

# COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Gestión de desechos  
radiactivos procedentes  
de la extracción y el  
tratamiento de minerales

## GUÍA DE SEGURIDAD

Nº WS-G-1.2



**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 DE DESECHOS  
RADIATIVOS PROCEDENTES DE  
LA EXTRACCIÓN Y EL  
TRATAMIENTO DE MINERALES

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
CAMBOYA	JORDANIA	RUMANIA
CAMERÚN	KAZAJSTÁN	SANTA SEDE
CANADÁ	KENYA	SENEGAL
CHAD	KIRGUISTÁN	SERBIA
CHILE	KUWAIT	SEYCHELLES
CHINA	LESOTHO	SIERRA LEONA
CHIPRE	LETONIA	SINGAPUR
COLOMBIA	LÍBANO	SRI LANKA
CONGO	LIBERIA	SUDÁFRICA
COREA, REPÚBLICA DE	LIECHTENSTEIN	SUDÁN
COSTA RICA	LITUANIA	SUECIA
CÔTE D'IVOIRE	LUXEMBURGO	SUIZA
CROACIA	MADAGASCAR	TAILANDIA
CUBA	MALASIA	TAYIKISTÁN
DINAMARCA	MALAWI	TÚNEZ
ECUADOR	MALÍ	TURQUÍA
EGIPTO	MALTA	UCRANIA
EL SALVADOR	MARRUECOS	UGANDA
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MAURICIO	URUGUAY
ERITREA	MAURITANIA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE	UZBEKISTÁN
ESLOVAQUIA	MÉXICO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESLOVENIA	MÓNACO	VIET NAM
ESPAÑA	MONGOLIA	YEMEN
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	MONTENEGRO	ZAMBIA
ESTONIA	MOZAMBIQUE	ZIMBABWE
ETIOPÍA	MYANMAR	
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA DE MACEDONIA	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-1.2

GESTIÓN DE DESECHOS  
RADIOACTIVOS PROCEDENTES DE  
LA EXTRACCIÓN Y EL  
TRATAMIENTO DE MINERALES

GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2010

## **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 Mercadotecnia y Venta  
Sección Editorial  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Centro Internacional de Viena  
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, 2010  
Impreso por el OIEA en Austria  
Marzo de 2010

**GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS PROCEDENTES DE LA  
EXTRACCIÓN Y EL TRATAMIENTO DE MINERALES**

OIEA, VIENA, 2010  
STI/PUB/1134  
ISBN 978-92-0-301510-3  
ISSN 1020-5837

## PRÓLOGO

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 (1.1–1.4) .....	1
	Objetivo (1.5) .....	2
	Alcance (1.6–1.11) .....	2
	Estructura (1.12) .....	4
2.	MARCO ADMINISTRATIVO, JURÍDICO Y REGLAMENTARIO .....	5
	Política y estrategia nacionales (2.1–2.5) .....	5
	Responsabilidades (2.6–2.12) .....	6
3.	PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE .....	9
	Generalidades (3.1–3.4) .....	9
	Protección radiológica de los trabajadores (3.5–3.9) .....	9
	Protección radiológica del público (3.10–3.20) .....	11
	Aspectos no radiológicos (3.21–3.24) .....	15
4.	ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS .....	16
	Generalidades (4.1–4.8) .....	16
	Opciones para la gestión de desechos (4.9–4.27) .....	18
5.	ASPECTOS DE SEGURIDAD EN LAS DIVERSAS FASES DE LAS OPERACIONES .....	23
	Selección del emplazamiento (5.1–5.4) .....	23
	Diseño y construcción (5.5–5.7) .....	24
	Explotación (5.8–5.9) .....	25
	Cierre (5.10–5.13) .....	26
	Exención del control reglamentario (5.14–5.15) .....	27

6.	EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD .....	27
	Generalidades (6.1–6.6) .....	27
	Criterios de seguridad (6.7) .....	29
	Caracterización de los desechos (6.8) .....	29
	Determinación y caracterización de opciones para el emplazamiento (6.9–6.11) .....	30
	Determinación y caracterización de opciones para la gestión de desechos, incluidos los controles técnicos (6.12) .....	30
	Determinación y descripción de opciones para el control institucional (6.13) .....	30
	Determinación y descripción de posibles fallos del control institucional y técnico (6.14–6.15) .....	31
	Análisis de la seguridad (6.16–6.17) .....	31
	Comparación de las dosis y los riesgos estimados con las restricciones (6.18–6.19) .....	32
	Optimización de la protección (6.20–6.24) .....	33
7.	GARANTÍA DE CALIDAD (7.1–7.3) .....	34
8.	SUPERVISIÓN Y VIGILANCIA (8.1–8.10) .....	35
9.	CONTROL INSTITUCIONAL PARA LA FASE POSTERIOR AL CIERRE (9.1–9.4) .....	38
	REFERENCIAS .....	39
	COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y EL EXAMEN .....	43
	ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD .....	45

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. Los desechos radiactivos generados en las actividades de extracción y tratamiento, sobre todo las relacionadas con los minerales de uranio y torio (U, Th) difieren de los generados en las centrales nucleares y la mayoría de las otras operaciones industriales y en las instalaciones médicas. Los desechos procedentes de las actividades de extracción y tratamiento contienen sólo bajas concentraciones de materiales radiactivos, pero se producen en grandes volúmenes en comparación con los desechos de otras instalaciones. Los métodos de gestión que han de emplearse son, por tanto, diferentes y suelen entrañar la disposición recuperable en la superficie o cerca de la superficie, en las inmediaciones de las minas y/o los emplazamientos de las fábricas. Además, los desechos contienen radionucleidos de período largo, y esto tiene importantes repercusiones para su gestión dados los intervalos de tiempo prolongados en que se hará necesario su control.

1.2. Los desechos radiactivos se producen en todas las etapas de los procesos de extracción y tratamiento y comprenden, además de los residuos de tratamiento, roca estéril<sup>1</sup>, roca estéril mineralizada<sup>2</sup> y aguas industriales, incluso soluciones de lixiviación. También deberían gestionarse la precipitación y el escurrimiento por fusión de nieve, así como el agua infiltrada de las existencias y las zonas de plantas de procesamiento de uranio.

1.3. Los peligros para los seres humanos o el medio ambiente que plantean la extracción y el tratamiento de los desechos no sólo se derivan de su radiactividad, sino también de la presencia de productos químicos tóxicos y otros materiales presentes en los desechos. El logro de un enfoque reglamentario congruente para la protección contra estos distintos peligros constituye un desafío para los reguladores nacionales. La presente publicación trata fundamentalmente sobre la

---

<sup>1</sup> La roca estéril es el material excavado de una mina que no plantea ningún peligro radiológico significativo que requiera medidas de gestión para proteger la salud humana o el medio ambiente. La roca estéril puede requerir también medidas de gestión por otros motivos, como para controlar la erosión con el fin de impedir el entarquinamiento de las masas de agua superficiales locales.

<sup>2</sup> La roca estéril mineralizada es el material excavado de una mina que tiene características químicas y/o radiológicas que deben ser objeto de gestión para proteger la salud humana o el medio ambiente.

gestión de los peligros radiológicos asociados con los desechos, aunque también se indican los casos en que se hace especialmente necesario que los reguladores tomen en cuenta los peligros no radiológicos.

1.4. La presente publicación sustituye la titulada “Gestión segura de desechos en la minería y tratamiento de los minerales de uranio y de torio”, Vol. N° 85 de la Colección Seguridad, publicada en 1987.

## OBJETIVO

1.5. El objetivo de la presente guía de seguridad es proporcionar recomendaciones y orientaciones sobre la gestión segura de los desechos radiactivos provenientes de la extracción y el tratamiento de minerales. Las recomendaciones que contiene son aplicables fundamentalmente a las nuevas instalaciones. Las que ya existen quizás no cumplan necesariamente con todas estas recomendaciones. No obstante, se pueden adoptar medidas apropiadas en consonancia con las políticas nacionales para examinar la seguridad de las instalaciones existentes y, cuando sea razonablemente posible, aumentar su seguridad a tono con las recomendaciones pertinentes establecidas en esta guía de seguridad.

