. En la sección 6 se formulan recomendaciones sobre llevanza de registros y presentación de informes y la sección 7 trata de las evaluaciones de la seguridad tecnológica y del medio ambiente. La sección 8 se refiere a la garantía de calidad. En el Apéndice se exponen a grandes rasgos las propiedades y características fundamentales de los HLW. El Anexo I presenta un resumen de medidas prácticas de la gestión previa a la disposición final de HLW. Los Anexos II y III enumeran las condiciones del emplazamiento, los procesos y los sucesos que deben tenerse en cuenta en una evaluación de la seguridad tecnológica en lo que respecta a los fenómenos naturales externos y los fenómenos externos provocados por los seres humanos. El Anexo IV enumera los sucesos iniciadores postulados (fenómenos internos) que conviene tener presentes en una evaluación de la seguridad tecnológica.

## **2. PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

2.1. Los requisitos establecidos en la sección 2 de la Ref. [3] para la protección de la salud humana y del medio ambiente se aplican a la gestión previa a la disposición final de los HLW. Las actividades de la gestión previa a la disposición final de los HLW contribuyen a asegurar que se traten los HLW de manera tal que se proteja la salud humana y del medio ambiente, ahora y en el futuro, sin imponer cargas indebidas a las generaciones futuras [1]. La gestión previa a la disposición final de los HLW debería ser parte esencial de un sistema nacional de gestión de los HLW y habría que asegurarse de que se cumplen los requisitos de seguridad aplicables.

2.2. Al diseñar una instalación y planear prácticas de gestión previa a la disposición final de los DABI es obligado tomar en cuenta la necesidad de proteger a los trabajadores y al público de la exposición a la radiación, de conformidad con las Normas básicas de seguridad [13], las cuales exigen mantener las dosis ocupacionales por debajo de los límites de dosis establecidos y todo lo bajas que sea razonablemente posible (el denominado principio ALARA), tomando en cuenta los pertinentes factores económicos y sociales (Ref. [13], sección 2).

2.3. Por las elevadas concentraciones de radionucleidos y los altos niveles de radiación de los HLW, su gestión previa a la disposición final encierra el potencial de dar lugar a una exposición considerable de los trabajadores y los miembros del público a la radiación. Así pues, habría que poner especialmente el acento en la prevención, la detección y la mitigación de los incidentes y los accidentes en el diseño, la explotación y la clausura de las instalaciones de gestión de HLW.

2.4. También habría que prestar atención cuidadosa al control de la exposición ocupacional en el diseño de una instalación y en las prácticas operacionales de la gestión previa a la disposición final de HLW. Las dosis debidas a la exposición ocupacional deberían mantenerse en los niveles correspondientes al principio ALARA mediante la aplicación rigurosa de prácticas operacionales y de ingeniería y controles administrativos. Son ejemplos de esas medidas las siguientes:



- a) La planificación minuciosa y la ejecución cuidadosa de las actividades de gestión de los HLW, entre ellas el facilitar la clausura, cuando llegue el momento, de las instalaciones de gestión de los HLW;
- b) Las evaluaciones previas al trabajo y el empleo de maquetas para capacitar al personal, a fin de reducir al mínimo las exposiciones durante las actividades operacionales y de mantenimiento, si los riesgos lo exigiesen;
- c) El empleo de tecnologías de manipulación a distancia en las actividades operacionales y de mantenimiento, si los riesgos lo exigiesen;
- d) El establecimiento de controles, por ejemplo, límites a las actividades, si se trasladan o retiran elementos de zonas de contaminación más elevada a zonas de menor contaminación.

2.5. Las emisiones al medio ambiente de materiales radiactivos de instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW deberían controlarse de conformidad con las recomendaciones facilitadas en la Ref. [14] y con los límites y condiciones que haya establecido el órgano regulador.

2.6. La idoneidad de los controles establecidos para limitar la exposición de los trabajadores y del público debería verificarse, cuando procediere, mediante la supervisión del personal, la zona y la descarga.

2.7. El riesgo radiológico es la preocupación primordial que los HLW plantean en materia de seguridad. Ahora bien, al diseñar y explotar instalaciones de gestión previa a la disposición final de los HLW también se deberían tener en cuenta los riesgos que encierran para la salud humana y el medio ambiente por sus otras características físicas y químicas. Se debería proporcionar protección frente a los riesgos no radiológicos de conformidad con las normas pertinentes sobre salud y seguridad y protección del medio ambiente.

2.8. La gestión de los HLW debe realizarse obligatoriamente de manera tal que no se impongan cargas indebidas a las generaciones futuras (Ref. [1]; Ref. [3], párr. 2.1). Por ejemplo, la adopción de una decisión sobre el reprocesamiento o la disposición final directa de combustible gastado a menudo se pospone si no hay una instalación de disposición final, con lo cual, en la práctica se almacena el combustible gastado en una instalación tecnológica, cuyos diseño, explotación y evaluación de la seguridad tecnológica deberían ajustarse a las recomendaciones y orientaciones dadas en las Refs. [7–9], respectivamente.

2.9. Los explotadores responsables de la gestión previa a la disposición final de HLW deberían ser conscientes en todo momento de las posibles estrategias nacionales de disposición final de los HLW y estudiar procesos para su disposición final eventual que sean coherentes con la planificación nacional. Se debería ejecutar programa gracias a los cuales se minimizara en la medida de lo posible la generación de HLW líquidos y la necesidad de almacenarlos durante largo tiempo. Habría que plantearse el estabilizar los desechos hasta que se adopte una decisión sobre su disposición final y debería hacerse de forma que sea probable que cumpla los criterios de aceptación de desechos para un futuro repositorio y que proporcione una mayor protección a las generaciones actuales y futuras.

2.10. Sea cual fuere la estrategia que se elija, todas las instalaciones de la gestión previa a la disposición final de HLW deberían ser diseñadas y explotadas, y todas las actividades correspondientes deberían llevarse a cabo, de manera coherente con los riesgos de la forma concreta de HLW de que se trate. Si se realiza un tratamiento o un acondicionamiento inicial de los HLW líquidos, por ejemplo, para que estén en una forma más segura y disminuir la probabilidad de que se dispersen, habría que estudiar su procesamiento ulterior y su compatibilidad con la forma final de los desechos acondicionados. También habría que tener en cuenta todos los riesgos que conlleven las técnicas empleadas para estabilizar los desechos.

2.11. “La producción de desechos radiactivos se mantendrá al nivel más bajo posible, tanto en términos de actividad como de volumen...” (Ref. [1], párr. 324). Minimizar la producción de HLW, de ser posible, tendría que ser un objetivo del proceso en que se generan. Debería ser un objetivo general disminuir el volumen y la actividad de las corrientes de desechos secundarios a que puedan dar lugar las actividades de gestión de los HLW. Los elementos que habría que tener presentes para reducir las cantidades de esos desechos son el empleo de un proceso bien diseñado, unas operaciones eficientes y una clausura de la instalación correctamente concebida y ejecutada.

2.12. Se debe fomentar y mantener una cultura de la seguridad tecnológica en todas las organizaciones que intervienen en la gestión previa a la disposición final de los HLW, desde su generación hasta su disposición final, si procede, para estimular una actitud indagadora, de aprendizaje y autodisciplina con respecto a la protección y la seguridad y desalentar toda autocomplacencia (Ref. [13], párr. 2.28; Ref. [15]).

### **3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES**

#### **CONSIDERACIONES GENERALES**

3.1. La gestión previa a la disposición final de HLW debe llevarse a cabo obligatoriamente dentro de un marco legal nacional apropiado que asigne claramente las responsabilidades [1] y con un control reglamentario eficaz de las instalaciones y actividades de que se trate (Ref. [2]; Ref. [3], párrs. 3.5–3.9). El marco legal nacional también permitirá observar otras leyes nacionales e internacionales. Aunque normalmente las leyes son de carácter general, el ordenamiento jurídico nacional puede permitir la promulgación de reglamentos consagrados específicamente a los emplazamientos para la gestión previa a la disposición final de los HLW. En la Ref. [2] se establecen los requisitos en lo que respecta a las responsabilidades en cuanto a establecer ese marco y las responsabilidades del órgano regulador en cuanto a garantizar la seguridad tecnológica de la gestión previa a la disposición final de los HLW.

3.2. La gestión previa a la disposición final de los HLW puede comprender el traslado de los desechos radiactivos de un explotador a otro o el procesamiento de los HLW en otro Estado. El marco legal establecido debería contener disposiciones que asegurasen una asignación clara de la responsabilidad de la seguridad durante toda la gestión previa a la disposición final de los HLW, comprendido cualquier traslado entre explotadores. También se debería estudiar la clausura de todas las instalaciones en las que se gestionasen HLW. Esta continuidad de la responsabilidad de la seguridad debería garantizarse mediante las apropiadas autorizaciones del órgano regulador (por ejemplo, mediante una licencia o una serie de licencias, de conformidad con el marco jurídico nacional y los acuerdos entre los Estados que interviniesen en el desplazamiento transfronterizo de HLW).

3.3. No se debería confiar a una sola organización estatal la responsabilidad operacional y de reglamentación de la gestión de los desechos radiactivos. Ahora bien, si no se pudiera evitar, deberían especificarse claramente y estar separadas funcionalmente las responsabilidades de reglamentación y las operacionales.

## RESPONSABILIDADES DEL ÓRGANO REGULADOR

3.4. Con respecto a la gestión previa a la disposición final de los HLW, al igual que en todos los aspectos de sus obligaciones estatutarias, el órgano regulador debe actuar dentro del marco jurídico nacional para definir las políticas, los principios en materia de seguridad tecnológica y los criterios conexos y establecer los requisitos que sirvan de base a sus medidas de reglamentación (Ref. [2], párrs. 3.1 y 3.2). El órgano regulador está obligado a dar orientaciones a los explotadores sobre cómo cumplir los requisitos para la gestión previa a la disposición final de los HLW. En cumplimiento de sus obligaciones, el órgano regulador debe desempeñar varias de las funciones que se establecen en la Ref. [2], las principales de las cuales son:

- a) Examinar y evaluar las solicitudes y los informes de los explotadores sobre seguridad;
- b) Expedir, modificar, suspender o revocar autorizaciones;
- c) Efectuar inspecciones reglamentarias;
- d) Velar por que se adopten medidas correctoras si se detectan situaciones de falta de seguridad o que puedan serlo;
- e) Adoptar las acciones coercitivas necesarias en caso de infracción de los requisitos reglamentarios.

3.5. En la Ref. [16] figuran recomendaciones sobre el examen y la evaluación por el órgano regulador de las instalaciones y actividades que intervienen en la gestión de los HLW. En la Ref. [17] se recogen recomendaciones sobre la documentación que el órgano regulador debería exigir presentar al explotador de una instalación nuclear con miras al proceso de reglamentación.

3.6. El órgano regulador debería preparar cuanto antes directrices para la clausura de las instalaciones de gestión de HLW. El explotador debería observar esas directrices al escoger opciones en materia de diseño y prácticas de explotación, con objeto de facilitar la clausura.

3.7. Como los períodos entre el acondicionamiento de los HLW y su disposición final pueden ser muy largos, habría que prestar especial atención a asegurar que se disponga de los recursos humanos, técnicos y financieros necesarios cuando hagan falta y que se disponga de la información precisa. El órgano regulador debería velar por que existiera, conforme a la modalidad adecuada a cada caso, un medio de obtener los recursos y por que se preparasen y conservasen los registros necesarios durante un tiempo adecuado. En la Ref. [17] figura una lista de los registros necesarios.

3.8. El órgano regulador debería normalmente dar orientaciones a los explotadores que lleven a cabo la gestión previa a la disposición final de los HLW acerca de lo siguiente:

- a) Criterios para la protección de la salud humana y del medio ambiente;
- b) Requisitos para la seguridad tecnológica nuclear;
- c) Criterios para el control de las descargas de efluentes;
- d) Criterios para la clasificación de los desechos radiactivos;
- e) Estrategias para la gestión de los desechos radiactivos;
- f) Criterios de aceptación para el almacenamiento de larga duración y/o la disposición final de desechos radiactivos;
- g) Procesos y procedimientos para la concesión de una licencia o una autorización de otro tipo;
- h) Procedimientos para la modificación de plantas o procedimientos;
- i) Políticas y procedimientos seguidos por el órgano regulador para verificar el cumplimiento y aplicar acciones coercitivas;
- j) El calendario y el contenido de los informes periódicos que el explotador deberá presentar al órgano regulador;
- k) Cultura de la seguridad tecnológica;
- l) Garantía de calidad.

3.9. El órgano regulador debería verificar los aspectos fundamentales de las operaciones de gestión previa a la disposición final de los HLW que ha de realizar el explotador, por ejemplo, la conformidad del bulto acondicionado de los HLW con los requisitos de aceptación de la instalación de disposición final o la instalación de almacenamiento de larga duración.

3.10. Se espera que las autoridades públicas consulten al órgano regulador acerca de todas las cuestiones relativas a la política y la estrategia en materia de seguridad de la gestión de los HLW y el órgano regulador debería prestar asesoramiento de esa índole sobre las cuestiones relativas a la seguridad de las instalaciones y actividades y en lo relativo a la protección y la seguridad en caso de emergencia (Ref. [2], párrs. 3.3 y 6.6).

## RESPONSABILIDADES DE LOS EXPLOTADORES

3.11. Antes de iniciar la construcción o una modificación de importancia de una instalación de gestión previa a la disposición final de los HLW, el explotador está obligado a presentar al órgano regulador una solicitud en la que se detallen el diseño y las prácticas operacionales que se proponen, junto

con una evaluación de la seguridad tecnológica, de conformidad con los requisitos reglamentarios (Ref. [2], sección 5). En la solicitud se deberían justificar las prácticas propuestas y demostrar su seguridad mediante una evaluación como la descrita en la sección 7. Antes de la concesión por el órgano regulador de una autorización para comenzar las operaciones utilizando materiales radiactivos, convendría que el explotador efectuara ensayos previos a la explotación y a la puesta en funcionamiento, según exija el órgano regulador, a fin de demostrar que se cumplen los requisitos en materia de diseño y otros requisitos de seguridad.