## ALCANCE

1.6. La presente guía de seguridad tiene que ver con las estrategias y los protocolos de selección del emplazamiento, diseño, construcción, explotación y cierre de las instalaciones que son necesarios para proteger a los trabajadores, el público y el medio ambiente de las repercusiones, tanto en el presente como en el futuro, de los desechos radiactivos provenientes de la extracción y el tratamiento de minerales. Por cierre se entiende las medidas técnicas y administrativas necesarias para que una instalación de gestión de desechos o de disposición final esté en condiciones aceptables al final de su vida operacional. El cierre puede ser aplicable a los residuos del tratamiento, es decir, las pilas de residuos de la extracción y las pilas de material de lixiviación. Se pueden clausurar otras partes de las instalaciones utilizadas para la extracción y el tratamiento de minerales de U/Th (por ejemplo, estructuras superficiales) adoptando el enfoque aplicado en otras partes de la industria nuclear. En otra publicación del OIEA se formulan recomendaciones y orientaciones para este tipo de clausura [1].

1.7. En la presente guía de seguridad se formulan recomendaciones sobre las actividades de gestión de desechos asociadas con la extracción y el tratamiento de minerales que se consideran prácticas<sup>3</sup>. Dadas las prácticas deficientes de gestión de desechos empleadas en el pasado, la extracción y el tratamiento de algunos minerales a menudo han originado desechos en relación con los cuales resulta inadecuado aplicar todos los principios formulados para las prácticas. En tales casos, el órgano regulador debería decidir si trata las actividades de gestión de desechos para estas situaciones como prácticas o como intervenciones<sup>4</sup>.

1.8. Las orientaciones que figuran en esta publicación son particularmente aplicables a la extracción y el tratamiento de minerales de U/Th. Con todo, también pueden ser aplicables a la gestión de desechos de la extracción y el tratamiento de otros minerales que tengan concentraciones elevadas de actividad (por ejemplo, arenas minerales, metales y roca fosfatada). Estos desechos requieren medidas de gestión porque los radionucleidos que contienen podrían causar daños a los seres humanos y el medio ambiente. En estos casos, los órganos reguladores deberían determinar la pertinencia de las orientaciones en función de los requisitos relativos a la protección y la seguridad establecidos en las NBS y en los reglamentos nacionales.

1.9. En la presente guía de seguridad no se aborda el empleo de instalaciones de gestión de desechos provenientes de la extracción y el tratamiento para la disposición final de desechos radiactivos y no radiactivos peligrosos originados en otras partes del ciclo del combustible nuclear o en otras prácticas. La naturaleza química, física y radiológica de esos desechos puede ser notablemente diferente de la de los desechos de la extracción y el tratamiento; por ejemplo, los materiales contaminados con productos de fisión o activación pueden requerir distintas técnicas de manipulación y disposición final. En consecuencia, deberían tenerse en cuenta otros aspectos de la seguridad y el medio ambiente, además de

---

<sup>3</sup> Una práctica, según se define en las Normas básicas de seguridad (NBS), es “Toda actividad humana que introduce fuentes de exposición o vías de exposición adicionales o extiende la exposición a más personas o modifica el conjunto de las vías de exposición debidas a las fuentes existentes, de forma que aumente la exposición o la probabilidad de exposición de personas o el número de las personas expuestas” [2]. Cabe señalar que en algunas organizaciones regionales el término práctica no abarca las actividades en que intervienen materiales radiactivos naturales, en las que estos materiales no se utilizan por sus propiedades radiactivas o fisibles. Por lo tanto, es posible que estos materiales estén sujetos a diferentes disposiciones de los reglamentos.

<sup>4</sup> Una intervención, según se define en las NBS, es una “Acción encaminada a reducir o evitar la exposición o la probabilidad de exposición a fuentes que no forman parte de una práctica controlada, o que se hallan sin control como consecuencia de un accidente” [2].

los que se tratan en esta guía de seguridad, al considerar la posibilidad de la gestión conjunta de otros desechos [3, 4].

1.10. En otras publicaciones del OIEA [5, 6]<sup>5</sup> se analiza la seguridad radiológica en la producción y el procesamiento de los minerales de U/Th. El control de las exposiciones ocupacionales y del público y las repercusiones ambientales debidas a las emisiones radiactivas ordinarias o el transporte de desechos también se examinan en otras normas de seguridad del OIEA [7, 8].

1.11. Algunas características no radiológicas de los desechos pueden plantear peligros y riesgos importantes a los que hay que hacer frente. El análisis detallado de los requisitos necesarios para proteger la salud humana y el medio ambiente contra estos peligros y riesgos rebasa el marco de esta guía de seguridad. No obstante, esos peligros deberían tomarse en consideración en la optimización integral de la protección, cuestión que abarca esta guía de seguridad.

## ESTRUCTURA

1.12. En la sección 2 se describe el marco administrativo, jurídico y reglamentario necesario para la gestión segura de los desechos de la extracción y el tratamiento. En la sección 3 se examinan los principios y criterios utilizados para definir un nivel aceptable de seguridad durante la explotación y después del cierre de las instalaciones de gestión de desechos. El grado en que se protegen la salud humana y el medio ambiente de los desechos de la extracción y el tratamiento de minerales dependerá de las características de los desechos, el emplazamiento y las instalaciones de gestión de desechos. En la sección 4 se analizan las estrategias para la gestión de desechos. En la sección 5 se estudian aspectos de seguridad asociados con la gestión de desechos en todas las fases de las actividades de extracción y tratamiento. En la sección 6 se explica un procedimiento para el examen de todas las cuestiones pertinentes asociadas con la elaboración de una estrategia de gestión de desechos y de instalaciones de gestión de desechos con el fin de garantizar que la salud humana y el medio ambiente reciban un nivel aceptable de protección (“evaluación de la seguridad”). En la sección 7 se formulan orientaciones sobre el diseño y aplicación de un programa de garantía de calidad para la gestión de desechos. En la sección 8 se presenta un programa de supervisión y vigilancia para las instalaciones de gestión de

---

<sup>5</sup> En estos momentos se encuentra en preparación una guía de seguridad sobre la protección radiológica ocupacional en la extracción y el tratamiento de materias primas.

desechos. En la sección 9 se analiza el control institucional de las instalaciones de gestión de desechos después del cierre.

## **2. MARCO ADMINISTRATIVO, JURÍDICO Y REGLAMENTARIO**

### **POLÍTICA Y ESTRATEGIA NACIONALES**

2.1. Los Estados que prevean dedicarse a actividades de extracción y tratamiento deben elaborar:

- a) Una política nacional para la gestión de los desechos conexos;
- b) Una estrategia para aplicar esta política, incluido el suministro de los recursos necesarios (referencia [3], principio 6).

2.2. La política y la estrategia deberían ser reflejo de los principios de gestión de desechos radiactivos establecidos en la referencia [3] y en las secciones 3 a 6 de la presente publicación, y estar en consonancia con éstos.

2.3. Los desechos de la extracción y el tratamiento de U/Th contienen en su mayoría componentes peligrosos no radiológicos semejantes a los que están presentes en los desechos provenientes de otras actividades de extracción. Al elaborar su política y estrategia nacionales, los Estados deberían tratar de abordar de manera coherente todos los componentes peligrosos derivados de la extracción y el tratamiento.

2.4. Los Estados deberían considerar la necesidad y el alcance de las consultas con el público y la participación de éste en el proceso de reglamentación. En muchos Estados el proceso de autorización se caracteriza por el aumento creciente de las consultas con el público. No obstante, la responsabilidad respecto de las decisiones reglamentarias sigue recayendo en el órgano regulador. El proceso de adopción de decisiones debería ser transparente, independiente y defendible de modo que, si se impugna una decisión, el órgano regulador pueda explicar cómo ésta fue adoptada.

2.5. El órgano regulador debería conocer a fondo en todo momento las cuestiones técnicas y las circunstancias financieras a que se enfrenta el explotador

con el fin de garantizar que la instalación funcione en condiciones de seguridad y que se asignen suficientes fondos para posibilitar la respuesta a cualquier accidente y las operaciones de cierre.

## RESPONSIBILIDADES

2.6. Los requisitos referentes a las responsabilidades generales vinculadas a la gestión de desechos radiactivos se exponen en detalle en la referencia [9]. Aquí se incluye el establecimiento de un marco jurídico y un órgano regulador competente.

### **Órgano regulador**

2.7. El órgano regulador se encarga de elaborar reglamentos, criterios y directrices apropiados, y de establecer un sistema adecuado de concesión de licencias dentro del marco jurídico. En este proceso de ejecución deberían preverse requisitos y actividades generales (p. ej., la elaboración de normas y el establecimiento de criterios para la concesión de licencias), así como requisitos específicos (p. ej., requisitos para las inspecciones y los exámenes de seguridad radiológica), y deberían definirse claramente las responsabilidades de las partes interesadas. También se debería tener en cuenta todo el ciclo de vida de la extracción y el tratamiento en relación con las cuestiones asociadas a la gestión de desechos. En la figura 1 se da un ejemplo del proceso de reglamentación de una nueva instalación de extracción y tratamiento, del que puede diferir en detalle el proceso de reglamentación de los distintos Estados. El órgano regulador debería asegurarse de que el explotador ha cumplido todos los requisitos legales.