3.12. El explotador puede procesar, almacenar los HLW o efectuar su disposición final de manera aprobada utilizando sus propias instalaciones, o bien puede trasladar desechos en algún momento a otro explotador. Si lo hiciese, debería encontrar lugares de destino apropiados y cuidar de que los traslados de HLW se hagan únicamente a organizaciones autorizadas. Debería ser responsabilidad del explotador asegurar que los desechos radiactivos sean transportados en condiciones de seguridad y de conformidad con los reglamentos nacionales e internacionales para el transporte seguro de materiales radiactivos [10]. El explotador es responsable de la seguridad de todas las actividades en la gestión previa a la disposición final de desechos, aunque se contrate el trabajo a un tercero. Todo transporte de desechos a otros Estados debe observar las obligaciones internacionales como las establecidas en el artículo 27 de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y seguridad en la gestión de desechos radiactivos [18]. El explotador también debería asumir la plena responsabilidad de que los bultos de desechos cumplan los requisitos de aceptación para la disposición final de los HLW. De no aplicarse esos requisitos, el explotador debería examinar cuidadosamente la compatibilidad del bulto de desechos con los requisitos de aceptación previstos para la disposición final, a fin de dar una garantía razonable de que los HLW acondicionados serán aceptados con miras a su disposición final.

3.13. El explotador debería preparar planes para las actividades de clausura y la gestión de las emergencias y establecer mecanismos que aseguren que haya recursos financieros suficientes para llevar a cabo todas las tareas durante la vida útil de una instalación de gestión de HLW [3]. Las actividades que incumbe realizar al explotador se detallan en la Ref. [2], cuyos requisitos habría que adaptar en cada caso a la gestión previa a la disposición final de los HLW.

3.14. En algunos Estados se han creado organismos especializados con la finalidad de prestar servicios de gestión de desechos. Debería existir entre

todas las partes una comunicación adecuada para asegurar la eficacia y la efectividad del sistema general. Aunque puede arrojar beneficios de carácter general, el aprovechamiento compartido de la información antes mencionado debería tener por objetivo primordial la mejora de la seguridad gracias a las enseñanzas extraídas de la explotación.

## **4. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE SEGURIDAD TECNOLÓGICA**

### **INTERDEPENDENCIA**

4.1. Existen interdependencias entre todas las fases de la gestión de los HLW, desde la generación de los desechos hasta su disposición final. Al seleccionar estrategias y actividades para la gestión previa a la disposición final de los HLW, habría que planear todas sus diferentes etapas para adoptar un enfoque equilibrado de la seguridad en el programa general de gestión y evitar discrepancias entre los requisitos de seguridad y los operacionales. Habría que seleccionar las opciones en materia de almacenamiento de los HLW de manera que se asegure que sean compatibles con las actividades de procesamiento de los desechos.

4.2. Para alcanzar la continuidad de las operaciones, habría que tener presentes las interdependencias entre las fases de la gestión previa a la disposición final de los HLW. En concreto, se deberían abordar los siguientes aspectos:

- a) La identificación de las interfaces y la determinación de las responsabilidades de las diversas organizaciones presentes en esas interfaces;
- b) El establecimiento de criterios de aceptación, cuando sea necesario, y la confirmación de la conformidad con los criterios de aceptación mediante ensayos o pruebas de verificación o el examen de los registros.

4.3. En la mayoría de los programas de gestión de HLW, hay que adoptar decisiones sobre la gestión previa a la disposición final antes de que estén ultimados los requisitos de aceptación de los desechos para su disposición final. Las decisiones sobre la gestión previa a la disposición final de los HLW

deberían adoptarse y llevarse a cabo de manera que a la larga se asegure el cumplimiento de los requisitos de aceptación de los desechos para su disposición final. Concretamente, al diseñar y preparar los bultos de desechos para la disposición final de los HLW, se debería estudiar la idoneidad de los bultos para su transporte y almacenamiento, comprendida la recuperación, y para su colocación en una instalación de disposición final basándose en los requisitos de aceptación de los desechos que se prevea que se establezcan. Conforme evolucione la tecnología de la disposición final de los desechos, habría que examinar periódicamente la idoneidad de los bultos de desechos.

## CONTROL DE LA GENERACIÓN DE DESECHOS

4.4. La generación de HLW, ya sea en forma de HLW líquidos resultantes del reprocesamiento de combustible gastado o en forma del propio combustible gastado, es una consecuencia inevitable de la explotación de una central nuclear. En general, el contenido de la actividad guarda correlación con el tipo de combustible nuclear, el grado de quemado, el período de semidesintegración y los requisitos de las técnicas de reprocesamiento escogidas.

4.5. Debería tenerse debidamente en cuenta que tratamientos como la neutralización de los HLW líquidos ácidos en la gestión previa a la disposición final de HLW pueden aumentar el volumen y el contenido de sólidos de los desechos generados.

4.6. Concretamente, el principio consistente en mantener el volumen de desechos al nivel más bajo posible debería ser un factor a tener en cuenta al seleccionar los enfoques del almacenamiento y el procesamiento, a fin de minimizar la producción de formas secundarias de HLW. Ejemplos de medidas de procesamiento respecto de las cuales se debería tener presente este principio son la selección de los procesos de acondicionamiento y el programa de pruebas a que se recurre para verificar los procesos de tratamiento y acondicionamiento. En un proceso de acondicionamiento en el que hay componentes que resultan contaminados, por ejemplo, una caldera de fusión para la vitrificación de HLW, se debería emplear equipo de longevidad demostrada. En cuanto a la cualificación de un proceso de acondicionamiento, se debería diseñar el programa de manera que se redujera al mínimo la cantidad de especímenes de las pruebas en que se utilicen HLW reales.

4.7. Como la reducción en la fuente es el modo más eficaz de mantener las cantidades de desechos radiactivos producidos lo más bajas posibles, las



instalaciones de gestión previa a la disposición final de los HLW deberían ser diseñadas y explotadas y las actividades deberían planearse y realizarse de manera tal que se minimizasen las cantidades de desechos secundarios generados. En la Ref. [12] se exponen varios métodos útiles para minimizar las cantidades de esos desechos de importancia para la gestión previa a la disposición final de los HLW.

## CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS

4.8. Los HLW deben ser clasificados en las distintas fases de su gestión previa a la disposición final para obtener información sobre sus propiedades que se utilice para controlar la calidad de los productos, verificar el proceso y facilitar con ello las fases siguientes de procesamiento seguro y la ulterior disposición final de los HLW (Ref. [3], párrs. 5.4 y 5.14).

4.9. Los requisitos relativos a los datos para la clasificación y los métodos para recopilar los datos diferirán en función de la forma de los HLW (si son HLW líquidos, HLW solidificados o combustible gastado). La clasificación de los HLW debería efectuarse normalmente conforme a las fases siguientes: a) la determinación de las medidas de tratamiento previo para proporcionar un almacenamiento seguro; b) la concepción de un cuerpo de desechos y un bulto de desechos apropiados; c) la elaboración de un proceso de acondicionamiento cualificado; y d) la realización de las principales actividades de procesamiento.

4.10. La clasificación de los HLW debería proporcionar, por lo menos, la información enumerada en el Apéndice sobre sus propiedades y características.

4.11. Cuando se procesen corrientes de HLW líquidos, puede ser necesario clasificar los productos mediante muestreo y análisis de las propiedades químicas, físicas y radiológicas de los desechos. Ahora bien, cabe que sea posible aplicar métodos indirectos de clasificación basados en el control del proceso y el conocimiento del proceso en lugar de (o además) del muestreo para evitar una exposición ocupacional indebida. Los métodos de clasificación en el procesamiento de los desechos deberían ser aprobados por el órgano regulador en el proceso de autorización.

4.12. La clasificación de los HLW solidificados debería realizarse mediante el muestreo de los HLW líquidos y el control de un proceso cualificado, dotado de los instrumentos necesarios, con un riguroso programa de control del proceso. La clasificación debería proporcionar toda la información sobre el cuerpo de

desechos y el contenedor de los desechos que sea necesaria para la manipulación, el transporte, el almacenamiento y, en lo posible, la disposición final de los desechos. Habría que prever, hasta donde se pueda, cualesquiera requisitos adicionales relativos a los datos para la clasificación que se pueda determinar una vez finalizados los requisitos de la disposición final. Además, puede ser necesario tomar en cuenta los cambios que con el tiempo experimenten la forma química y física de los desechos debidos a la irradiación y la energía térmica de los HLW, especialmente si se aplaza considerablemente su disposición final.

4.13. De los registros sobre la explotación del reactor y la semidesintegración de los radionucleidos después de descargado el combustible gastado se debería obtener datos utilizables para clasificar el combustible gastado. Se debería prever la verificación de los parámetros fundamentales mediante técnicas no destructivas como la medición de los flujos de neutrones. También habría que tener presente la integridad del plaqueado del combustible.

## CRITERIOS DE ACEPTACIÓN

4.14. Un objetivo importante de la gestión previa a la disposición final de los HLW debería ser producir bultos de desechos que se pueda manipular, transportar, almacenar y someter a disposición final con seguridad. Concretamente, habría que acondicionar los HLW para que cumpliesen los requisitos de aceptación para su disposición final. A fin de garantizar razonablemente que los desechos acondicionados puedan ser aceptados para su disposición final, si bien puede que todavía no se hayan formulado requisitos específicos al respecto, habría que prever en lo posible opciones para la gestión en el futuro de los HLW y los correspondientes requisitos de aceptación de los desechos. Se puede satisfacer los requisitos de aceptación de los desechos dotando a éstos de un sobreembalaje ajustado a las condiciones específicas del emplazamiento del repositorio y a las características de los HLW y los componentes mecánicos de la instalación de disposición final. En el Anexo II figura una lista de las propiedades y características típicas que habría que tener presentes respecto de los bultos de desechos en la gestión previa a la disposición final de los HLW. Además, debería haber un programa de garantía de calidad (véase la sección 8) que rigiera las propiedades de los bultos de desechos.

4.15. Para asegurar la aceptación de los bultos de desechos para la disposición final, se debería establecer un programa de elaboración de un proceso de

acondicionamiento que apruebe el órgano regulador. Los elementos adoptados para clasificar los desechos y controlar el proceso deberían dar confianza en que se asegurarán las propiedades de los bultos de desechos. La lista de las pruebas que se han realizado y de los requisitos que se han cumplido, demostrados por el explotador, debería servir de base a un acuerdo con el explotador de la instalación de disposición final. Si, por ejemplo, se aplica un material matriz en el acondicionamiento de HLW, habría que efectuar pruebas para confirmar el comportamiento previsto del cuerpo de desechos en su entorno de disposición final. Esas pruebas consisten en pruebas de lixiviación, pruebas de detrimento por radiación simulado y pruebas de estabilidad térmica. Habría que plantear la conveniencia de efectuar pruebas de lixiviación acelerada para predecir la durabilidad a largo plazo de la matriz. Se tendría que efectuar pruebas de detrimento por radiación simulado para obtener información sobre los cambios en el cuerpo de desechos. También se debería considerar la conveniencia de realizar pruebas de estabilidad térmica para evaluar los posibles cambios de fase, por ejemplo, la cristalización del vidrio. En la sección 8 se dan orientaciones para ejecutar un programa de garantía de calidad propio de la gestión previa a la disposición final de los HLW.

## CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL

4.16. El personal de explotación debería estar cualificado de conformidad con los requisitos del órgano regulador para desempeñar sus tareas en la gestión previa a la disposición final de HLW. El personal encargado de la explotación de instalaciones en que se generan y/o gestionan HLW debería seguir un programa de formación especificado que garantizase que comprende los procesos llevados a cabo y las interrelaciones de todas las fases del proceso de gestión de los desechos y las consecuencias de un error del explotador sobre la seguridad y la generación de desechos. Sin ese conocimiento, se podría producir, por ejemplo, un bulto de desechos que no satisficiera los criterios de aceptación para su procesamiento, almacenamiento o disposición final posteriores o que pudiese encerrar un riesgo.

4.17. El personal asignado a seleccionar las tecnologías de los procesos de la gestión previa a la disposición final de los HLW también debería ser formado y estar cualificado para desempeñar sus funciones. Además, los explotadores de la gestión previa a la disposición final de los HLW deberían aportar cantidades adecuadas de trabajadores cualificados y con experiencia para operar y mantener el equipo, los procesos y los sistemas de gestión previa a la disposición final de los desechos radiactivos y los sistemas de servicios. En

todas las fases de la gestión previa a la disposición final de los desechos radiactivos el explotador tendría que asegurarse de que el personal dedicado a actividades de explotación y mantenimiento y el personal técnico comprenda la índole de los desechos y los riesgos que conllevan, los procedimientos de explotación pertinentes y los procedimientos de seguridad conexos, así como los procedimientos a seguir de producirse un incidente o un accidente.

## FACILITACIÓN DE LA CLAUSURA

4.18. Las instalaciones de gestión previa a la disposición de los HLW tienen una vida útil limitada. Al final de ella, habría que adoptar medidas para retirar, tratar o acondicionar los HLW que queden en la instalación antes de clausurarla. Al diseñar una instalación de gestión de HLW habría que tener presente la seguridad tecnológica de las actividades de clausura. Un objetivo final de la clausura es posibilitar la supresión parcial o completa del control reglamentario de la instalación. Figuran más recomendaciones sobre la clausura en las Refs. [4–6].

4.19. Los requisitos para clausurar instalaciones de gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos se establecen en la Ref. [3]. En la Ref. [4] se formulan recomendaciones para cumplir esos requisitos de las instalaciones de gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, comprendidas las instalaciones de procesamiento y almacenamiento de HLW. Los elementos fundamentales que habría que tener presentes para la clausura de instalaciones de gestión previa a la disposición final de los HLW, conforme se especifica en la Ref. [5], son:

- a) La selección de una modalidad de clausura en la que se tengan en cuenta los radionucleidos presentes en los HLW residuales, el tipo de instalación de gestión de HLW, los factores técnicos, los costos, los plazos y los factores institucionales.
- b) La elaboración de un plan de clausura, que comprenda un plan inicial y un plan final en el que se tengan en cuenta todas las modificaciones de importancia de la instalación y la información extraída de su historial operacional después de haberse preparado el plan de clausura inicial.
- c) La especificación de las tareas críticas que requiere su clausura; especialmente, la descontaminación, el desmantelamiento, la demolición, la vigilancia y la realización de un reconocimiento radiológico final.
- d) Las funciones de gestión importantes para su clausura, como la formación, el control institucional, la monitorización radiológica, la

planificación y el control de la gestión de los desechos, la protección física, las salvaguardias y la garantía de calidad.

4.20. Habría que estudiar debidamente los aspectos del diseño y operacionales que influirán en la seguridad tecnológica de la clausura (por ejemplo, los procesos químicos o mecánicos que tienen lugar) para facilitar la clausura de una instalación cuando se produzca. Las consideraciones relativas al diseño con miras a la clausura y las medidas de clausura deberían ser coherentes con los riesgos que se prevea que presente la instalación.