2.8. Después del cierre de una instalación de extracción y tratamiento y de obtener seguridades de que el explotador ha cumplido sus obligaciones, el órgano regulador debería garantizar que la responsabilidad por los desechos se transfiera del explotador a una entidad competente con facultades para aplicar los controles institucionales necesarios [4]. En muchos casos, la entidad que tiene mayores posibilidades para mantener estos controles es una organización estatal. El marco reglamentario debería servir de mecanismo para este traspaso de responsabilidades. También debería haber un mecanismo que garantice que se disponga en el presente y con carácter permanente desde el principio de la financiación necesaria para apoyar el control institucional. Estos mecanismos o planes para su establecimiento deberían determinarse en las primeras etapas de desarrollo de las operaciones.



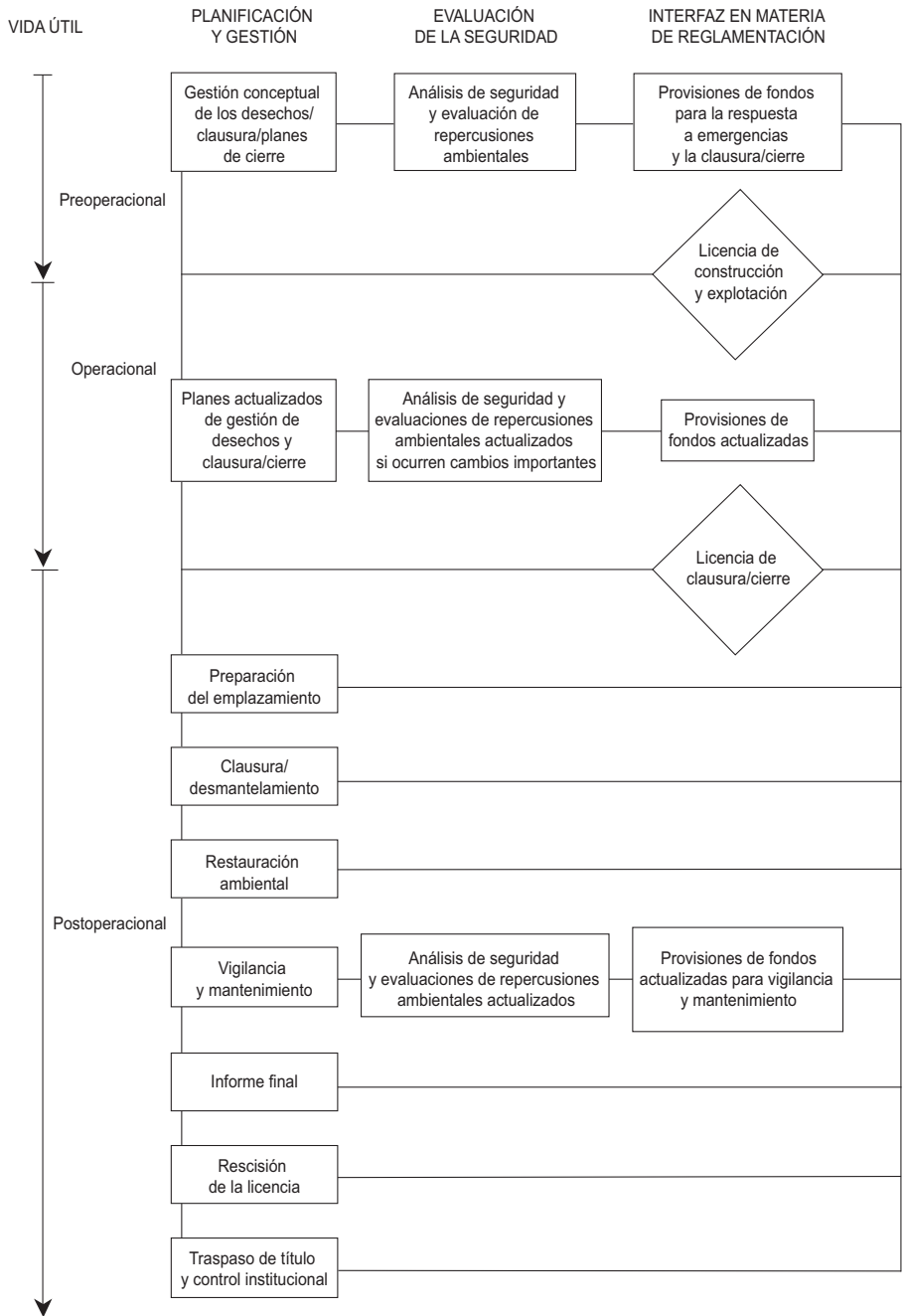


FIG. 1. Ejemplo de proceso de reglamentación que se habrá de aplicar en las nuevas instalaciones de gestión de desechos de la extracción y el tratamiento.

2.9. El órgano regulador debería velar por que se establezca un mecanismo que brinde asesoramiento a los probables compradores de tierras afectadas por desechos de la extracción y el tratamiento de minerales sobre todos los pormenores de interés, incluso:

- a) La naturaleza de los desechos y el grado en que ha quedado afectada la tierra;
- b) Las restricciones del uso de la tierra;
- c) Las obligaciones contraídas por el propietario de la tierra con respecto a la supervisión, la vigilancia y el mantenimiento.

2.10. También debería garantizarse por este mecanismo que el órgano competente sea informado de cualquier traspaso inminente de la propiedad de la tierra de modo que esta entidad pueda asegurarse de que el vendedor ha cumplido plenamente su responsabilidad con respecto a la obligación de informar al probable comprador de los detalles pertinentes mencionados en el párrafo 2.9.

### **Explotador**

2.11. El explotador de las instalaciones de gestión de desechos procedentes de la extracción y el tratamiento está obligado a encargarse de todos los aspectos de la seguridad de la instalación, incluso la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente, contra los peligros asociados a los desechos hasta la conclusión del cierre de las instalaciones, incluida esta fase (referencia [10], párrafo 3.11). El explotador también está obligado a encargarse de dar cumplimiento a todos los requisitos legales. Si, por cualquier motivo, el explotador no puede seguir asumiendo esta responsabilidad, debería asumirla una entidad estatal.

2.12. El explotador de las instalaciones de extracción y tratamiento debería formular propuestas técnicas y administrativas, teniendo en cuenta los requisitos relacionados con la garantía de calidad (referencia [10], párrafo 7.6), en relación con todos los aspectos de la protección de la salud humana y el medio ambiente, propuestas que deberían ser adoptadas con sujeción al examen y aprobación del órgano regulador.

### **3. PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE**

#### GENERALIDADES

3.1. En la gestión de los desechos de la extracción y el tratamiento se ha de tener en cuenta la aplicación de medidas que brinden protección aceptable para la salud humana y el medio ambiente, en cumplimiento de los requisitos y recomendaciones del OIEA que se indican en las referencias [2, 5, 6], y de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) [11 a 13].

3.2. La gestión de los desechos de la extracción y el tratamiento forma parte de la gestión de una práctica según se define en las NBS y, por tanto, los aspectos de la protección radiológica están regidos por los principios de la justificación, la optimización y la limitación de la dosis. La generación y la gestión de estos desechos radiactivos no necesitan justificarse, ya que ello se habrá tenido en cuenta en la justificación de toda la práctica de extracción.

3.3. En general se ha aceptado que la aplicación de medidas para la protección radiológica de la salud humana, en cumplimiento de los requisitos de las NBS, basta para asegurar que las demás especies no se pongan en riesgo indebido. Los órganos reguladores deberían elaborar criterios para sus situaciones concretas en que quizás no sea éste el caso.

3.4. En la figura 2 se explica a grandes rasgos el proceso recomendado en la presente guía para garantizar un nivel aceptable de protección de la salud humana y el medio ambiente contra la exposición debida a la extracción y el tratamiento de desechos. Hay que reconocer que muchas de las medidas definidas en la figura 2 son interdependientes.

#### PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE LOS TRABAJADORES

3.5. Los trabajadores de las minas o fábricas pueden recibir dosis de radiación de los minerales, los concentrados, el producto del proceso de tratamiento (por ejemplo,  $U_3O_8$ ), el polvo suspendido en el aire asociado a este proceso, los fluidos de proceso, las fuentes industriales y analíticas (por ejemplo, calibradores y equipo analítico basado en la fluorescencia X), los productos de desintegración del radón y el torio, y los desechos radiactivos. La protección de los trabajadores contra los peligros radiológicos provenientes de los desechos de

la extracción y el tratamiento no debería considerarse de manera aislada sin tener en cuenta estas otras fuentes de exposición a la radiación. Los explotadores de minas y fábricas deberían establecer un programa amplio de protección radiológica, en cumplimiento de los requisitos de las NBS, que abarque todas las

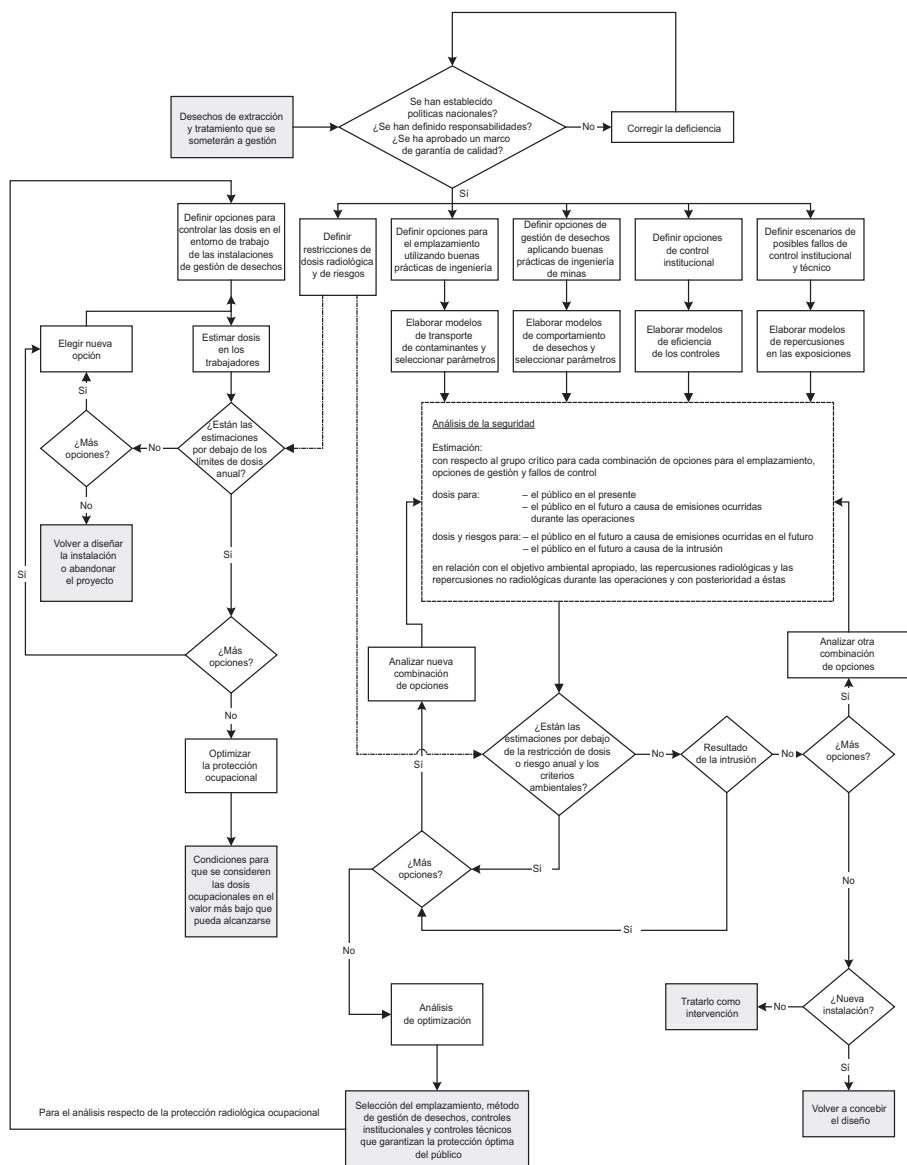


FIG. 2. Proceso para la gestión de la extracción y el tratamiento de desechos.

fuentes de exposición ocupacional a la radiación asociadas con las minas y fábricas, incluidos los desechos radiactivos.

3.6. Está estipulado que la dosis debida a la exposición ocupacional de los trabajadores en las minas o fábricas, teniendo en cuenta todas las fuentes de exposición, entre ellas los desechos radiactivos, no superen: una dosis efectiva anual de 20 mSv promediada en cinco años consecutivos; una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año, una dosis equivalente en el cristalino del ojo de 150 mSv en un año; y una dosis equivalente en las extremidades (manos y pies) o la piel de 500 mSv en un año (referencia [2], párrafo II-5).

3.7. También está estipulado que se optimice la protección radiológica de forma que las dosis en los trabajadores sean tan bajas como pueda razonablemente alcanzarse (ALARA), habida cuenta de los factores sociales y económicos (referencia [2], párrafo 2.24).

3.8. Los desechos radiactivos de las minas y fábricas son una fuente no sellada. De ahí que conviene tener en cuenta las siguientes vías de exposición para la protección de los trabajadores:

- a) Irradiación gamma y beta externa, incluso la contaminación de la piel;
- b) Inhalación de aerosoles, polvo y gases;
- c) Ingestión.

3.9. El programa de protección radiológica ocupacional debería ser compatible con las recomendaciones y orientaciones formuladas en las referencias [14 a 16].

## PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DEL PÚBLICO

3.10. Las emisiones al medio ambiente de radionucleidos procedentes de desechos radiactivos durante las actividades de extracción y tratamiento y las de gestión de desechos ulteriores pueden causar la exposición a la radiación de miembros del público. Tales emisiones están sujetas a los criterios aplicables a las emisiones de cualquier práctica en que se manipulen materiales radiactivos y, al igual que en la protección ocupacional, los requisitos nacionales de protección radiológica deberían ser compatibles con las NBS [2]. Sin embargo, como los residuos de minas y fábricas seguirán planteando un peligro potencial a la salud humana después del cierre, quizás sean necesarios nuevos análisis y medidas para prever la protección de las futuras generaciones. Tales medidas no deberían quedar pendientes hasta el cierre, sino que deberían estudiarse y aplicarse durante

el diseño, la construcción y la explotación de las instalaciones de extracción y tratamiento. La protección del público, desde el inicio de las operaciones hasta la etapa posterior al cierre, debería considerarse en su totalidad a partir del comienzo del diseño de las instalaciones. El objetivo global y los criterios secundarios elaborados explícitamente para la gestión de desechos radiactivos deberían estar en consonancia con estos aspectos.

3.11. Aunque los desechos de la extracción y el tratamiento contienen sólo radionucleidos naturales, no puede considerarse que estos radionucleidos estén en su estado o concentración iniciales, ya que sus formas física y química pueden haberse alterado considerablemente y la explotación de las instalaciones de gestión de desechos puede influir en las exposiciones. Las exposiciones atribuibles a esos desechos no deberían considerarse como una exposición a la radiación natural de fondo y las exposiciones del público atribuibles a todos los desechos de la extracción y el tratamiento deberían incluirse en el sistema de protección radiológica relativo a las prácticas, según se estipula en las NBS [2].

### **Protección radiológica en las operaciones**

3.12. Está estipulado que las instalaciones de gestión de desechos deben diseñarse y funcionar de modo que en las operaciones se optimice la protección radiológica de los trabajadores, el público y el medio ambiente, manteniendo las dosis en el valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y teniendo en cuenta los factores sociales y económicos (referencia [2], párrafo 2.24). Además, las dosis en el grupo crítico de miembros del público atribuidas a las prácticas no deben exceder de una dosis efectiva de 1 mSv en un año, o, en circunstancias especiales, de una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un solo año siempre que la dosis media en cinco años consecutivos no exceda de 1 mSv por año (referencia [2], párrafo II-8).

3.13. El límite de dosis establecido en la referencia [2] es aplicable a todas las dosis recibidas por los miembros del grupo crítico de todas las prácticas sometidas a control reglamentario, incluso las prácticas ya vigentes, se relacionen o no con la extracción y el tratamiento. Los órganos reguladores deberían, por tanto, asignar una restricción de dosis anual a cada operación de extracción y tratamiento que garantice que no se rebase el límite de dosis global, teniendo en cuenta las emisiones y exposiciones que se prevé de todas las demás fuentes y prácticas de interés, incluso de cualquier instalación o práctica conocida que pueda dar lugar en el futuro a dosis adicionales.

3.14. Los miembros del público recibirán dosis de radiación después del cierre a causa de las emisiones de radionucleidos ocurridas durante las operaciones. Estas dosis no deberían rebasar la restricción de dosis anual fijada por el órgano regulador con el fin de que no se supere el límite de dosis anual para los miembros del público, teniendo en cuenta las dosis previstas debidas a todas las fuentes de exposición de interés. Esto está en consonancia con el principio de que “La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de tal forma que las repercusiones previstas para la salud de las generaciones futuras no sean mayores que las que sean aceptables actualmente” (referencia [3], principio 4).