4.21. La clausura de instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW puede dar lugar a muchos componentes muy contaminados que no se presten a ser descontaminados. Habría que prever disposiciones específicas relativas al almacenamiento, el procesamiento o la disposición final de esos elementos. Habría que estudiar la instauración de controles para asegurar que la labor de descontaminación se lleve a cabo en condiciones de seguridad y que se cumplen los requisitos en materia de supresión del control reglamentario de los materiales.

## PREPARACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN SOBRE SEGURIDAD

4.22. El órgano regulador pedirá al explotador que presente documentación relativa a la seguridad para sustentar la solicitud de una licencia o una autorización de otro tipo para una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW. En los documentos relativos a la seguridad de esa empresa deberían tratarse cuestiones como las siguientes:

- a) Una descripción de la instalación y sus componentes, equipo y sistemas;
- b) Las características del emplazamiento;
- c) Las características de los desechos que se prevé gestionar y los pertinentes criterios de aceptación;
- d) Una descripción de los métodos de manipulación y procesamiento y la forma resultante de los desechos;
- e) El almacenamiento temporal de los desechos en las distintas fases de su procesamiento;
- f) La generación y la gestión de desechos radiactivos secundarios;
- g) El control de las descargas de efluentes;
- h) El control institucional de las operaciones;
- i) Evaluaciones de la seguridad tecnológica y evaluaciones de las consecuencias sobre el medio ambiente;

- j) Los programas de supervisión y vigilancia;
- k) El programa de formación del personal;
- l) Los aspectos de salvaguardias, cuando proceda, y la seguridad física de los materiales radiactivos;
- m) El plan de preparación ante emergencias;
- n) El programa de garantía de calidad;
- o) El plan de clausura.

## CONTROL DEL ACCESO

4.23. Puede ser necesario establecer el control del acceso a las zonas en que se manipulan, almacenan o procesan HLW a causa de los riesgos radiológicos o de otro tipo que encierren los desechos, o porque la índole de los desechos requiere aplicar disposiciones en materia de salvaguardias [19–21] y protección física [22], y por consiguiente habría que estudiar la imposición de dicho control.

4.24. Para cumplir el requisito operacional de controlar eficazmente el acceso, habría que estudiar un enfoque por zonas, que se aplicara de manera estructurada hacia dentro, esto es, hacia las zonas con procedimientos de seguridad y controles más estrictos.

4.25. Deberían adoptarse disposiciones para detectar con seguridad y rapidez cualquier intrusión no autorizada y adoptar sin demora las pertinentes contramedidas.

## PREPARACIÓN PARA CASOS DE EMERGENCIA

4.26. Habría que evaluar las posibles consecuencias radiológicas de los incidentes y los accidentes. En función del resultado de esa evaluación, habría que adoptar disposiciones para asegurar que hubiese una capacidad real de reacción frente a incidentes y accidentes, de las que podrían formar parte la elaboración de escenarios de secuencias de sucesos previstas y la instauración de procedimientos para hacer frente a cada uno de los escenarios, incluidas las listas de control y las listas de personas y organizaciones de dentro y fuera de la instalación a las que se debe alertar [23]. Debería cuidarse de que la necesaria respuesta a emergencias esté documentada, de que los documentos estén a disposición del personal interesado y de que estén al día los procedimientos y documentos. Convendría evaluar la necesidad de realizar ejercicios. De

haberla, se tendría que celebrar periódicamente ejercicios para ensayar el plan de respuesta a emergencias y el grado de preparación del personal. Habría que realizar inspecciones periódicas para determinar si se dispone del equipo necesario en caso de producirse una emergencia y si se encuentra en estado de funcionamiento.

## **5. ELEMENTOS DE SEGURIDAD TECNOLÓGICA CON MIRAS A LA GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS HLW**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

5.1. Las actividades de procesamiento de HLW y sus correspondientes características de seguridad tecnológica varían en función de las características iniciales de los desechos y, en último término, de los requisitos de aceptación para la disposición final de los desechos. Por ejemplo, se puede especificar límites al contenido de radionucleidos y la potencia térmica, el flujo de neutrones, la resistencia de los contenedores a la corrosión, las tasas de lixiviación del cuerpo de desechos, las propiedades mecánicas y térmicas y el contenido de elementos no nucleares. Un requisito previo de la seguridad tecnológica es clasificar los HLW conforme a sus propiedades pertinentes.

5.2. Los niveles de actividad de los HLW son considerablemente más altos que los de la mayoría de los demás tipos de desechos radiactivos. A fin de proporcionar un grado aceptable de protección, se debería aplicar el concepto de defensa en profundidad [24] en el diseño y la explotación de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW. El empleo de niveles múltiples de contención (esto es, obstáculos materiales) debería ser una estrategia primordial en la gestión previa a la disposición final de HLW y para aplicarla en el diseño de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW deberían incluirse elementos (controles mecánicos) que tengan por objeto mantener la contención, eliminar el calor de desintegración, controlar los efluentes gaseosos y líquidos y prevenir la criticidad, especialmente al concentrar los HLW para disminuir su volumen total. Debería estudiarse el empleo de controles administrativos dentro de la defensa en profundidad, aunque son preferibles los controles mecánicos.

5.3. La seguridad con respecto a la criticidad debería ser un factor importante a tener en cuenta con respecto al combustible gastado, pero mucho menos en relación con otras categorías de HLW. Ahora bien, incluso con respecto a los HLW líquidos, de los que se supone que se ha eliminado los materiales fisibles, siempre debería estudiarse la posibilidad del arrastre de algunos materiales fisibles y examinar cuidadosamente la posibilidad de criticidad. Esta cuestión es especialmente importante si pueden sedimentarse o precipitarse sólidos a partir del líquido.

## ELEMENTOS DE LA GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS HLW

### **HLW líquidos**

5.4. Los HLW que genera el reprocesamiento de combustible gastado están en forma líquida. La gestión previa a la disposición final de estos desechos comprende el almacenamiento en una forma líquida, la conversión en un cuerpo de desechos solidificados, el embalaje y el almacenamiento del bulto de desechos. En los párrafos 5.5–5.17 se formulan recomendaciones para la gestión segura de HLW líquidos.

#### *Almacenamiento de los HLW líquidos*

5.5. Se están preparando recomendaciones para el diseño y la explotación de las instalaciones de almacenamiento y las actividades conexas de almacenamiento de desechos radiactivos, que se publicarán en una Guía de seguridad. En los párrs. 5.6–5.9 se dan recomendaciones referentes específicamente al almacenamiento de HLW líquidos.

5.6. Se debería dotar de vigilancia a las instalaciones de almacenamiento de HLW líquidos para asegurar la operabilidad de los sistemas de seguridad tecnológica, por ejemplo, los sistemas de ventilación, refrigeración y detección del nivel de los fluidos. Se debería tener presente la conveniencia de implantar capacidades redundantes de monitorización e indicación de los valores medidos. Además, habría que adoptar medidas para monitorizar los parámetros físicos y químicos fundamentales de los desechos (por ejemplo, la temperatura y la presión, la subcriticidad y las concentraciones de componentes esenciales, el grado de la descomposición radiolítica de las soluciones acuosas y los niveles de sustancias que puedan ser inflamables o explosivas). También habría que prever los medios necesarios para mantener



esos parámetros dentro de límites operacionales aceptables y la descarga de efluentes transportados por el aire y líquidos dentro de los límites reglamentarios.

5.7. Se debería velar por que los HLW líquidos sean compatibles químicamente con la química de los procesos utilizados para su acondicionamiento y con los materiales estructurales de las vasijas, las tuberías y demás estructuras y componentes. Además de los requisitos en materia de contención que se especifican en los párrs. 5.33 y 5.34, las instalaciones de almacenamiento de HLW líquidos deberían incorporar normalmente otros elementos de diseño, como tuberías y vasijas de doble pared, muros y sumideros de contención en las cisternas que contienen los desechos y sistemas de ventilación activa que hagan que el aire circule de las zonas de menor contaminación a las más contaminadas. Se debería establecer sistemas de recolección y recuperación de escapes o derrames, como el revestimiento de las células y sistemas de sumideros y sistemas de reciclado de líquidos. También se debería implantar medidas para mantener los sólidos en suspensión a fin de fomentar la adecuada refrigeración y evitar que se acumulen en las superficies de enfriamiento.

5.8. Se debería proporcionar protección contra los riesgos que entraña el almacenamiento de HLW líquidos mediante elementos mecánicos de seguridad tecnológica que utilicen sistemas de seguridad tecnológica activos o pasivos redundantes. Esa protección debería comprender, como mínimo, el blindaje y la contención, así como disposiciones para impedir, mediante el enfriamiento de los HLW líquidos y ventilando los gases que se pueda generar, la generación no controlada de gases explosivos o los aumentos de la temperatura y la presión.

5.9. Las instalaciones de almacenamiento de HLW líquidos deberían estar dotadas de sistemas de descargas gaseosas que empleen sistemas de filtración apropiados para controlar la emisión de efluentes transportados por el aire.

#### *Procesamiento de los HLW líquidos*

5.10. El procesamiento de los desechos radiactivos comprende varias operaciones de tratamiento previo, por ejemplo, la recolección de los desechos, su segregación, ajuste químico y descontaminación. Los HLW líquidos deberían ser recolectados, segregados y ajustados químicamente para facilitar su tratamiento y acondicionamiento posteriores. Concretamente, si no fuese una fase factible del procesamiento la mezcla de diferentes lotes de HLW

líquidos, habría que plantearse la segregación de esos desechos fundándose en sus propiedades químicas, propiedades radiológicas (por ejemplo, contenido específico de nucleidos (actínidos)) y propiedades térmicas (tasas de generación de calor).

5.11. En el tratamiento de los HLW líquidos se efectúan operaciones que modificarán sustancialmente sus características y que pueden consistir, por ejemplo, en evaporación, intercambio iónico, floculación, adición química, precipitación y filtración, y calcinación. Los requisitos del tratamiento dependerán de las características de los HLWS líquidos, la capacidad de la instalación de almacenamiento (tanto la capacidad volumétrica como la compatibilidad química entre los materiales de que estén hechos los contenedores y los materiales almacenados) y el tipo de proceso de acondicionamiento que en consecuencia se elija. Se debería utilizar el tratamiento para mejorar la seguridad tecnológica produciendo un cuerpo de desechos más estable con vistas a su almacenamiento o acondicionamiento facilitando el proceso de acondicionamiento o eliminando los compuestos peligrosos no radiactivos.

5.12. El acondicionamiento entraña la conversión de HLW líquidos en un cuerpo de desechos sólidos, la introducción de los desechos solidificados en contenedores (denominados habitualmente cápsulas) y, si procede, la colocación de los contenedores en un sobreembalaje para su almacenamiento o disposición final. El cuerpo de desechos solidificados, junto con los contenedores que hubiere, se denomina generalmente ‘bulto de desechos’; este bulto de desechos debería estar en un cuerpo apropiado a la disposición final. Los requisitos de los materiales y los requisitos estructurales de los contenedores deberían basarse en los requisitos de aceptación para la disposición final conocidos o previstos. El bulto de desechos debería ser diseñado de forma que garantice la seguridad tecnológica de su manipulación, transporte y almacenamiento.

5.13. Las instalaciones existentes deberían tener capacidad para tratar bultos de desechos (incluidos los cuerpos de desechos y cualesquiera contenedores) que no se ajusten a las especificaciones formuladas. Por ejemplo, para ello puede ser necesario que haya instalaciones separadas de almacenamiento de bultos de HLW que no cumplan las especificaciones o para los que necesiten medidas correctivas.

5.14. Se debería diseñar las instalaciones de procesamiento de HLW líquidos de manera que tuviesen la adecuada redundancia y la suficiente flexibilidad

operacional, lo cual podría comprender, por ejemplo, utilizar sistemas de transferencia multimodal como extracción por aire y eductores de vapor, sistemas múltiples de filtros y aventadores para extraer y limpiar las descargas gaseosas y energía eléctrica de reserva para la celda de solidificación de HLW líquidos. Esos sistemas deberían diseñarse de forma que evitaran accidentes o mitigaran sus consecuencias.

#### *Almacenamiento de HLW acondicionados procedentes del reprocesamiento*

5.15. El estado de bultos de desechos que contienen desechos acondicionados se debería mantener dentro de los requisitos de aceptación durante su almacenamiento y no deberían alterarlo negativamente las operaciones de manipulación, comprendida la recuperación. Son ejemplos de las propiedades que se deben mantener la integridad de la contención y la temperatura. Habría que prever los medios necesarios para monitorizar el estado de los bultos de desechos y las condiciones de almacenamiento, o habría que efectuar análisis técnicos para evaluar el estado de los bultos de desechos a partir de los pertinentes parámetros. Si se proporciona un sobreembalaje, los dispositivos de monitorización deberían poder determinar el estado de los bultos de desechos monitorizando los parámetros del sobreembalaje.

5.16. Las instalaciones de almacenamiento de desechos de reprocesamiento acondicionados deberían diseñarse y explotarse de forma que se eviten manipulaciones innecesarias, a fin de prevenir la exposición indebida de los trabajadores y de mantener la integridad de los bultos de desechos.

5.17. Habría que adoptar medidas para detectar los bultos de desechos acondicionados que se averíen durante su almacenamiento y tratarlos adecuadamente.

#### **Combustible gastado**

5.18. El combustible gastado no acondicionado debería almacenarse de conformidad con las orientaciones facilitadas en las Refs. [7–9]. En los párrafos 5.19–5.27 figuran recomendaciones para la gestión segura del combustible gastado durante su procesamiento y cuando esté almacenado después de haber sido acondicionado.

## *Procesamiento del combustible gastado*

5.19. Las actividades de procesamiento del combustible gastado comprenden su clasificación y la preparación del combustible para su acondicionamiento y el acondicionamiento mismo. Según el método de disposición final escogido, se puede colocar elementos del combustible gastado directamente en un contenedor sin más acondicionamiento. En general, el acondicionamiento entraña procesos mecánicos como el desmontaje de los elementos combustibles en varillas de combustible y el embalaje de las varillas de combustible, tal como son o cortadas en secciones más pequeñas, en un contenedor para su disposición final.

5.20. El acondicionamiento del combustible gastado puede consistir, si no, en disolver el combustible gastado, inmovilizar el líquido resultante en una matriz apropiada o en encerrar el cuerpo de desechos en cápsulas. Las operaciones de procesamiento del combustible gastado son similares a las aplicadas a los HLW líquidos y, por lo tanto, son válidas las mismas recomendaciones que para éstos, con la recomendación adicional de que se debería prestar especial atención a la seguridad con respecto a la criticidad.

5.21. Se debería efectuar una clasificación para asegurar que el combustible que se reciba es apropiado para el proceso de acondicionamiento escogido. Por ejemplo, se deberían tomar medidas para detectar el combustible averiado y verificar los cálculos sobre el quemado del combustible y la potencia térmica.

5.22. Habría que estudiar medidas para controlar los riesgos que conlleven los radionucleidos volátiles que pueda liberar el combustible gastado en la consolidación de varillas de combustible, sobre todo si las varillas han sido cortadas.

5.23. Si la opción seleccionada para el combustible gastado consiste en encerrar en una vaina el combustible para su contención (método que no se recomienda para la contención primaria), habría que prever los medios necesarios para preservar la integridad de la vaina del combustible durante su procesamiento y almacenamiento y para tratar adecuadamente el combustible averiado. Habría que prestar especial atención a la elaboración de procedimientos de manipulación y la selección del equipo de manipulación (véase la sección 2 de la Ref. [7]) para preservar la integridad de la vaina del combustible. Además, habría que prever un método alternativo, por ejemplo el uso de cápsulas selladas, para la contención primaria de las sustancias radiactivas.

5.24. Se debería asegurar la subcriticidad en las instalaciones de procesamiento de combustible gastado; para ello, habría que estudiar la configuración geométrica de los materiales fisibles manipulados, su concentración, el inventario total y la presencia de materiales reflectantes y moderadores. Se debería sopesar cuidadosamente todo crédito que se dé al quemado de combustible para garantizar la prudencia en materia de seguridad con respecto a la criticidad. Habría que evaluar las secuencias de sucesos conducentes a configuraciones del combustible anormales tanto respecto de los estados operacionales como de las condiciones de accidente. En las referencias [7, 8] figuran orientaciones sobre el diseño y la explotación de instalaciones de almacenamiento de combustible gastado.

5.25. Habría que prestar especial atención en el diseño de una instalación de procesamiento de combustible gastado a las consecuencias de una redistribución o un cambio de la configuración geométrica del material moderador, la introducción de material moderador o los cambios en la configuración de los absorbentes de neutrones resultantes de sucesos iniciadores internos o externos como la introducción de agua. Si no se puede asegurar la subcriticidad en esas condiciones, habría que disponer medidas preventivas como la fijación de límites operacionales a las cantidades de materiales que se tratarán.

5.26. Habría que prever lo necesario para ayudar a identificar los bultos averiados que contengan combustible gastado y repararlos. Se debería usar métodos de prueba y evaluación no destructivos para identificar los bultos averiados y se tendría que disponer de técnicas para repararlos (por ejemplo, volver a soldar el precinto de una cápsula si el precinto no cumple los requisitos).

#### *Almacenamiento de combustible gastado acondicionado*

5.27. Muchas de las orientaciones dadas en las Refs. [7–9] se aplican al almacenamiento de combustible gastado acondicionado. Además, muchas de las recomendaciones antes analizadas para acondicionar combustible gastado también valen para el almacenamiento de combustible gastado acondicionado. Comprenden medidas para preservar la integridad de la vaina del combustible si se ha previsto que la vaina sea la contención primaria de los materiales radiactivos y que asegure una disposición segura, subcrítica, del combustible gastado acondicionado mediante su configuración geométrica o el empleo de absorbentes de neutrones. Habría que plantearse el empleo de una contención primaria alternativa si se detecta que la vaina del combustible es defectuosa.

También se debería estudiar el uso de monitores de neutrones y procedimientos de manipulación especiales para evitar que se formen posibles configuraciones críticas. Habría que establecer sistemas para detectar y tratar los bultos que contengan combustible gastado que se averíen durante su almacenamiento.

## DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE HLW

5.28. Una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW debería ser diseñada para una determinada vida útil de su diseño. El diseño debería facilitar el mantenimiento y la sustitución de componentes que proceda efectuar para limitar la exposición de los trabajadores a la radiación y evitar accidentes. Al diseñar una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW, también habría que tener en cuenta los siguientes elementos, que pueden influir en la seguridad tecnológica:

- a) La recuperación de los HLW almacenados o de los desechos secundarios generados en las operaciones de gestión;
- b) La clasificación de los HLW;
- c) La inspección de los HLW almacenados;
- d) La gestión de los HLW con respecto a los riesgos no radiológicos y de los desechos secundarios generados;
- e) El control de los efluentes líquidos y gaseosos;
- f) La protección contra incendios;
- g) El control del acceso y el control de los movimientos entre las zonas de radiación y/o de contaminación.

5.29. Habría que asegurar que ninguna disposición aplicable a la instalación establecida para que se cumplan los requisitos nacionales e internacionales [19–21] relativos a las salvaguardias y la seguridad física de los materiales [22] pusiera en peligro la seguridad tecnológica.

## **Materiales**

5.30. Los materiales estructurales, las técnicas de fabricación y construcción y los procedimientos de ensayo deberían basarse en códigos y normas aceptables para el órgano regulador. Habría que tener presentes los posibles efectos que los desechos, los materiales asociados a ellos y las condiciones ambientales pueden tener sobre las capacidades de los elementos de la instalación relativos

a la seguridad para desempeñar las funciones para las que fueron concebidos. Entre los procesos y las propiedades que habría que tener en cuenta están, por ejemplo, la corrosión por altas temperaturas de los materiales y los efectos de la irradiación en los campos de alta radiación. (Véase además la sección 7, relativa a la evaluación de la seguridad tecnológica.)

5.31. Las instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW deberían ser diseñadas de manera que se impidiesen las interacciones de materiales que puedan poner en peligro la contención de los desechos o la seguridad en la instalación. La toma en cuenta de esas interacciones debería ampliarse a los HLW solidificados y a sus correspondientes contenedores.

5.32. La gestión previa a la disposición final de HLW puede conllevar además la gestión de materiales peligrosos no radiactivos. Habría que seleccionar los materiales y adoptar otras medidas para asegurar que su gestión se ajuste a los reglamentos aplicables relativos a los materiales peligrosos y para tomar en cuenta las posibles interacciones entre los componentes radiactivos y los no radiactivos.

### **Contención**

5.33. Según el tipo de desecho de que se trate (desechos líquidos, desechos inmovilizados o combustible gastado), se puede proporcionar protección únicamente con un contenedor o con un contenedor complementado por los sistemas de seguridad tecnológica de la instalación, como los de eliminación del calor (ya sean pasivos o activos).

5.34. En cuanto a los HLW acondicionados, se debería poner el acento en el diseño del bulto de desechos mismo, que debería proporcionar contención adecuada y un medio para mitigar cualquier aumento inesperado de la temperatura.

### **Criticidad**

5.35. El diseño y la explotación de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW deberían llevarse a cabo de manera que se asegurase la subcriticidad en los estados operacionales y en condiciones de accidente mediante configuraciones geométricas seguras, limitaciones de las concentraciones e inventarios de los materiales fisibles o el empleo de venenos neutrónicos. En el diseño se debería elegir un apropiado factor limitador de la multiplicación neutrónica, con los adecuados factores de seguridad de la masa,

la concentración y otras características tenidas en cuenta, con objeto de asegurar la seguridad con respecto a la criticidad, dependiendo de las condiciones antes mencionadas. Habría que plantearse qué otras disposiciones de organización y administrativas podrían ser necesarias en la explotación de una instalación de esas características para asegurar condiciones subcríticas.

### **Eliminación del calor**

5.36. El diseño de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW debería incorporar sistemas (por ejemplo, un sistema de vigilancia y control de la temperatura) que sean capaces de mantener la temperatura de los HLW dentro de límites aceptables en todas las fases de la gestión previa a la disposición final, tanto en las operaciones normales como en condiciones de accidente. Esos límites de la temperatura deberían basarse en las propiedades de los desechos y los bultos de desechos, teniendo en cuenta las propiedades físicas del contenedor, las estructuras de contención y el cuerpo de los desechos en todas las fases de la gestión, comprendido el almacenamiento.

5.37. En la medida de lo posible, los sistemas de refrigeración de las instalaciones de almacenamiento de HLW acondicionados deberían ser pasivos y requerir un mantenimiento mínimo. Si se emplea la circulación forzada de refrigerante, el sistema debería ser muy fiable. Ejemplos de elementos que aumentan la fiabilidad del sistema de refrigeración son la capacidad de hacer frente a la suspensión de sólidos y la acumulación en las superficies que disminuye la eficiencia de la eliminación del calor. La propia instalación de almacenamiento debería diseñarse de forma que fuese capaz de experimentar una pérdida temporal de sucesos refrigerantes sin que los desechos almacenados sufran daño alguno. Además, habría que instaurar medios de mitigación para hacer frente a esas contingencias.

### **Protección radiológica**

5.38. Por los campos de alta radiación y las altas actividades que comporta la gestión previa a la disposición final de HLW, habría que mantener las dosis de radiación en niveles correspondientes al principio ALARA empleando elementos como técnicas de manipulación remota en las operaciones y el mantenimiento y fijando límites a las actividades y tasas de dosis a los elementos que habrá que desplazar de zonas altamente contaminadas o radiactivas a zonas que los estén menos [13]. Cuando se prevean operaciones de mantenimiento manuales, se debería proporcionar la protección adecuada,



por ejemplo, descontaminando el equipo y utilizando un blindaje temporal o permanente.

## EXPLOTACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE HLW

5.39. La explotación de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW debería seguir normas y procedimientos preestablecidos. Esas normas y esos procedimientos deberían ser elaborados por el explotador y examinados y aprobados por el órgano regulador.

5.40. El procesamiento y el almacenamiento de HLW previos a la disposición final deberían realizarse de forma que se prevenga el escape de radionucleidos o la pérdida de integridad de la contención. Habría que establecer planes de contingencia por si se produjera un escape de radionucleidos o una pérdida de integridad de la contención.

5.41. Los elementos del diseño que tienen por objeto asegurar la subcriticidad deberían estar acompañados de prácticas operacionales, medidas administrativas y la capacitación del personal pertinente. Habría que instaurar medios para prevenir la introducción no intencionada de materiales que pudieran causar criticidad. Si se cambia el plan operacional del procesamiento de los HLW, se tendría que comprobar por adelantado que no pueda producirse una situación que pudiera causar criticidad.

5.42. El órgano regulador debería disponer de medios para verificar las propiedades de los desechos que haya establecido el explotador.

5.43. El explotador de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW debería prever las adecuadas medidas de protección radiológica, por ejemplo:

- a) Planificando por adelantado de la labor de mantenimiento, comprendidas las pertinentes medidas de protección radiológica;
- b) Proporcionando equipo para la monitorización y el control de la contaminación, la exposición de los trabajadores y el público a la radiación, y las emisiones al medio ambiente.

## TRANSPORTE

5.44. El explotador debería establecer los requisitos y autorizaciones precisos para asegurar la seguridad tecnológica del transporte *in situ*. En los procedimientos de emergencia previstos para el emplazamiento, el explotador de la instalación debería tener debidamente en cuenta los escenarios en que los accidentes dan lugar a una posible exposición de las personas.

5.45. Los HLW deberían ser empaquetados y contenidos adecuadamente para su transporte por carretera, ferrocarril, vía aérea o vía marítima de conformidad con los requisitos legales nacionales, los cuales deberían basarse en los requisitos establecidos en la Ref. [10] o en acuerdos internacionales.

## 6. LLEVANZA DE REGISTROS Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

### LLEVANZA DE REGISTROS

6.1. El explotador de una instalación debería establecer un procedimiento de llevanza y mantenimiento de la documentación y los registros adecuados de conformidad con el programa de garantía de calidad. En la Ref. [25], Guía de seguridad Q3, se formulan recomendaciones sobre control y registro de documentos. El alcance y el nivel de detalle de los registros dependerán del riesgo y/o la complejidad de la operación propuesta y deberían ser aprobados por el órgano regulador.

6.2. Los registros tendrán diferentes períodos de utilidad. Los requisitos imponen que los registros relativos a la instalación de gestión de desechos, los desechos mismos y el cumplimiento de los criterios de aceptación para la disposición final de los desechos se conserven durante el período que requiera el órgano regulador (Ref. [3], párrs. 3.9 y 3.12). Esos registros deberían contener:

- a) Los datos necesarios para levantar un inventario nacional de desechos;
- b) Los datos necesarios para la clasificación de los desechos;
- c) Los registros de los procesos de control del tratamiento, el embalaje y el acondicionamiento;

- d) Los documentos comprobantes de la adquisición de los contenedores necesarios para confinar los desechos durante determinado período (por ejemplo, en un repositorio);
- e) Las especificaciones de los bultos de desechos y los registros de auditoría de los distintos contenedores y bultos;
- f) Las pautas del comportamiento en explotación;
- g) Los incumplimientos de las especificaciones de los bultos de desechos y las medidas adoptadas para corregirlos;
- h) Los registros de la vigilancia;
- i) Los resultados de las evaluaciones de la seguridad;
- j) Las instrucciones de funcionamiento por escrito;
- k) Todos los demás datos que exija el órgano regulador.

6.3. El registro de la clasificación de los desechos debería contener la información siguiente acerca de los desechos:

- a) La fuente o el origen;
- b) La forma física y química;
- c) La cantidad (volumen y/o masa);
- d) Las características radiológicas (la concentración de la actividad, la actividad total, los radionucleidos existentes en los desechos y sus proporciones relativas);
- e) La clasificación atendiendo al sistema nacional de clasificación de los desechos;
- f) Los riesgos químicos, patógenos u otros que los desechos presenten y las concentraciones de materiales que encierren riesgos;
- g) Cualquier manipulación especial que sea necesaria por preocupaciones acerca de la criticidad, la necesidad de eliminar el calor de desintegración o campos de radiación notablemente elevada.

## PRESENTACIÓN DE INFORMES

6.4. El explotador de la instalación tendría que presentar periódicamente informes sobre la observancia de las condiciones de autorización al órgano regulador, ateniéndose a los plazos establecidos. Los informes ordinarios periódicos tendrían que proporcionar información sobre las actividades de gestión de desechos realizadas durante el período a que se refiera cada informe y la situación en el momento en que se informe. En general, el informe debería incluir una descripción resumida de:

- a) Los HLW líquidos o el combustible gastado recibidos, ya sean de origen externo o generados dentro de la propia instalación, comprendidos los desechos secundarios del procesamiento de los desechos primarios y los desechos del mantenimiento o la clausura de cualesquiera estructuras, sistemas o componentes de la instalación;
- b) El procesamiento de los desechos, así como los pormenores de los procesos empleados;
- c) Los desechos que hubiere liberado el traslado;
- d) Las descargas de efluentes;
- e) Los materiales y sustancias a los que se suprime el control reglamentario;
- f) El inventario, y las modificaciones netas a lo largo de varios años del inventario de los HLW líquidos y el combustible gastado recibidos, procesados, almacenados y trasladados a la instalación, así como las tendencias del comportamiento en materia de seguridad;
- g) Las estimaciones de las consecuencias de la instalación en cuanto a exposición de los trabajadores y del público a la radiación;
- h) Los incumplimientos de los criterios de aceptación de los desechos o de otros requisitos.