### **Protección radiológica posterior al cierre**

3.15. El diseño y las operaciones de las instalaciones de gestión de desechos deberían basarse en el principio de que las dosis de radiación en el grupo crítico después del cierre se mantengan dentro de una restricción de dosis anual, determinada por el órgano regulador, que represente alguna fracción del límite de dosis para los miembros del público, como se indica en el párrafo 3.12. Tal vez el órgano regulador también desee especificar una restricción de riesgo para evaluaciones probabilistas. La CIPR ha recomendado como apropiados valores límite máximos de 0,3 mSv y un riesgo del orden de  $10^{-5}$  por año [12, 13].

3.16. Puede utilizarse una combinación de controles técnicos e institucionales (véase el párrafo 9.1) para alcanzar un nivel de protección radiológica que satisfaga las restricciones de dosis o riesgos determinadas por el órgano regulador. Independientemente de la combinación de controles técnicos e institucionales que se utilice, debería haber garantías razonables de que estos controles seguirán siendo eficaces durante un período especificado. Durante este período de controles técnicos e institucionales eficaces, la instalación cerrada debería cumplir las restricciones de dosis y riesgos determinadas por el órgano regulador. En el proceso de concesión de la licencia el explotador debería proponer el período de control institucional y apoyarlo con la evaluación de la seguridad. La propuesta debería presentarse al órgano regulador para su aprobación. La decisión del órgano regulador no sólo puede basarse en factores técnicos, sino también sociales, y debería adoptarse caso por caso. El órgano regulador debería recibir garantías razonables de que los controles se mantendrán durante el período establecido.

3.17. Dadas las circunstancias locales que se presentan en muchas instalaciones de disposición final de residuos de tratamiento, los períodos requeridos de control pueden ser muy prolongados o incluso indefinidos. Con todo, se reconoce que no puede haber una certeza absoluta y que es posible que a largo plazo

ocurran fallos. Por tanto, los diseños y las alternativas de emplazamiento deberían ser tales que minimicen la necesidad de controles institucionales activos. Para garantizar que se cumpla este objetivo, en las evaluaciones del comportamiento que se realicen para evaluar los diseños deberían analizarse las consecuencias del fallo de los controles institucionales y de la intrusión humana. A los fines de evaluar el comportamiento de la instalación de disposición final, el órgano regulador debería examinar el período propuesto en los cálculos de la evaluación del comportamiento para el que deberían seguir siendo eficaces los controles institucionales antes de que se suponga el fallo. Las repercusiones del fallo supuesto de los controles institucionales y la ulterior intrusión humana deberían tenerse en cuenta al establecer la autorización para la instalación de disposición final.

3.18. Los controles técnicos pueden fallar a causa de procesos naturales (como la erosión) o de sucesos que originen la emisión de mayores cantidades de radionucleidos al medio ambiente. Estos sucesos y procesos son de carácter probabilista y, en los sistemas de gestión de desechos correctamente diseñados, la probabilidad de que ocurran en un año determinado es muy inferior a la unidad. Por consiguiente, deberían ser tratados como exposiciones potenciales, aun cuando para las evaluaciones que abarquen períodos muy prolongados pueda suponerse que algunos de los sucesos tendrán una gran probabilidad de ocurrir a la larga, por ejemplo, una intrusión en los residuos que entrañe la exposición de varias personas. Debería tenerse debidamente en cuenta la probabilidad de que ocurra el suceso y su probable impacto en la integridad del sistema de disposición final.

3.19. Cuando las instalaciones de gestión de desechos existentes no pueden cumplir las restricciones de riesgos posteriores al cierre o las restricciones de dosis establecidas por el órgano regulador para las nuevas instalaciones de gestión de desechos se presenta una dificultad. A medida que aumente la magnitud de la dosis evaluada derivada de la intrusión, deberían realizarse mayores esfuerzos para que la intrusión y/o sus consecuencias radiológicas sean del valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse. Para determinar lo que “pueda razonablemente alcanzarse” en este contexto, uno de los parámetros fundamentales es la dosis en que se consideraría la intervención si el suceso ocurriera hoy. Sobre la base de las actuales recomendaciones internacionales, este valor se cifra aproximadamente en 10 mSv por año [2, 17]. Si las dosis debidas a la intrusión están por debajo de este valor, probablemente la intervención no se justifique. No obstante, algunos Estados quizás deseen imponer valores inferiores para que se ajusten a sus circunstancias específicas. Si se estima que las dosis debidas a la intrusión son superiores a este valor, se tendrían que considerar otros



esfuerzos para reducir estas dosis. También deberían considerarse otros parámetros para evaluar lo que “puede razonablemente alcanzarse”.

3.20. La finalidad primordial del análisis de los sucesos de intrusión no es proteger al posible intruso sino ayudar a concebir un sistema de disposición final resistente y estable. El plan de cierre debería incluir mecanismos para impedir la intrusión. Deberían analizarse posibles sucesos de intrusión temporales para obtener información que pueda utilizarse en apoyo del diseño de un sistema de disposición final estable. Este análisis también podría ser útil en los planes destinados a minimizar las consecuencias de los sucesos de intrusión temporales.

## ASPECTOS NO RADIOLÓGICOS

3.21. Los desechos procedentes de las actividades de extracción y tratamiento también darán origen a peligros no radiológicos para los seres humanos y el medio ambiente. Algunos de estos peligros no radiológicos serán similares a los derivados de otras actividades de extracción y tratamiento. Tanto los peligros radiológicos como los no radiológicos deberían tenerse en cuenta al planificar la gestión de estos desechos.

3.22. Cualquier toxicidad química de los contaminantes radiactivos puede causar repercusiones ambientales nocivas en concentraciones muy inferiores a las necesarias para que se produzcan efectos radiológicos. Esas concentraciones pueden producirse incluso en el caso de emisiones que cumplen con los criterios establecidos específicamente para la protección radiológica de los seres humanos, sobre todo si el grupo crítico se halla alejado de la fuente.

3.23. Estas posibles repercusiones deberían considerarse en la etapa de planificación de un proyecto de extracción y tratamiento y deberían reevaluarse periódicamente durante toda la vida del proyecto. Debería aplicarse una buena práctica de extracción acorde con la necesidad de protección radiológica mientras se trata de reducir al mínimo los términos fuente de los contaminantes, las cargas de sedimentos y la generación de ácidos mediante un diseño, construcción, explotación y cierre cuidadosos. Las emisiones de contaminantes y sedimentos al medio receptor deberían estar en conformidad con los criterios establecidos por el órgano regulador competente.

3.24. Deberían considerarse varios procesos para evaluar estas repercusiones. Por ejemplo, los contaminantes pueden transportarse al medio ambiente por la filtración y por el escurrimiento superficial (contaminantes disueltos y

sedimentos suspendidos) y en los efluentes de minas. El drenaje de ácidos de las minas plantea una preocupación especial en lo que respecta a los minerales sulfurosos. La generación de ácidos puede provocar una reducción del pH de los sistemas hídricos adyacentes y un incremento en la movilización de los contaminantes, en particular metales pesados, lo que puede afectar desfavorablemente a los ecosistemas de aguas superficiales. Además de los efectos químicos, los sedimentos derivados de la erosión en las instalaciones de gestión de desechos pueden aumentar la turbidez o causar sedimentación excesiva en los sistemas de aguas superficiales dentro de la cuenca y dañar los ecosistemas aguas abajo.

## **4. ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS**

### GENERALIDADES

4.1. Los principios de la gestión de desechos radiactivos enunciados en las Nociones Fundamentales de Seguridad del OIEA (véase la referencia [3], párrafo 107) son aplicables a los objetivos de las estrategias de gestión de desechos elaboradas para los desechos de la extracción y el tratamiento.

4.2. La creación de una estrategia de gestión de desechos suele ser un proceso complejo que tiene la finalidad de lograr un equilibrio razonable entre dos objetivos a menudo contrapuestos: la maximización de la reducción de riesgos y la minimización de los gastos financieros. Se trata de un proceso de optimización de la protección en que las alternativas de que se dispone para la selección del emplazamiento, el diseño y construcción, la explotación, la gestión de las corrientes de desechos y el cierre se evalúan y comparan teniendo en cuenta todos los beneficios y perjuicios conexos y las restricciones (como una restricción de dosis anual) que deben imponerse. Las características de las alternativas (u opciones) que deberían considerarse son, entre otras, las siguientes:

- a) Repercusiones radiológicas y no radiológicas en la salud humana y el medio ambiente durante la explotación y en el futuro;
- b) Requisitos para la supervisión, el mantenimiento y el control durante la explotación y después del cierre;
- c) Restricciones en el uso futuro de la propiedad o los recursos hídricos;
- d) Costos financieros de las diversas alternativas y recursos disponibles para ponerlas en práctica;

- e) Volúmenes de los diversos desechos que se habrán de gestionar;
- f) Repercusiones socioeconómicas, incluidos los asuntos relacionados con la aceptación del público;
- g) Buenas prácticas de ingeniería.

4.3. Para decidir cómo gestionar los desechos procedentes de la extracción y el tratamiento se considerarían, entre otras medidas, las siguientes:

- a) Definición de los criterios para la protección de la salud humana y el medio ambiente;
- b) Caracterización de los desechos;
- c) Determinación y caracterización de opciones para el emplazamiento;
- d) Determinación y caracterización de las opciones de gestión de desechos, incluso los controles técnicos;
- e) Especificación y descripción de opciones para el control institucional;
- f) Individualización y descripción de posibles fallos de los controles institucionales y técnicos;
- g) Determinación y caracterización del grupo crítico de la población;
- h) Estimación de las consecuencias radiológicas y de otra índole para cada combinación de opciones que se considere (“análisis de la seguridad”), incluso escenarios de exposición potencial para cada opción;
- i) Comparación de las dosis y los riesgos estimados con restricciones apropiadas;
- j) Optimización de la protección para acordar la opción de gestión preferida.

4.4. Deberían definirse claramente los criterios y procedimientos de evaluación empleados para seleccionar las opciones preferidas y elaborar la estrategia de gestión de desechos que establecerá el equilibrio óptimo entre los aspectos antedichos, y deberían presentarse a las distintas partes interesadas en el proyecto, incluido el público.

4.5. El diseño de las instalaciones de extracción y tratamiento influirá en la optimización de la protección contra la exposición debida a los desechos radiactivos y, por tanto, debería considerarse teniendo presente la gestión de desechos. Las actividades de extracción y tratamiento deberían concebirse de manera que reduzcan, en la mayor medida posible, la cantidad de desechos que deberá de gestionarse. Esto puede lograrse eligiendo métodos de extracción y procesos de tratamiento apropiados, así como mediante el reciclado y reutilización del equipo, los materiales y los desechos.

4.6. El cierre de las instalaciones de gestión de desechos debería considerarse en todas las fases de la extracción y el tratamiento, es decir, durante la selección del emplazamiento, el diseño, la construcción y la explotación. La planificación para la gestión de la extracción y el tratamiento de desechos en el cierre no debería demorarse hasta la etapa del cierre. Por ejemplo, la adopción de medidas en una etapa inicial para reducir la migración de la contaminación transportada en el agua y en el aire al medio circundante facilitará la gestión de la fase del cierre.

4.7. El diseño, construcción, explotación y cierre de las instalaciones para la gestión de desechos de la extracción y el tratamiento deberían estar en conformidad con los elementos de un programa de garantía de calidad como el que se explica a grandes rasgos en la sección 7. En particular, las instalaciones deberían construirse, explotarse y cerrarse sólo con arreglo a planes y procedimientos aprobados.

4.8. En los párrafos 4.9 a 4.27 se reseñan las características importantes y los rasgos deseables de las opciones que deberían considerarse en la selección del emplazamiento y la gestión de los desechos de la extracción y el tratamiento, en los aspectos del diseño, construcción, explotación y cierre de las instalaciones, y en los procedimientos para la emisión de los materiales.

## OPCIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS

### **Residuos**

4.9. De las diferentes corrientes de desechos producidas en las operaciones de extracción y tratamiento, los residuos representan el mayor desafío, sobre todo en lo relativo a la gestión a largo plazo, dados los grandes volúmenes producidos y su contenido de radionucleidos de período muy largo y metales pesados. La opción de gestión preferida para alcanzar los objetivos de la protección dependerá de las condiciones específicas del emplazamiento, las características de la pila de mineral, los elementos específicos de los procesos de extracción y tratamiento, y las características de los residuos.

4.10. Para cumplir con los principios de la gestión de desechos radiactivos [3], el acceso a los elementos peligrosos de los residuos debería restringirse por largos períodos en el futuro, así como su dispersión en el medio. Las cuestiones fundamentales que deberían considerarse en el diseño de una instalación de gestión de residuos son, entre otras, las siguientes:

- a) La estabilidad del pozo, el vacío subterráneo de la mina, o el embalse superficial en relación con procesos naturales como terremotos, inundaciones y erosión.
- b) Las características hidrológicas, hidrogeológicas y geoquímicas del emplazamiento.
- c) Las características químicas y físicas de los residuos en relación con las posibilidades de generación y transporte de contaminantes.
- d) El volumen de materiales que quedará en el emplazamiento en calidad de desechos.
- e) El empleo de agentes de neutralización, aditivos de precipitación de radio, revestimientos artificiales o naturales, barreras y circuitos de evaporación del radón, y su consiguiente fiabilidad, longevidad y durabilidad.

4.11. Debería efectuarse una investigación exhaustiva de estas cuestiones en una etapa temprana al considerar las opciones para la gestión de los residuos. En otras publicaciones del OIEA [18, 19] pueden obtenerse detalles sobre la aplicación de tecnologías de interés.

4.12. En el diseño de una instalación para la gestión de residuos deberían incorporarse sistemas de drenaje para consolidar los residuos antes del cierre y reducir la presión de agua intersticial en exceso. En el caso de un embalse superficial o un pozo, esto podría lograrse instalando un sistema de drenaje antes o en el curso de la colocación de los residuos, o introduciendo mechas de drenaje en los residuos después de colocarlos. La base y la cubierta del embalse deberían construirse con un material de poca permeabilidad, y si es posible utilizando material de origen natural. La adición de un agente estabilizador (como cemento) a los residuos inmediatamente antes de su deposición tiene la posibilidad de reducir de manera considerable la permeabilidad de la pila de residuos, retardando así el transporte de contaminantes y frenando el paso de agua intersticial. Ahora bien, en algunos casos una cubierta confinada de agua de baja calidad en un pozo puede poseer excelentes características como barrera del radón, obviando de este modo la necesidad de aplicar medidas de avenamiento en un grado importante. La decisión sobre qué enfoque adoptar debería optimizarse para que las características de la barrera se ajusten a las condiciones del emplazamiento disponible. En el caso de la disposición final en minas subterráneas, el aumento de la integridad estructural obtenido gracias al uso de hormigón en la pila de residuos puede posibilitar que se prosiga la extracción en un lugar inmediatamente adyacente a los residuos. Antes de adoptar esta estrategia, deberían investigarse atentamente las posibles interacciones químicas entre el agente estabilizador, los residuos y la roca hospedante con el fin de

garantizar que el transporte de contaminantes no aumente en algún momento en el futuro.

4.13. Además de la disposición final de los residuos en embalses superficiales, pozos abiertos y vacíos de minas subterráneas, hay otras opciones para la gestión de desechos, como la deposición de los residuos en lagos. No obstante, algunas de estas opciones quizás no sean aceptables para los reguladores o el público, y requerirían más estudio y evaluación.

4.14. El principio de que no se impongan cargas indebidas a las futuras generaciones lleva a la conclusión de que un enfoque de diseño pasivo con vista al cierre es preferible a uno que exija un mantenimiento continuo y considerable. Este enfoque pasivo en general se logra mejor recurriendo a la disposición final en pozos excavados específicamente para este fin, en pozos agotados o en vacíos de minas subterráneas de emplazamientos geológicamente estables. Esta opción puede eliminar o reducir notablemente la necesidad de la disposición final de los residuos en la superficie. La disposición final de desechos debajo de la superficie por lo general hace menos susceptible el material a la erosión superficial causada por el medio y la intrusión, y suele requerir menos mantenimiento que los embalses superficiales de residuos. El cierre entraña el sellado de las aberturas que van hacia la instalación de disposición final subterránea, aislándola así de la superficie.

4.15. Para la disposición final subterránea de los residuos, siempre que se consideren suficientemente pocas las probabilidades de perturbación geológica y de intrusión humana en el emplazamiento, quizás no se precisen otros controles que no sean el archivo de los detalles del lugar y las características de los desechos, y la supervisión del emplazamiento durante un período limitado.

4.16. El enfoque de diseño pasivo debería considerarse una opción que probablemente sea más objetiva para optimizar la protección radiológica en las instalaciones nuevas de gestión de desechos. Por ejemplo, cuando los residuos pueden depositarse en pozos agotados, los diseños pasivos pueden ser parcial o incluso totalmente realizables y servir de base para la estrategia óptima.