6.5. El explotador de una instalación debería comunicar con prontitud al órgano regulador cualquier incidente o accidente o el descubrimiento de cualquier información que ponga en tela de juicio algún aspecto de la seguridad de la instalación o el fundamento de su autorización. Los incumplimientos de los criterios de aceptación de los desechos y las medidas adoptadas o propuestas para corregir la situación también deberían comunicarse al órgano regulador.

## **7. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA**

7.1. Es obligatorio preparar evaluaciones de la seguridad tecnológica de las instalaciones y actividades de la gestión previa a la disposición final de HLW, comprendidas las actividades de clausura, para demostrar que la base de la seguridad tecnológica es la adecuada y suficiente y, más concretamente, que esas instalaciones y actividades cumplirán los requisitos de seguridad que haya establecido el órgano regulador (Ref. [3], párr. 5.3). La evaluación de la seguridad tecnológica también debería demostrar que los bultos de HLW confinarán suficientemente los desechos en las operaciones normales y en los incidentes y accidentes postulados.

7.2. Se tiene que efectuar una evaluación de la seguridad tecnológica antes de construir y explotar una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW para demostrar que la instalación proporcionará márgenes de seguridad adecuados a los trabajadores y al público en las operaciones normales y en los incidentes y accidentes postulados (Ref. [3], párr. 5.3). Si lo impusiera la legislación nacional, debería efectuarse una evaluación del impacto ambiental para demostrar que el impacto ambiental previsto de la construcción, la explotación y la clausura de la instalación cumple las normas establecidas por la autoridad nacional competente. Puede que sea menester volver a evaluar los impactos previstos de la clausura una vez que se haya adquirido experiencia operacional y para efectuar una evaluación de la seguridad tecnológica.

7.3. En la Ref. [2]. Se establecen los requisitos atinentes al órgano regulador con respecto al examen y la aprobación de las evaluaciones de la seguridad tecnológica preparadas por el explotador para las instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW. En la Ref. [9] figura información sobre las evaluaciones de la seguridad tecnológica de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado no acondicionado. Están en curso de elaboración recomendaciones sobre el contenido de las evaluaciones de la seguridad tecnológica de las instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW.

7.4. En la evaluación de la seguridad tecnológica de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW se deberían abordar, como mínimo, los temas siguientes:

- a) La especificación de los criterios de seguridad pertinentes;
- b) Los métodos para identificar, recolectar y evaluar datos e información;
- c) La especificación de las condiciones de funcionamiento normales y anormales;
- d) La determinación de las posibles consecuencias de las operaciones normales y los sucesos anormales;
- e) Una evaluación de las posibles consecuencias de las operaciones normales y los sucesos anormales sobre la base de los criterios de seguridad.

7.5. Ante los riesgos específicos que encierran los HLW, habría que obtener y analizar como mínimo los datos y la información siguientes para efectuar una evaluación de la seguridad tecnológica de una instalación de gestión previa a la disposición final de HLW:

- a) Datos detallados sobre el diseño de la instalación, con inclusión de una descripción de la planta, el equipo y las actividades que guarden relación con la manipulación de los HLW, y los sistemas de seguridad tecnológica pasivos y activos (por ejemplo, los medios para impedir reacciones químicas imprevistas o criticidad, o para evitar condiciones que pudieran causar explosiones o incendios);
- b) Datos sobre las propiedades físicas y químicas de los HLW, como los volúmenes, inventarios de los radionucleidos y componentes no radiactivos, en todas las fases del procesamiento;
- c) Las posibles variaciones en la composición de los HLW;
- d) Datos sobre el emplazamiento escogido que son necesarios para evaluar los posibles impactos de factores ambientales que habría que abordar con vistas al diseño y la explotación de la instalación;
- e) Datos sobre los rangos o límites de funcionamiento necesarios para establecer los límites de seguridad tecnológica y las condiciones de funcionamiento.

7.6. Se puede considerar que las condiciones y situaciones, los procesos y los sucesos que influyen en la integridad y la seguridad tecnológica de una instalación se originan o bien fuera, o bien de dentro de la instalación. Los que se originen fuera de la instalación dependerán mucho del emplazamiento y habría que identificarlos atendiendo a las características propias de cada sitio. En los Anexos II y III se proporcionan recordatorios para ayudar a identificarlos.

7.7. Los problemas de seguridad que se originen dentro de la instalación dependerán en enorme medida de la índole de la instalación y de los procesos y actividades que tengan lugar en ella y, por ende, habría que identificarlos con respecto a la instalación de que se trate. En el Anexo IV se proporciona un recordatorio para ayudar a identificarlos.

7.8. El proceso que se debería utilizar para determinar las condiciones de funcionamiento normales y anormales, comprendidos los posibles accidentes, tendría que ser convenido con el órgano regulador. Se debería obtener información sobre las cuestiones siguientes, que influyen en la seguridad tecnológica de las instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW:

- a) la índole y la gravedad de las exposiciones de los trabajadores y de las consecuencias radiológicas en el medio ambiente (por ejemplo, debido a las descargas durante el procesamiento de los desechos, la labor de mantenimiento y las actividades de clausura);
- b) los elementos de seguridad tecnológica institucionales (por ejemplo, los objetivos del explotador en materia de

seguridad tecnológica, salud humana y medio ambiente, y la organización de la seguridad tecnológica del explotador); y c) el programa de garantía de calidad del explotador.

7.9. La evaluación de la seguridad tecnológica de las condiciones de funcionamiento debería abarcar los incidentes operacionales previstos y las condiciones de accidente. Los posibles incidentes operacionales anormales que son importantes en el caso de las instalaciones de procesamiento de HLW son la recepción de desechos que contengan radionucleidos, o con concentraciones de ellos, distintos de los esperados, la alteración de las configuraciones de la planta en condiciones de mantenimiento o paralización y las condiciones de temperatura elevada típicas de los procesos de acondicionamiento para el reprocesamiento de HLW.

## **8. GARANTÍA DE CALIDAD**

8.1. Es preciso que el explotador de la instalación de que se trate establezca y ejecute un programa de garantía de calidad de la gestión previa a la disposición final de los HLW, de conformidad con los requisitos y recomendaciones sobre la garantía de calidad recogidos en la Ref. [25] y atendiendo a lo que exija el órgano regulador (Ref. [3], párr. 3.12). Dicho programa tiene por finalidad garantizar que:

- a) Las instalaciones y el equipo de gestión previa a la disposición final de los HLW han sido diseñados, construidos, puestos en servicio, explotados y clausurados de conformidad con las especificaciones y los requisitos apropiados de una explotación segura;
- b) Las fases de la gestión previa a la disposición final de los HLW, desde su generación hasta su acondicionamiento, facilitan el cumplimiento de los requisitos de aceptación conocidos o previstos para el almacenamiento y la disposición final de los desechos;
- c) Se observan los reglamentos y las condiciones de autorización.

8.2. El programa de garantía de calidad debería abordar los elementos de la gestión, comprendidas las actividades de planificación y establecimiento de previsiones y plazos e incluido el empleo de los recursos. Esos elementos deberían estar documentados en el plan (o descripción) del programa de garantía de calidad y habría que registrar los resultados de las actividades. En el

plan se debería especificar claramente las responsabilidades y facultades del personal y las organizaciones que intervengan. El plan debería ser presentado al órgano regulador para su aprobación.

8.3. Los sistemas y los componentes relacionados con la seguridad tecnológica deberían gestionarse atendiendo a la importancia que tengan para la explotación segura de las instalaciones de gestión previa a la disposición final de HLW. La amplitud de la garantía de calidad aplicada al diseño, la fabricación, la construcción y el funcionamiento de esos componentes y sistemas debería guardar relación con su importancia para la seguridad tecnológica.

8.4. Habría que asegurar que los bultos de desechos se preparen con arreglo a los requisitos para la aceptación de los desechos en una instalación de almacenamiento o para su disposición final. Se deberían evitar las faltas de conformidad de los bultos de desechos, especialmente con respecto a las actividades que pudiesen dar lugar a una falta de conformidad irreversible de no ejecutarse correctamente. Esto se puede lograr mediante un programa de garantía de calidad, comprendidos los procedimientos de aplicación, de las siguientes actividades:

- a) La clasificación de los HLW;
- b) La elaboración de las especificaciones de los bultos de HLW;
- c) La aprobación del proceso de acondicionamiento de los HLW;
- d) La confirmación de las características de los bultos de HLW;
- e) El examen de los registros del control de la calidad.

8.5. En cuanto a los HLW procedentes del reprocesamiento de combustible gastado, se debería seguir un programa de clasificación para evaluar la idoneidad de los HLW pretratados y/o tratados para el proceso de acondicionamiento elegido, así como para optimizar la composición de los desechos solidificados (es decir, el cuerpo de desechos). Habría que establecer una composición de referencia del cuerpo de desechos (con los apropiados niveles de tolerancia), comprendidas las características que habría que verificar. Se deberían evaluar las propuestas de desviaciones de esa composición de referencia o del programa de clasificación para determinar su posible efecto en la calidad de los bultos de desechos. Se tendría que evaluar las posibles desviaciones y, si no menoscaban la seguridad tecnológica del bulto de desechos y su aceptación en la instalación de almacenamiento o disposición final, puede ser apropiado aceptar el bulto de desechos.



8.6. Las especificaciones de un bulto de HLW deberían concretar los requisitos de aceptación de los desechos con miras a su manipulación, transporte, almacenamiento y, en la medida de lo posible, disposición final. El explotador debería elaborar un proceso de acondicionamiento que dé lugar a la producción de bultos de desechos dentro de las especificaciones y una parte de ese proceso tendría que ser determinar qué parámetros habría que controlar y qué valores son esenciales para asegurar la producción de bultos de desechos de conformidad con las especificaciones.

8.7. Las especificaciones de los HLW deberían comprender:

- a) Con respecto a los HLW líquidos: las características y propiedades de los desechos tratados antes del acondicionamiento; y las características, las propiedades y los valores que limitan los parámetros de los desechos acondicionados (es decir, el cuerpo de desechos y cualquier cápsula y/o contenedor).
- b) En cuanto al combustible gastado: las características, propiedades y valores que limitan los parámetros del combustible gastado que se reciba y el combustible gastado acondicionado (es decir, el combustible gastado en una forma apropiada y cualquier cápsula y/o contenedor conexos).

8.8. Habría que establecer y llevar registros de calidad de cada bulto de HLW acondicionado, registros que se deberían cotejar con las especificaciones para determinar la aceptabilidad del bulto de desechos. Se debería elaborar un registro de los resultados del examen y conservarlo durante un período especificado que apruebe el órgano regulador. Si un bulto de desechos no cumpliera las especificaciones o los requisitos de aceptación de los desechos, habría que registrar la índole de la falta de conformidad y las decisiones adoptadas para aplicar las apropiadas medidas correctivas. El explotador debería elaborar un plan de solución de las faltas de conformidad antes de que se inicien las operaciones de acondicionamiento de los HLW.

8.9. Puede que no sea factible o aconsejable muestrear HLW procedentes del reprocesamiento de combustible gastado durante su procesamiento y almacenamiento. Ahora bien, los registros generados en todas las fases de la gestión previa a la disposición final de los desechos pueden ser importantes para demostrar que los bultos de desechos cumplen las especificaciones. Esos registros deberían asegurar la trazabilidad de las características de los desechos desde su recolección hasta su almacenamiento, pasando por su procesamiento. Se debería establecer un sistema de documentación que comprendiese la

creación de esos registros. Estos son ejemplos del contenido de esos registros del control de calidad de los bultos de desechos:

- a) Los datos de la clasificación de los desechos generados;
- b) Los valores de los parámetros de los procesos esenciales para los HLW durante su tratamiento previo, tratamiento y acondicionamiento;
- c) Los registros de la calibración del equipo y los sistemas de control de los procesos;
- d) La clasificación del cuerpo de desechos y el correspondiente contenedor (por ejemplo, certificados de los materiales del contenedor y su tapa y soldaduras o precintos, comprendidas las pruebas de control de calidad y sus registros);
- e) Los valores de los parámetros de vigilancia importantes;
- f) La identificación de las ubicaciones de los bultos de desechos y de almacenamiento.

Estos datos pueden corresponder a determinados bultos de desechos o a todos los bultos de desechos de una tanda de procesos uniformes.

8.10. Si no hay una instalación de tratamiento o acondicionamiento, puede ser necesario almacenar los HLW durante largos períodos. También puede necesitarse un largo período de almacenamiento antes de la disposición final si no se cuenta con una instalación de disposición final de HLW o si se ha dejado tiempo para que disminuya la potencia térmica. En tales casos, se debería diseñar el programa de garantía de calidad para asegurar el sostenimiento de la calidad y la integridad de los productos de desechos y que los registros, así como el marcado y el etiquetado, de los bultos de desechos sean de calidad suficiente para identificar, mantener y preservar esa información.

8.11. Habría que elaborar un programa de auditoría que comprendiese disposiciones en materia de autoevaluaciones y evaluaciones independientes (auditorías). Habría que realizar esas evaluaciones para determinar si el programa y los planes de gestión previa a la disposición final de los HLW cumplen los requisitos aplicables y confirmar que determinadas actividades están abarcadas por los procedimientos y que el programa se ejecuta correctamente. Habría que efectuar auditorías de los procesos para verificar si los procesos de gestión de los desechos se llevan a cabo dentro de los parámetros especificados, de conformidad con los procedimientos de la explotación segura y con los requisitos establecidos por el órgano regulador en una licencia o una autorización de otro tipo.