4.17. Es posible que la disposición final subterránea de desechos de la extracción en un emplazamiento en particular no sea viable a causa de problemas específicos del emplazamiento para los cuales no se puedan determinar soluciones técnicas o de su costo prohibitivo. En tales casos, el uso de embalses superficiales artificiales puede ser la única opción viable y debería tenerse en cuenta.

4.18. Pueden encontrarse soluciones técnicas prácticas para algunos problemas específicos del emplazamiento asociados con las instalaciones de disposición final de residuos debajo de la superficie. Por ejemplo, si la conductividad hidráulica de la pila de residuos es mayor que la de la roca hospedante circundante, el uso de una envoltura muy permeable en torno a los residuos debería considerarse como medio para desviar las aguas subterráneas que rodean estos residuos. En el caso de un acuífero pequeño y confinado que intersecte un pozo o una pared de mina subterránea, debería considerarse la posibilidad de una inyección de mortero localizada.

4.19. La pasividad deseada en el cierre de una instalación dentro de un pozo puede conseguirse mediante el terraplenado y el recubrimiento con materiales naturales o mediante el establecimiento de una piscina de agua permanente por encima de los residuos. En esta última opción debería considerarse la aplicación de una cubierta de poca permeabilidad a los desechos para reducir el contacto con el agua de la piscina. Las condiciones subsuperficiales deberían investigarse plenamente con objeto de obtener suficiente información que contribuya a asegurar que la presión hidráulica sobre el pozo terraplenado no ocasione problemas de contaminación de las aguas subterráneas en el futuro.

4.20. En cuanto a las opciones relacionadas con la gestión de residuos en embalses superficiales, éstos deberían colocarse en estructuras fabricadas con poca permeabilidad a los efectos de reducir la filtración. Una opción de cierre en la superficie normalmente exigirá mayor control institucional que una opción de disposición final subterránea. Deberían ponerse en práctica programas de supervisión y mantenimiento durante la explotación, el cierre y la fase posterior al cierre. Este concepto entrañaría costos iniciales más bajos pero costos permanentes más altos.

4.21. Normalmente no se espera que la opción de trasladar los residuos a un emplazamiento más favorable para el cierre sirva de estrategia óptima para la gestión dados los grandes volúmenes de desechos de la extracción y el tratamiento que intervendrían. No obstante, si se estudia la posibilidad de trasladar los desechos, deberían considerarse en la optimización todas las repercusiones radiológicas y no radiológicas significativas que pueda introducir el propio traslado, incluidas las cuestiones relativas al transporte de grandes volúmenes de desechos.

4.22. Quizás sean apropiadas otras estrategias de disposición final de residuos del tratamiento basadas en enfoques diferentes con respecto a la evaluación de los riesgos, y éstas deberían evaluarse caso por caso. Por ejemplo, podrían aceptarse

pequeñas cantidades de estos residuos para someterlos a disposición final en instalaciones concebidas para desechos radiactivos de actividad baja, siempre que se cumplan los criterios de aceptación de desechos de la instalación.

## **Otros desechos**

4.23. Otros desechos sólidos y líquidos generados en la extracción y el tratamiento de minerales que deberían gestionarse durante toda la vida útil de las instalaciones de extracción y tratamiento son, por ejemplo, los lodos, los materiales contaminados, la roca estéril, la roca estéril mineralizada, las aguas industriales, los fluidos de lixiviación, la filtración y el escurrimiento. De estos otros desechos, la roca estéril y la roca estéril mineralizada suelen ser las más difíciles de gestionar. La gestión de lodos y materiales contaminados debería atenerse a los requisitos y recomendaciones establecidos en otras normas de seguridad del OIEA [10, 20]. Debería asegurarse de que todos los materiales colocados en la instalación de disposición final de residuos cumplan los requisitos aplicables al cierre.

4.24. Aunque los peligros radiológicos asociados con la roca estéril y la roca estéril mineralizada suelen ser menos importantes que los vinculados a los residuos, seguirá habiendo peligros no radiológicos y debería reconocerse que con frecuencia éstos son una de las cuestiones más importantes que hay que tener en cuenta en la selección y optimización de las opciones de gestión. Hay muchas opciones posibles para gestionar roca estéril y roca estéril mineralizada. La opción de gestión óptima dependerá de la mineralogía, radiactividad y reactividad química en particular de estos desechos.

4.25. Entre las opciones para la gestión de la roca estéril y la roca estéril mineralizada se puede tomar en consideración su uso como material de terraplenado en pozos abiertos y en minas subterráneas, y para fines de construcción en el emplazamiento de la mina. Debería tenerse en cuenta la necesidad de recubrir la roca estéril mineralizada con roca estéril inerte.

4.26. Al igual que en el caso de los residuos, debería considerarse el grado en que las diversas opciones ayudarán a garantizar que cuando las pilas de roca estéril y roca estéril mineralizada se gestionen en la superficie, éstas sean estables y resistentes a la erosión y la infiltración del agua de lluvia, y no provoquen repercusiones ambientales inaceptables en la cuenca.

4.27. Los desechos líquidos principales son, entre otros: las aguas industriales; los fluidos de lixiviación; el escurrimiento del agua de lluvia procedente de la



zona de la planta de tratamiento, de la zona de gestión de desechos y de las existencias de minerales; la filtración de los residuos de tratamiento, de las existencias y de las zonas de disposición final de roca estéril; y las aguas de las minas (por ejemplo, las aguas subterráneas que han pasado a pozos abiertos o minas subterráneas). Todos los desechos líquidos deberían gestionarse atendiendo a su calidad y cantidad, habida cuenta de sus repercusiones en el medio ambiente y la salud humana, y no en función de sus orígenes. El sistema de gestión del agua debería estar concebido para minimizar el volumen de agua contaminada. Esto podría lograrse, por ejemplo, reutilizando las aguas residuales en el circuito industrial y utilizando aguas residuales para la supresión de polvo.

## **5. ASPECTOS DE SEGURIDAD EN LAS DIVERSAS FASES DE LAS OPERACIONES**

### **SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO**

5.1. La instalación de gestión de residuos suele encontrarse cerca de la fábrica, la que puede estar alejada del emplazamiento de la mina. No obstante, aún es posible, sobre todo en el caso de una mina nueva que no haya sido desarrollada todavía, determinar el emplazamiento óptimo para las instalaciones de gestión de desechos con respecto a la protección de la salud humana y el medio ambiente, y a los aspectos económicos. En la selección del emplazamiento y el diseño de las instalaciones de gestión de desechos debería preverse la recogida y contención eficaces de las aguas y se debería impedir la desviación de desechos del emplazamiento que no sea la que se haga mediante descargas autorizadas o mediante la exención autorizada del control reglamentario.

5.2. Debería realizarse una evaluación preliminar de las características del emplazamiento con objeto de determinar las restricciones, en función de los factores radiológicos y ambientales, en cada uno de los lugares propuestos, y posibilitar la selección de un número reducido de lugares y posibles conceptos preliminares de diseño para los que puedan evaluarse las repercusiones a fondo. La selección final optimizada del emplazamiento obtenida con el empleo del diseño conceptual para la gestión de desechos debería ser evaluada y la evaluación de seguridad resultante, que podría formar parte de la evaluación de las repercusiones ambientales, debería presentarse al órgano regulador para su examen.

5.3. En la selección del emplazamiento para las instalaciones de gestión de desechos, los aspectos importantes del proceso de optimización que deberían tenerse en cuenta, sobre todo para reducir la necesidad de controles institucionales a largo plazo después del cierre, son, entre otros, los siguientes:

- a) Climatología y meteorología;
- b) Geografía, geomorfología, demografía y uso de la tierra;
- c) Geología y sismología estructural;
- d) Geoquímica;
- e) Mineralogía;
- f) Aguas superficiales e hidrología de aguas subterráneas;
- g) Flora y fauna;
- h) Cuestiones de arqueología y patrimonio;
- i) Niveles de radiación natural de fondo;
- j) Cuestiones de aceptación del público.

5.4. Algunas de estas características se examinan en la referencia [4] en lo que respecta a la selección del emplazamiento de las instalaciones de gestión de desechos y en lo que afectan a la seguridad.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

5.5. El diseño técnico detallado de las instalaciones de gestión de desechos puede avanzar después que el órgano regulador haya aprobado el emplazamiento y el diseño conceptual. En esta etapa debería realizarse una nueva evaluación de la seguridad, incluida la optimización de la protección. En la figura 1 se presenta un ejemplo del proceso de reglamentación para las nuevas instalaciones de gestión de desechos de la extracción y el tratamiento. Si se efectúan cambios importantes en el diseño de las instalaciones de gestión de desechos en cualquier momento, debería realizarse una nueva evaluación de la seguridad, incluida la optimización de la protección.