8.12. Las auditorías del proceso deberían centrarse en:

- a) Asegurarse de que no se han cambiado variables importantes de los procesos desfavorablemente con respecto a los valores establecidos cuando se efectuó la evaluación original de la seguridad tecnológica;
- b) Asegurarse de que se realizan las inspecciones y mediciones obligatorias y de que se conservan los registros;
- c) Verificar si durante el traslado y el almacenamiento de los desechos se mantiene la trazabilidad de éstos;
- d) Asegurarse de que la instrumentación utilizada para vigilar o controlar el procesamiento de los desechos no se haya degradado con el uso, ni haya sido modificada sin aprobación, y de que se efectúa una recalibración de los instrumentos a intervalos apropiados según las especificaciones u otros requisitos aplicables;
- e) Asegurarse de que los valores de todos los parámetros importantes de los bultos de desechos se mantienen dentro de los límites establecidos;
- f) Asegurarse de que la instalación se explota conforme a los supuestos de la evaluación de la seguridad tecnológica;
- g) Asegurarse de que sólo se utilizan contenedores apropiados que hayan sido sometidos a prueba para verificar su adecuación a la finalidad, y dentro de las especificaciones originales de los parámetros de las pruebas, conforme a lo que exijan los reglamentos aplicables o recomienden las pertinentes orientaciones;
- h) Asegurarse de que hay un programa satisfactorio de formación del personal para mantenerle informado de los requisitos de seguridad y el control de los procesos.

8.13. Las auditorías de los productos comprenden el examen del cuerpo de desechos, el contenedor de los desechos o el bulto de desechos, normalmente con métodos no destructivos. Deberían realizarse cuando la organización auditora lo considerase necesario. El explotador de la instalación de disposición final puede efectuar otras auditorías para evaluar el cumplimiento de los requisitos en materia de disposición final.

8.14. Habría que realizar, según procediera, actividades de investigación y desarrollo con miras a la gestión previa a la disposición final de los HLW para proporcionar toda confirmación que se precise de las propiedades y características importantes para la seguridad.



## **Apéndice**

### **PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS HLW**

En el cuadro I se recogen las propiedades y características fundamentales de los HLW con respecto al combustible no acondicionado, el combustible acondicionado y los HLW líquidos y los HLW acondicionados procedentes del reprocesamiento de combustible gastado.

CUADRO I. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS HLW

Propiedades y características	Combustible no acondicionado	Combustible acondicionado	HLW líquidos de reprocesamiento	HLW acondicionados de reprocesamiento
<i>Datos del combustible:</i> Tipo, historial de potencia, contenido fisible inicial, período de quemado y de enfriamiento	✓	✓	Por interpolar de los datos tomados por muestreo	Por interpolar de los datos tomados por muestreo
<i>Actividad:</i> Actividad beta-gamma y alfa por radionucleido para los principales contribuyentes a la actividad	✓	✓	✓	✓
<i>Seguridad tecnológica con respecto a la criticidad:</i> Configuración geométrica, concentración e inventario de materiales fisibles (por ejemplo, <sup>233</sup> U, <sup>235</sup> U, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Pu), presencia de venenos neutrónicos y demostración de no criticidad	✓	✓	✓	✓
<i>Tasa de dosis:</i> Tasa de dosis neutrónica y gamma en la superficie y a una distancia de 1 m	✓	✓	✓	✓
<i>Superficie de contaminación:</i> Niveles de contaminación beta-gamma y alfa		✓		✓
<i>Propiedades térmicas:</i> Potencia térmica, conductividad térmica y temperaturas máximas pronosticadas de los HLW (con y sin refrigeración por sistemas mecánicos)	✓	✓	✓	✓
<i>Propiedades químicas:</i> pH, principales especies y compuestos químicos, sustancias tóxicas y compuestos corrosivos	✓		✓	
-----				

CUADRO I. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS HLW (cont.)

Propiedades y características	Combustible no acondicionado	Combustible acondicionado	HLW líquidos de reprocesamiento	HLW acondicionados de reprocesamiento
<i>Propiedades físicas: Viscosidad y densidad</i>	Densidad únicamente		✓	Viscosidad durante la fundición del vidrio
<i>Masa de los desechos y/o bulto de desechos: Masa total (masa del cuerpo de desechos y la cápsula, si procede)</i>	✓	✓	✓	✓
<i>Calidad de la cápsula/el contenedor: Especificación de los materiales, peso de la tara, dimensiones, resistencia a la corrosión, calidad de la soldadura del sello, certificaciones de los materiales por el fabricante; registros de garantía de calidad del proceso de acondicionamiento; compatibilidad con el cuerpo de desechos</i>		✓		✓
<i>Posibilidad de apilación y manipulación: Número de bultos apilables sin deformación, resultados de las pruebas de caída de los bultos y requisitos para el izamiento de los bultos (por ejemplo, elementos de izamiento)</i>		✓		✓
<i>Etiquetado de los bultos: Identificación permanente única</i>		✓		✓
<i>Calidad de los materiales de las matrices: Registros de certificación y garantía de calidad de los materiales de las matrices</i>		✓	Posible respecto de cuerpos de desechos intermedios (p. ej., calcina)	✓
-----				

CUADRO I. PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS HLW (cont.)

Propiedades y características	Combustible no acondicionado	Combustible acondicionado	HLW líquidos de reprocesamiento	HLW acondicionados de reprocesamiento
<i>Fracciones de masa del cuerpo de desechos:</i> Fracciones de desechos, materiales de fijación y aditivos (que estarán dentro de límites especificados)		✓		✓
<i>Estabilidad del bulto de HLW:</i> comportamiento respecto de la corrosión y/o la lixiviación en atmósferas o soluciones acuosas pertinentes, datos sobre la corrosión a largo plazo y extrapolación de datos, influencia del área de la superficie y solubilidad de los radionucleidos en las pertinentes soluciones acuosas	✓	✓		✓
<i>Homogeneidad del cuerpo de desechos:</i> Homogeneidad alcanzable razonablemente y distribución de los radionucleidos				✓



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios para la gestión de desechos radiactivos, Colección Seguridad N° 111-F, OIEA, Viena (1996).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte, Colección de Normas de Seguridad N° GS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, incluida la clausura, Colección de Normas de Seguridad N° WS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Instalaciones, Colección de Normas de Seguridad N° WS-G-2.4, OIEA, Viena (2001).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Colección de Normas de Seguridad N° WS-G-2.1, OIEA, Viena (1999).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Instalaciones, Colección de Normas de Seguridad N° WS-G-2.2, OIEA, Viena (1999).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Design of Spent Fuel Storage Instalaciones, Colección Seguridad N° 116, OIEA, Viena (1995).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Operation of Spent Fuel Storage Instalaciones, Colección Seguridad N° 117, OIEA, Viena (1995).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Safety Assessment for Spent Fuel Storage Instalaciones, Colección Seguridad N° 118, OIEA, Viena (1995).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos (Edición de 1996 (Revisada)), Colección de Normas de Seguridad N° TS-R-1 (ST-1, revisada), OIEA, Viena (2002).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual Explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad N° TS-G-1.1 (ST-2), OIEA, Viena (2008).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos de actividad baja e intermedia, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.5, OIEA, Viena (2009).

- [13] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control reglamentario de las descargas radiactivas al medio ambiente, Colección de Normas de Seguridad N° WS-G-2.3, OIEA, Viena (2007).
- [15] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, Cultura de la Seguridad, Colección Seguridad N° 75-INSAG-4, OIEA, Viena (1991).
- [16] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Review and Assessment of Nuclear Instalaciones by the Regulatory Body, Colección de Normas de Seguridad N° GS-G-1.2, OIEA, Viena (2002).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Documentación empleada en la regulación de las instalaciones nucleares, Colección de Normas de Seguridad N° GS-G-1.4, OIEA, Viena (2008).
- [18] Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, INFCIRC/546, OIEA, Viena (1998).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sistema de salvaguardias del Organismo (1965, ampliado provisionalmente en 1966 y 1968), INFCIRC/66/Rev.2, OIEA, Viena (1968).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Estructura y contenido de los acuerdos entre los Estados y el Organismo requeridos en relación con el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares, INFCIRC/153, OIEA, Viena (1971).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Modelo de protocolo adicional a los acuerdos entre Estados y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias, INFCIRC/540 (Corrected), OIEA, Viena (1997).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Protección física de los materiales y las instalaciones nucleares, INFCIRC/225/ Rev.4, OIEA, Viena (1999).

- [23] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [24] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, La defensa en profundidad en seguridad nuclear, INSAG-10, OIEA, Viena (1997).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations: Code and Safety Guides Q1-Q14, Colección Seguridad N° 50-C/SG-Q, OIEA, Viena (2001).



## **Anexo I**

### **MEDIDAS PRÁCTICAS ESCALONADAS EN LA GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE HLW**

#### **ANTECEDENTES**

I-1. Los HLW se clasifican por referencia a sus concentraciones de radionucleidos, potencia térmica y contenido de desechos de período largo. Los HLW tienen origen en el combustible gastado de los reactores nucleares. Hay dos alternativas principales para gestionar el combustible gastado: a) el reprocesamiento y b) la disposición final directa. El aplazamiento de una decisión definitiva sobre qué alternativa seguir requiere almacenar el combustible gastado mientras se estudian las alternativas.

I-2. En cualquier Estado, será complejo adoptar una decisión sobre qué opción en materia de gestión del combustible gastado adoptar y habrá muchos imperativos y limitaciones que influirán en el resultado final. El almacenamiento es la primera medida en todas las alternativas en materia de gestión del combustible gastado, y, respecto de todos los enfoques técnicos, la última medida es la disposición final.

I-3. En el reprocesamiento, el combustible gastado se disuelve en una solución ácida y se elimina el plutonio y el uranio de la solución en una planta de separación química. Los HLW de reprocesamiento son la solución restante producida en el primer ciclo de extracción con disolventes, que contiene la mayoría de los productos de la fisión, trazas de plutonio y uranio, otros actínidos presentes originalmente en el combustible y diversos productos de activación y de corrosión (en función del combustible de que se trate y de las operaciones de reprocesamiento llevadas a cabo).

I-4. Si se declara desecho el combustible gastado, será HLW solidificado, pero además comprenderá algunos productos de fisión volátiles en las varillas de combustible. La actividad específica del combustible gastado es muy alta. La actividad específica y el contenido de actínidos dependerán de las propiedades del combustible no irradiado, el período de quemado y el de enfriamiento. La vaina y los materiales estructurales del combustible gastado también se pueden gestionar con el combustible gastado como HLW.

## HLW LÍQUIDOS

I-5. El método utilizado más corrientemente para reprocesar el combustible gastado es disolver el combustible en una solución ácida y separar el plutonio y el uranio de esa solución. Los desechos restantes, que contendrán casi todos los productos de fisión y actínidos salvo uranio y plutonio, se recogen en cisternas, en las que se llevan a cabo la reducción del volumen y la concentración y la toma de muestras. En esta fase tiene gran importancia que se opere en condiciones de seguridad, por la alta actividad y la tasa de desintegración térmica de los desechos y la posibilidad de criticidad. Mientras todavía se encuentran en la planta de reprocesamiento, los HLW líquidos son pretratados antes de su traslado a cisternas de almacenamiento más grandes. Esos tratamientos previos comprenden la eliminación de los solventes orgánicos (normalmente, fosfato de tributilo), que es necesaria para impedir que se formen compuestos explosivos que darían lugar a un riesgo con respecto a la seguridad tecnológica. En esta fase también se emplean aditivos químicos para disminuir la probabilidad de una explosión. Además, se puede eliminar determinadas especies (por ejemplo, mercurio y tecnecio) a fin de mejorar la calidad de la matriz de los desechos acondicionados.

I-6. Los HLW pueden ser tratados más y mezclados en las principales cisternas de almacenamiento. Ese tratamiento comprende el posible añadido de corrientes de desechos líquidos ácidos procedentes de otros lugares del ciclo del reprocesamiento y una ulterior reducción del volumen mediante evaporación. Esa concentración resulta limitada por el rendimiento térmico de los HLW, que a su vez depende del período de quemado y de enfriamiento del combustible del que se derivaron.

I-7. Durante el almacenamiento, los HLW líquidos son enfriados y pueden ser agitados (para mantener los sólidos en suspensión), impidiéndose de ese modo que se acumulen materiales fisibles y reduciendo las variaciones de la composición dentro de las cisternas. El agitado promueve además la emisión de los gases retenidos, con lo cual se evita que se acumulen mezclas de gases explosivos si también se proporciona ventilación.

I-8. Luego se acondicionan los desechos; se han ideado varios cuerpos de desechos (por ejemplo, cristales, vitrocerámica, cerámica cristalina ("synroc", roca sintética) y supercalcina y cerámica adaptada a casos concretos). Se han desarrollado estos procesos en diferentes niveles; la producción de vidrio con 5% de óxido se realiza a escala industrial en varios Estados.

I-9. La vitrificación de las formas de HLW líquidos puede entrañar la desnitrificación de la solución y el secado, la calcinación y la vitrificación de los desechos. La vitrificación es un proceso que se realiza a alta temperatura (más de 1 000°C) y requiere procedimientos especiales para que no se produzcan incidentes. Son necesarias altas presiones para las matrices cerámicas, las cuales, para su seguridad tecnológica, precisan de consideraciones y disposiciones especiales.

I-10. Los desechos solidificados se embalan ya sea fundiendo vidrio o embalándolos en cerámica. Luego se deja que el bulto se enfríe naturalmente, normalmente unas 24 horas, antes de cerrar la cápsula. Para reducir el agrietamiento de la matriz, es importante evitar que en esta fase se produzca un choque térmico excesivo. Además, en cuanto al vidrio, también es importante no dejar que la matriz se enfríe demasiado lentamente, porque podría estimular el crecimiento de cristales, que podría disminuir la durabilidad de la matriz en entornos de repositorios en los que pueda haber aguas freáticas.

I-11. Luego se sella la cápsula, normalmente soldándola. Como el proceso de soldadura se lleva a cabo en un campo de alta radiación, es imposible efectuar una inspección de la integridad de la soldadura con métodos clásicos (como radiografías o el método de la penetración de un colorante). Así pues, para asegurar que el sellado sea de elevada calidad, se han ideado procesos de soldadura que tienen un alto grado de automatización, lo cual inspira confianza en que los radionucleidos que puedan escaparse de la superficie de la matriz (el efecto de retroceso) serán contenidos dentro de la cápsula.

I-12. Una vez cerrado, se inspecciona el bulto para determinar si hay contaminación superficial suelta (que normalmente se mantiene por debajo de los niveles de transporte de los cofres), se monitoriza su tasa de dosis (puede ser necesario comprobar las radiaciones gamma y neutrónica, dependiendo del contenido de actínidos fisibles de los desechos) y se inspecciona visualmente si la superficie presenta algún defecto. De ser necesario, se descontamina la cápsula hasta los niveles de contaminación que sean aceptables para su transporte. Los bultos se trasladan luego a una instalación de almacenamiento provisional antes de su transporte a un repositorio en cofres blindados similares en diseño e integridad a los que se utilizan para transportar combustible gastado.

I-13. Los HLW de reprocesamiento acondicionados se almacenan normalmente en almacenes de tipo cámara o que contienen cofres exentos. En ambos casos, es importante mantener condiciones de temperatura estables en

la instalación de almacenamiento y los desechos. En la mayoría de los casos, se aplican sistemas de refrigeración natural de gran integridad. Los sistemas de refrigeración forzada deben llevar incorporado a su diseño un elevado grado de redundancia.

## COMBUSTIBLE GASTADO

I-14. La opción de la disposición final directa del combustible gastado en una instalación de disposición final es una alternativa al reprocesamiento del combustible gastado y la disposición final de los HLW residuales. Antes de poder evaluar correctamente esta opción, es necesario saber cómo se comporta ese combustible de cuerpo de desechos en una instalación de disposición final.

I-15. El procesamiento del combustible gastado puede suponer los tres enfoques siguientes: a) las varillas de combustible no están alteradas (es decir, los conjuntos combustibles no han sido modificados o están desmontados en varillas de combustible); b) las varillas de combustible están trabajadas mecánicamente (por ejemplo, por desgaseado o corte); o c) las varillas de combustible están alteradas mecánica y químicamente (por ejemplo, por la vitrificación del combustible después de la disolución). Si las varillas de combustible no están alteradas, el proceso de preparar el combustible gastado para acondicionarlo, en una forma consolidada, consta normalmente de los pasos siguientes: retirar las piezas de extremidad; retirar las varillas de combustible de los componentes que no llevan combustible; cargar las varillas de combustible en una cápsula para traslados de la forma requerida; tratar los componentes que no llevan combustible y cargarlos en un contenedor de disposición final. El proceso de consolidación de las varillas puede tener lugar en húmedo (piscina de almacenamiento) y en seco (celda caliente). El corte de las varillas de combustible es un procedimiento habitual para las varillas de combustible trabajadas mecánicamente. La minimización de las emisiones gaseosas es un factor primordial del diseño de una instalación.

I-16. El paso siguiente es embalar el combustible gastado, y puede consistir en: a) cargar el combustible gastado, de conformidad con procedimientos que dependerán del historial del combustible y del porcentaje de conjuntos combustibles que estén intactos, cargar conjuntos combustibles consolidados o cargar varillas cortadas o no cortadas; b) el cierre final y/o el sellado de los bultos de desechos; y c) medidas de protección contra la corrosión. Si el contenedor solo no está diseñado para soportar las cargas mecánicas previstas en una instalación de disposición final, se puede rellenar el



espacio vacío interno del contenedor con un material apropiado para proporcionar apoyo interno, por ejemplo, cobre obtenido mediante prensadura isostática en caliente.

I-17. En función del proceso que se escoja para el embalaje, surgirán cantidades diferentes de desechos secundarios, que habrá que tratar y someter a disposición final. Los desechos sólidos que forman parte del elemento combustible desmontado pueden ser acondicionados junto con el combustible gastado.

I-18. El bulto de desechos consiste en el combustible gastado consolidado y/o no consolidado, los componentes que no llevan combustible (si existen), el contenedor y los elementos estructurales internos para la colocación de los desechos y para la transferencia del calor a la superficie del contenedor. En algunos casos, se puede incluir un absorbente de neutrones para impedir la criticidad.

I-19. Se está estudiando el empleo de contenedores polivalentes (esto es, contenedores que se pueden utilizar para el transporte, almacenamiento y disposición final). Se ha pensado en varios metales y sus aleaciones, comprendidos materiales con sobreespesor para tener en cuenta la corrosión (por ejemplo, hierro y acero inoxidable) y materiales resistentes a la corrosión (por ejemplo, níquel y aleaciones a base de níquel, cobre y aleaciones de cobre, y titanio). En la selección de los materiales y los conceptos que se aplicarán influirán considerablemente la formación geológica, los entornos geoquímicos y las temperaturas y presiones reinantes, que regirán los distintos mecanismos de corrosión. Habrá que efectuar pruebas de larga duración para investigar determinados fenómenos, como la corrosión localizada, la corrosión por tensiones y la fragilización por el hidrógeno, que sólo tienen comienzo después de largos períodos de colocación.

I-20. Las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado acondicionado son similares a las de HLW acondicionados procedentes del reprocesamiento de combustible gastado. Una diferencia fundamental es la preocupación por la criticidad, que es más pertinente respecto del combustible gastado que de los HLW solidificados.

## **Anexo II**

### **CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO, PROCESOS Y SUCESOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS NATURALES EXTERNOS)**

Quando se utilice esta lista se habrá de tener presente que los sucesos iniciadores recogidos en ella no serán forzosamente aplicables a todas las instalaciones ni a todos los emplazamientos. La lista tiene carácter de recordatorio.

- 1) La meteorología y la climatología del emplazamiento y de la región:
  - i) Precipitaciones (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia, duración e intensidad):
    - lluvia, granizo, nieve y hielo;
    - el manto de nieve y el manto de hielo (comprendido su potencial para bloquear entradas o salidas);
    - sequía.
  - ii) Viento (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia, duración e intensidad):
    - tornados, huracanes y ciclones.
  - iii) Tasa y duración de la entrada de irradiación solar directa (insolación, promedios y extremos).
  - iv) Temperatura (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia y la duración):
    - el permafrost y la congelación y el deshielo cíclicos del suelo.
  - v) Presión barométrica (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia y la duración).
  - vi) Humedad (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia y la duración):
    - niebla y escarcha.
  - vii) Rayos (frecuencia e intensidad).
- 2) La hidrología y la hidrogeología del emplazamiento y de la región:
  - i) Escorrentía superficial (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia, la duración y la intensidad):
    - inundaciones (frecuencia, duración e intensidad);
    - erosión (tasa).
  - ii) Las condiciones de las aguas freáticas (promedios y extremos, comprendidas la frecuencia y la duración).

- iii) Acción de las olas (promedios y extremos, comprendidas su frecuencia, duración e intensidad):
    - mareas altas, olas ciclónicas y tsunamis;
    - inundaciones (frecuencia, duración e intensidad);
    - erosión de la orilla (tasa).
- 3) La geología del emplazamiento y de la región:
  - i) Litología y estratigrafía:
    - las características geotécnicas de los materiales del emplazamiento.
  - ii) Sismicidad:
    - fallas y zonas de debilidad;
    - terremotos (frecuencia e intensidad).
  - iii) Vulcanología:
    - escombros y cenizas de origen volcánico.
  - iv) Extracción de minerales y explotación de canteras en otras épocas:
    - asiento de las tierras (hundimiento).
- 4) La geomorfología y la topografía de emplazamiento:
  - i) Estabilidad de los materiales naturales:
    - derrumbes de taludes y pendientes, corrimientos de tierras y hundimientos;
    - avalanchas.
  - ii) Erosión superficial.
  - iii) Los efectos del terreno (topografía) sobre las condiciones atmosféricas o en las consecuencias de las temperaturas extremas.
- 5) La flora y la fauna terrestres y acuáticas del emplazamiento (sus efectos sobre la instalación):
  - i) Vegetación (terrestre y acuática):
    - el bloqueo de las entradas y salidas;
    - daños causados a las estructuras.
  - ii) Roedores, aves y otros animales silvestres.
  - iii) daños directos causados por las excavaciones, los mordiscos, etc.;
    - acumulación de escombros de anidación, guano, etc.
- 6) Las posibilidades de:
  - i) Incendios y explosiones de origen natural en el emplazamiento.
  - ii) Gas metano o gas tóxico natural (de médanos o emplazamientos de vertederos).
  - iii) Tormentas de polvo o de arena (comprendido el posible bloqueo de entradas y salidas).

### **Anexo III**

#### **CONDICIONES DEL EMPLAZAMIENTO, PROCESOS Y SUCESOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS EXTERNOS PROVOCADOS POR LOS SERES HUMANOS)**

Cuando se utilice esta lista se habrá de tener presente que los sucesos iniciadores recogidos en ella no serán forzosamente aplicables a todas las instalaciones ni a todos los emplazamientos. La lista tiene carácter de recordatorio.

- 1) Explosión:
  - i) Sustancia sólida;
  - ii) Gas, polvo o nube de aerosol.
- 2) Incendio:
  - i) Sustancia sólida;
  - ii) Sustancia líquida;
  - iii) Gas, polvo o nube de aerosol.
- 3) Accidente aéreo.
- 4) proyectiles debidos a fallos estructurales o mecánicos de instalaciones próximas.
- 5) Inundación:
  - i) Desplome estructural de una presa;
  - ii) Bloqueo de un río.
- 6) Asiento de las tierras (hundimiento) o su derrumbe por la excavación de un túnel o labores de minería.
- 7) Vibración de las tierras.
- 8) La emisión de una sustancia corrosiva, tóxica y/o radiactiva:
  - i) Líquido;
  - ii) Gas, polvo o nube de aerosol.
- 9) Datos geográficos y demográficos:
  - i) Densidad de población y cambios previstos durante la vida útil de la instalación;
  - ii) Instalaciones industriales y militares y actividades conexas y los efectos en la instalación de los accidentes en esas otras instalaciones;
  - iii) Tráfico;
  - iv) Infraestructura de transportes (carreteras, aeropuertos y/o rutas aéreas, líneas de ferrocarril, ríos y canales, oleoductos y las posibilidades de impactos o de accidentes con materiales peligrosos).

- 10) Suministro de electricidad y posible pérdida de potencia.
- 11) Luchas intestinas:
  - i) Terrorismo, sabotaje e incursiones en el perímetro;
  - ii) La ruptura de la infraestructura;
  - iii) Disturbios civiles;
  - iv) Huelgas y bloqueos;
  - v) Cuestiones de salud (por ejemplo, enfermedades endémicas o epidemias).

## **Anexo IV**

### **SUCESOS INICIADORES POSTULADOS A TENER EN CUENTA EN UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA (FENÓMENOS INTERNOS)**

Cuando se utilice esta lista se habrá de tener presente que los sucesos iniciadores recogidos en ella no serán forzosamente aplicables a todas las instalaciones ni a todos los emplazamientos. La lista tiene carácter de recordatorio.

- 1) La aceptación (involuntaria o no) de desechos, contenedores de desechos, productos químicos de procesos, agentes de acondicionamiento, etc., que se reciban que no se ajustan a las especificaciones (criterios de aceptación) incluidos en la base del diseño.
- 2) El procesamiento de desechos que cumplen los criterios de aceptación, pero que posteriormente se procesan de manera inapropiada para el tipo de desecho concreto de que se trata (por inadvertencia o no).
- 3) Un suceso de criticidad debido a la acumulación incorrecta de materiales fisibles, la modificación de la configuración geométrica, la introducción de sustancias moderadoras, la supresión de materiales que absorben neutrones o diversas combinaciones de esas circunstancias.
- 4) Una explosión debida al desprendimiento de mezclas explosivas de gases como consecuencia de:
  - i) Radiólisis.
  - ii) Descargas o volatilización de gases.
  - iii) Reacciones químicas causadas por mezclas inapropiadas o contactos:
    - diferentes flujos de desechos;
    - desechos y agentes de acondicionamiento;
    - material de los contenedores de desechos y agentes de acondicionamiento;
    - productos químicos de procesos;
    - desechos, contenedores de desechos, agentes de acondicionamiento, productos químicos de procesos y las condiciones reinantes en el entorno del trabajo o en el entorno del almacenamiento.
  - iv) La inclusión de elementos como botellas de gas comprimido entre los materiales introducidos en las incineradoras o los compactadores.

- 5) Incendio causado por:
  - i) Combustión espontánea;
  - ii) Puntos calientes locales producidos por el mal funcionamiento de estructuras, sistemas o componentes.
  - iii) Chispas de máquinas, equipo o circuitos eléctricos.
  - iv) Chispas de actividades humanas como soldaduras o fumar.
  - v) Explosiones.
- 6) Graves incompatibilidades entre los componentes de un sistema de proceso y los materiales introducidos en el sistema.
- 7) La degradación de sustancias de procesos (productos químicos, aditivos o aglomerantes) a causa de su manipulación o almacenamiento incorrectos.
- 8) El no tener en cuenta los riesgos no radiológicos que presentan los desechos (físicos, químicos o patógenos).
- 9) La generación de una atmósfera tóxica por reacciones químicas debidas a la mezcla incorrecta o al contacto de diversos reactivos y sustancias.
- 10) La caída de bultos de desechos o de otras cargas por manipulación incorrecta o avería del equipo, con consecuencias en el bulto de desechos caído y acaso sobre otros bultos de desechos o las estructuras, los sistemas y los componentes de la instalación.
- 11) Colisiones de vehículos o cargas colgantes con estructuras, sistemas y componentes de la instalación o con bultos de desechos, recipientes de contención de desechos y tuberías.
- 12) Averías de estructuras, sistemas y componentes debidas a:
  - i) La pérdida de competencia estructural o de integridad mecánica.
  - ii) Vibraciones originadas en la instalación.
  - iii) Desequilibrios de la presión (aumentos o desplomes repentinos de la presión).
  - iv) Corrosión o erosión internas o efectos químicos del entorno del trabajo o del almacenamiento.
- 13) La generación de proyectiles y cascotes que vuelan por los aires a causa de la explosión de componentes bajo presión o de una avería muy grave del equipo giratorio.
- 14) El mal funcionamiento del equipo de calefacción o refrigeración, que dé lugar a desviaciones de la temperatura no previstas en los sistemas de los procesos o los sistemas de almacenamiento.
- 15) El mal funcionamiento del equipo de control de los procesos.
- 16) El mal funcionamiento del equipo que mantiene las condiciones ambientales en la instalación, como el sistema de ventilación o la red de desagüe.
- 17) El mal funcionamiento de los sistemas de vigilancia o de alarma que haga que no se advierta una situación negativa.

- 18) Configuración incorrecta (errores o cambios no autorizados) de los monitores, las alarmas o el equipo de control.
- 19) El no funcionamiento cuando se precisa del equipo de emergencia, por ejemplo, el sistema de extinción de incendios, las válvulas de seguridad y conductos de alivio.
- 20) La avería del suministro de energía, ya sea de la red principal o de diversas subredes.
- 21) El mal funcionamiento de equipo esencial para manipular los desechos, como las grúas de traslado o las cintas transportadoras.
- 22) El mal funcionamiento de estructuras, sistemas y componentes que controlan las emisiones al medio ambiente, como los filtros o las válvulas.
- 23) El no inspeccionar, probar ni mantener adecuadamente estructuras, sistemas y componentes.
- 24) La actuación incorrecta del explotador debida a una información inexacta o incompleta.
- 25) La actuación incorrecta del explotador a pesar de tener información exacta y completa.
- 26) Sabotaje por empleados.
- 27) Averías de sistemas y componentes como la guarnición de la incineradora, el sistema hidráulico del compactador o el cortador mecánico que hace que se corra riesgo de una considerable exposición adicional a la radiación del personal convocado para ayudar a efectuar reparaciones o sustituciones.
- 28) Tropezar con una fuente de radiación inesperada al efectuar la clausura (por ejemplo, de índole o en cantidad diferentes de las esperadas) y no reconocer enseguida que han cambiado las circunstancias.
- 29) Eliminar o debilitar una estructura o un componente al efectuar la clausura, sin advertir los posibles efectos sobre la competencia estructural de otras estructuras y otros componentes.



## COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

Ali, S. S.	Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas (India)
Baillif, L.	NUSYS (Francia)
Bergé, F.	NUSYS (Francia)
Carter, P. B.	Consultor (Reino Unido)
Conlon, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
De Pahissa, M. H.	Comisión Nacional de Energía Atómica (Argentina)
Duthé, M.	Dirección para la Seguridad de las Instalaciones Nucleares (Francia)
Engström, S.	Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares (Suecia)
FitzPatrick, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Lavrinovitch, A.	Autoridad Federal de Seguridad Nuclear y Radiológica de Rusia (Federación de Rusia)
Müller, W.	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH (Alemania)
Picha, K.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Ruokola, E.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (Finlandia)
Sasaki, N.	Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation (Japón)
Shoab, K. A.	Misión Permanente de Pakistán (Austria)
Street, J.	British Nuclear Fuels Ltd. (Reino Unido)

Timul'ák, J.	Decom Slovakia Ltd. (República Eslovaca)
Torata, S.	Instituto Japonés de Desarrollo del Ciclo Nuclear (Japón)
Vogt, J.	Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares (Suecia)
Warnecke, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Wurtinger, W.	Institut für Sicherheitstechnologie GmbH (Alemania)

# ÓRGANOS ENCARGADOS DE APROBAR LAS NORMAS DE SEGURIDAD

## Comisión sobre Normas de Seguridad

*Alemania*: Renneberg, W.; *Argentina*: Oliveira, A.; *Brasil*: Caubit da Silva, A.; *Canadá*: Pereira, J. K.; *China*: Zhao, C.; *Corea, República de*: Eun, S.; *España*: Azuara, J. A.; Santoma, L.; *Estados Unidos de América*: Travers, W. D.; *Federación de Rusia*: Vishnevskiy, Y. G.; *Francia*: Lacoste, A.-C.; Gauvain, J.; *India*: Sukhatme, S. P.; *Japón*: Suda, N.; *Reino Unido*: Williams, L. G. (Presidente); Pape, R.; *Suecia*: Holm, L.-E.; *Suiza*: Schmocker, U.; *Ucrania*: Gryschenko, V.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Shimomura, K; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Clarke, R. H.; *OIEA*: Karbassioun, A. (Coordinador).

## Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania*: Feige, G.; *Argentina*: Sajaroff, P.; *Australia*: MacNab, D.; *\*Belarús*: Sudakou, I.; *Bélgica*: Govaerts, P.; *Brasil*: Salati de Almeida, I. P.; *Bulgaria*: Gantchev, T.; *Canadá*: Hawley, P.; *China*: Wang, J.; *Corea, República de*: Lee, J.-I.; *Egipto*: Hassib, G.; *España*: Mellado, I.; *Estados Unidos de América*: Newberry, S.; *Federación de Rusia*: Baklushin, R. P.; *Finlandia*: Reiman, L. (Presidente); *Francia*: Saint Raymond, P.; *Hungría*: Vöröss, L.; *India*: Sharma, S. K.; *Irlanda*: Hone, C.; *Israel*: Hirshfeld, H.; *Italia*: del Nero, G.; *Japón*: Yamamoto, T.; *Lituania*: Demcenko, M.; *\*México*: Delgado Guardado, J. L.; *Países Bajos*: de Munk, P.; *\*Pakistán*: Hashimi, J. A.; *\*Perú*: Ramírez Quijada, R.; *Reino Unido*: Hall, A.; *República Checa*: Böhm, K.; *Sudáfrica*: Bester, P. J.; *Suecia*: Jende, E.; *Suiza*: Aeberli, W.; *\*Tailandia*: Tanipanichskul, P.; *Turquía*: Alten, S.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Hrehor, M; *Comisión Europea*: Schwartz, J.-C.; *OIEA*: Bevington, L. (Coordinador); *Organización Internacional de Normalización*: Nigon, J. L.

## Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

*Alemania*: Landfermann, H.; *Argentina*: Rojkind, R. H. A.; *Australia*: Mason, C. (Presidente); *Belarús*: Rydlevski, L.; *Bélgica*: Smeesters, P.; *Brasil*: Amaral, E.; *Canadá*: Utting, R.; *China*: Yang, H.; *Corea, República de*: Kim, C.; *Cuba*: Betancourt Hernández, A.; *Dinamarca*: Ulbak, K.; *Egipto*: Hanna, M.; *Eslovaquia*: Jurina, V.; *España*: Amor, I.; *Estados Unidos de América*: Paperiello, C.; *Federación de Rusia*: Kutkov, V.; *Finlandia*: Markkanen, M.;

*Francia:* Piechowski, J.; *Hungría:* Koblinger, L.; *India:* Sharma, D. N.; *Irlanda:* McGarry, A.; *Israel:* Laichter, Y.; *Italia:* Sgrilli, E.; *Japón:* Yonehara, H.; *Madagascar:* Andriambolona, R.; *México:* Delgado Guardado, J.; *Noruega:* Saxebol, G.; *Países Bajos:* Zuur, C.; *Perú:* Medina Gironzini, E.; *Polonia:* Merta, A.; *Reino Unido:* Robinson, I.; *República Checa:* Drabova, D.; *Sudáfrica:* Olivier, J. H. L.; *Suecia:* Hofvander, P.; Moberg, L.; *Suiza:* Pfeiffer, H. J.; *Tailandia:* Pongpat, P.; *Turquía:* Buyan, A. G.; *Ucrania:* Likhtarev, I. A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Lazo, T.; *Asociación Internacional de Protección Radiológica:* Webb, G.; *Comisión Europea:* Kaiser, S.; Janssens, A.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica:* Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas:* Gentner, N.; *Oficina Internacional del Trabajo:* Niu, S.; *OIEA:* Bilbao, A.; *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación:* Rigney, C.; *Organización Internacional de Normalización:* Perrin, M.; *Organización Mundial de la Salud:* Kheifets, L.; *Organización Panamericana de la Salud:* Borrás, C.

### **Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte**

*Alemania:* Rein, H.; *Argentina:* López Vietri, J.; *Australia:* Colgan, P.; *\*Belarús:* Zaitsev, S.; *Bélgica:* Cottens, E.; *Brasil:* Bruno, N.; *Bulgaria:* Bakalova, A.; *Canadá:* Viglasky, T.; *China:* Pu, Y.; *Corea, República de:* Kwon, S.-G.; *\*Dinamarca:* Hannibal, L.; *Egipto:* El-Shinawy, R. M. K.; *España:* Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América:* McGuire, R.; *Federación de Rusia:* Ershov, V. N.; *Francia:* Aguilar, J.; *Hungría:* Sáfár, J.; *India:* Nandakumar, A.N.; *Irlanda:* Duffy, J.; *Israel:* Koch, J.; *Italia:* Trivelloni, S.; *Japón:* Hamada, S.; *Noruega:* Hornkjøl, S.; *Países Bajos:* Van Halem, H.; *Perú:* Regalado Campaña, S.; *Reino Unido:* Young, C. N. (Presidente); *Rumania:* Vieru, G.; *Sudáfrica:* Jutle, K.; *Suecia:* Pettersson, B. G.; *Suiza:* Knecht, B.; *\*Tailandia:* Jerachanchai, S.; *Turquía:* Köksal, M. E.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional:* Abouchaar, J.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa:* Kervella, O.; *Comisión Europea:* Rossi, L.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas:* Tisdall, A.; *Instituto Mundial de Transporte Nuclear:* Lesage, M.; *OIEA:* Pope, R. B.; *Organización de Aviación Civil Internacional:* Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización:* Malesys, P.; *Organización Marítima Internacional:* Rahim, I.

## Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

*Alemania*: von Dobschütz, P.; *Argentina*: Siraky, G.; *Australia*: Williams, G.; *\*Belarús*: Rozdyalovskaya, L.; *Bélgica*: Baekelandt, L. (Presidente); *Brasil*: Xavier, A.; *\*Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Ferch, R.; *China*: Fan, Z.; *Corea*, *República de*: Sa, S.; *Cuba*: Benítez, J.; *\*Dinamarca*: Øhlenschlaeger, M.; *\*Egipto*: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; *España*: O'Donnell, P.; *Estados Unidos de América*: Greeves, J.; Wallo, A.; *Federación de Rusia*: Poluektov, P. P.; *Finlandia*: Rukola, E.; *Francia*: Averous, J.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Raj, K.; *Irlanda*: Pollard, D.; *Israel*: Avraham, D.; *Italia*: Dionisi, M.; *Japón*: Irie, K.; *\*Madagascar*: Andriambolona, R.; *México*: Maldonado, H.; *\*Noruega*: Sorlie, A.; *Países Bajos*: Selling, H.; *Pakistán*: Qureshi, K.; *\*Perú*: Gutiérrez, M.; *Reino Unido*: Wilson, C.; *República Eslovaca*: Konecny, L.; *Sudáfrica*: Pather, T.; *Suecia*: Wingefors, S.; *Suiza*: Zurkinden, A.; *\*Tailandia*: Wangcharoenroong B.; *Turquía*: Kahraman, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Comisión Europea*: Taylor, D.; Webster, S.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinador); *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.

*Nota: Los miembros corresponsales se indican con un asterisco (\*). Estos miembros reciben borradores para formular comentarios, así como otra documentación pertinente pero, generalmente, no participan en las reuniones.*





# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 21, julio de 2006

## Lugares de venta de las publicaciones del OIEA

**En los siguientes países** se pueden adquirir publicaciones del OIEA de los proveedores que figuran a continuación, o en las principales librerías locales. El pago se puede efectuar en moneda local o con bonos de la UNESCO.

### Alemania

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, August-Bebel-Allee 6, D-53175 Bonn  
Teléfono: + 49 02 28 949 02-0 • Fax: +49 02 28 949 02-22  
Correo-e: [info@uno-verlag.de](mailto:info@uno-verlag.de) • Sitio web: <http://www.uno-verlag.de>

### Australia

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, Mitcham Victoria 3132  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

### Bélgica

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Bruselas  
Teléfono: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Correo-e: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### Canadá

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391 (EE.UU.)  
Teléfono: 1 -800 -865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [order@bernan.com](mailto:order@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Teléfono: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### China

Publicaciones del OIEA en chino: China Nuclear Energy Industry Corporation, Sección de Traducción, P.O. Box 2103, Beijing

### Corea, República de

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seúl 137-130  
Teléfono: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1746  
Correo-e: [sj8142@kins.co.kr](mailto:sj8142@kins.co.kr) • Sitio web: <http://www.kins.co.kr>

### Eslovenia

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Teléfono: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35  
Correo-e: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Sitio web: <http://www.cankarjeva-z.si/uvvoz>

### España

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Teléfono: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63 • Correo e: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es)  
[carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es) • [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es) • [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)  
Sitio web: <http://www.diazdesantos.es>

### Estados Unidos de América

Bernan Associates, 4611-F Assembly Drive, Lanham, MD 20706-4391  
Teléfono: 1 -800 -865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [order@bernan.com](mailto:order@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669  
Teléfono: +888 551 7470 (gratuito) • Fax: +888 568 8546 (gratuito)  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### Finlandia

Akateeminen Kirjakauppa, PL 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Teléfono: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Correo-e: [akatilaus@akateeminen.com](mailto:akatilaus@akateeminen.com) • Sitio web: <http://www.akateeminen.com>

### Francia

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 París Cedex 19  
Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90 • Correo-e: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr)

Lavoisier SAS, 14 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Teléfono: +33 1 47 40 67 00 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Correo-e: livres@lavoisier.fr • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

#### **Hungría**

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Teléfono: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Correo e: books@librotrade.hu

#### **India**

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,  
Teléfono: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Correo-e: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Teléfono: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Correo-e: bookwell@vsnl.net

#### **Italia**

Liberia Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milán  
Teléfono: +39 02 48 95 45 52 ó 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48

#### **Japón**

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokio 103-0027  
Teléfono: +81 3 3275 8582 • Fax: +81 3 3275 9072  
Correo-e: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://www.maruzen.co.jp>

#### **Naciones Unidas**

Dept. 1004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, Nueva York, N.Y. 10017 (EE.UU.)  
Teléfono: +800 253-9646 • +212 963-8302 • Fax: +212 963-3489  
Correo-e: publications@un.org • Sitio web: <http://www.un.org>

#### **Nueva Zelanda**

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, Mitcham Victoria 3132, Australia  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: service@dadirect.com.au • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

#### **Países Bajos**

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen  
Teléfono: +31 (0) 53 5740004 • Fax: +31 (0) 53 5729296  
Correo-e: books@delindeboom.com • Sitio web: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Teléfono: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698 • Correo-e: info@nijhoff.nl • Sitio web: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Teléfono: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888 • Correo-e: infoho@swets.nl • Sitio web: <http://www.swets.nl>

#### **Reino Unido**

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Teléfono: (pedidos): +44 870 600 5552 • (información): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Correo-e (pedidos): book.orders@tso.co.uk • (información): book.enquiries@tso.co.uk • Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

#### **Pedidos en línea:**

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Correo-e: info@profbooks.com • Sitio web: <http://www.profbooks.com>

#### **Libros relacionados con el medio ambiente:**

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Teléfono: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Correo-e: orders@earthprint.com • Sitio web: <http://www.earthprint.com>

#### **República Checa**

Suweco CZ, S.R.O. Klecakova 347, 180 21 Praga 9  
Teléfono: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Correo-e: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

**Los pedidos y las solicitudes de información** también se pueden dirigir directamente a:

#### **Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones, Organismo Internacional de Energía Atómica**

Centro Internacional de Viena, PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: +43 1 2600 22529 (ó 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Correo-e: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>



---

---

---

---

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA  
ISBN 978-92-0-310809-6  
ISSN 1020-5837