5.6. El diseño detallado debería complementarse, según corresponda, con trabajo de campo y laboratorio o estudios de la planta piloto y con evaluaciones de las repercusiones radiológicas y ambientales. En el diseño debería incluirse un plan de gestión de desechos que abarque la gestión de residuos y roca estéril, el tratamiento de efluentes, los controles de filtración y la supervisión operacional. El diseño y la construcción de las instalaciones de gestión de desechos deberían emprenderse en el marco del programa de garantía de calidad y deberían incluir procedimientos de control de calidad. Deberían aplicarse buenas prácticas de

extracción en la medida posible y en consonancia con los requisitos de protección radiológica, de modo que en el diseño de las instalaciones de gestión de desechos:

- a) Se aprovechen al máximo materiales naturales para la contención;
- b) Se emplee al máximo la opción de la colocación de los desechos bajo la superficie, o en algunos casos bajo el agua;
- c) Se minimicen las repercusiones en el medio ambiente circundante durante las operaciones y después del cierre;
- d) Se minimice la necesidad de recuperar o trasladar los desechos en el momento del cierre;
- e) Se minimice la necesidad de vigilancia y mantenimiento durante las operaciones y para los controles institucionales después del cierre.

5.7. Durante el diseño de las instalaciones debería elaborarse un plan preliminar de cierre que, a nivel conceptual, determine y categorice las opciones disponibles para su cierre según los resultados de la evaluación de la seguridad y la optimización de la protección. En él también deberían especificarse las provisiones financieras necesarias para la opción preferida. El plan preliminar de cierre debería presentarse al órgano regulador para su aprobación.

## EXPLOTACIÓN

5.8. Las instalaciones de gestión de desechos deberían explotarse de conformidad con la estrategia de gestión de desechos, la evaluación de la seguridad, la autorización o licencia, y un plan de gestión de desechos. En este plan deberían indicarse en detalle todos los aspectos de la gestión de los desechos. Además, el plan debería ser compatible con el programa de garantía de calidad y por tanto, debería incluir disposiciones con respecto a lo siguiente:

- a) Procedimientos detallados y documentados para la explotación, el mantenimiento, la supervisión, la garantía de calidad y la seguridad;
- b) Capacitación del personal en la aplicación de los procedimientos;
- c) Supervisión y mantenimiento adecuados de todas las estructuras, los sistemas y los componentes de la instalación de gestión de desechos que sean importantes para la seguridad;
- d) Un sistema de zonas controladas y supervisadas y procedimientos de dispensa para materiales extraídos del emplazamiento;
- e) Presentación oportuna al órgano regulador de informes de inspección, resultados de actividades de supervisión e informes sobre incidentes insólitos;

- f) La elaboración y puesta a prueba mediante ejercicios, según proceda, de planes de contingencia para determinar fallos de las instalaciones de gestión de desechos que puedan menoscabar considerablemente la protección de la salud humana o el medio ambiente.

5.9. Durante las operaciones deberían adoptarse medidas que estén en consonancia con la evaluación de la seguridad para limitar las tasas de emisión al medio ambiente de contaminantes en efluentes líquidos y gaseosos [21]. Deberían aplicarse medidas para que los desechos sólidos se mantengan debidamente bajo control con el fin de evitar el uso indebido de los residuos. Deberían minimizarse las emisiones de radón o polvos radiactivos en la atmósfera y de radio u otros radionucleidos en las aguas superficiales y las aguas subterráneas causadas por el escurrimiento superficial o la lixiviación de desechos sólidos.

## CIERRE

5.10. Los planes preliminares de cierre deberían modificarse periódicamente durante la explotación de las instalaciones de gestión de desechos para que queden consignados los cambios importantes, los adelantos tecnológicos y los requisitos reglamentarios. El mecanismo o los mecanismos que garanticen los fondos necesarios para cumplir los requisitos para el cierre y la fase posterior al cierre deberían actualizarse según sea necesario. El órgano regulador debería evaluar los planes actualizados y los mecanismos financieros.

5.11. Cuando ya no se requiera una parte de las instalaciones de gestión de desechos, ésta debería cerrarse en la medida posible durante las operaciones (p. ej., el cierre de una pila de roca estéril).

5.12. En un momento acordado con el órgano regulador, y al menos cinco años antes de la fecha de cierre prevista, el explotador debería presentar un plan final de cierre para que sea aprobado desde el punto de vista reglamentario. El cierre debería tener por objetivo asegurar que las instalaciones de gestión de desechos queden en condiciones que garanticen su cumplimiento ininterrumpido de los requisitos de protección de la salud humana y el medio ambiente.

5.13. El plan de cierre debería armonizarse en la medida posible con el calendario de clausura de las estructuras superficiales y el equipo. La clausura de estas estructuras y equipo se ha tratado en otras normas de seguridad del OIEA [1, 10]. La gestión de desechos derivados de actividades de la clausura puede combinarse

con la gestión del cierre de las instalaciones de disposición final de desechos procedentes de operaciones, siempre que esto no plantee problemas; como por ejemplo, que se creen vacíos en la pila de residuos. Esto se logra con más eficacia cuando la clausura se lleva a cabo antes del cierre, o al mismo tiempo.

## EXENCIÓN DEL CONTROL REGLAMENTARIO

5.14. Antes de poner a disposición del público materiales, equipo, estructuras o el emplazamiento para uso general o restringido, deberían establecerse criterios reglamentarios para, entre otros fines, los siguientes:

- a) La exención del control reglamentario de materiales, equipo, estructuras, suelo y roca;
- b) La reutilización autorizada o el reciclado de equipo, estructuras y materiales;
- c) La liberación de todo el emplazamiento para su uso autorizado (según los planes futuros) al final del cierre.

Cada uno de estos conjuntos de criterios debería establecerse atendiendo a escenarios de exposiciones realistas.

5.15. En las referencias [17, 22, 23] pueden obtenerse orientaciones sobre la exención del control reglamentario y sobre los niveles de descontaminación.

## **6. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD**

### GENERALIDADES

6.1. En la evaluación de la seguridad convendría indicar cómo deberían diseñarse las instalaciones de gestión de desechos para brindar protección óptima a los trabajadores, el público y el medio ambiente. El explotador debería elaborar una evaluación de la seguridad, que actualizaría cuando fuese necesario, en apoyo de las solicitudes que se presenten al órgano regulador para que éste apruebe establecer, explotar o modificar instalaciones de gestión de desechos de la extracción y el tratamiento. También debería elaborarse oportunamente una

evaluación de la seguridad para las instalaciones existentes, si no se dispone de ninguna.

6.2. La evaluación de la seguridad debería abarcar las fases operacional, de cierre y posterior al cierre de la instalación. El alcance y magnitud de la evaluación deberían estar en consonancia con las cuestiones específicas del emplazamiento que deberían abordarse. Los resultados de la evaluación inicial de la seguridad deberían tenerse en cuenta en la elección del emplazamiento y el diseño de las instalaciones de extracción y tratamiento. En la evaluación deberían considerarse todos los escenarios importantes y las vías mediante las cuales los trabajadores, el público y el medio ambiente pueden estar sometidos a peligros radiológicos y no radiológicos. Cuando sea posible, y cuando lo justifique la importancia de las posibles repercusiones, esta evaluación debería ser cuantitativa. Su alcance y profundidad deberían ser suficientes para poder determinar y evaluar todos los componentes de riesgos de interés en los períodos correspondientes de la vida útil de las instalaciones. Los modelos y métodos empleados deberían posibilitar la comparación coherente de los efectos de los diversos peligros en las distintas opciones de gestión.

6.3. En la evaluación de la seguridad, todas las instalaciones de gestión de desechos del emplazamiento deberían considerarse de conjunto con las características de la mina y la fábrica y con las otras instalaciones cercanas que puedan influir en los métodos disponibles para la gestión de los desechos. Debería optimizarse la seguridad del sistema de gestión de desechos junto con la de la mina y la fábrica como un todo. La evaluación será iterativa, los análisis se perfeccionarán y los modelos y la información de entrada se actualizarán a medida que avance el proceso desde la formulación del concepto hasta el diseño, la construcción, la explotación y el cierre.

6.4. Todas las medidas incluidas en la evaluación de la seguridad acarrearán incertidumbres en la manipulación de la información de entrada. Estas incertidumbres obedecen a lo siguiente:

- a) Aproximaciones inherentes a sistemas complejos de elaboración de modelos;
- b) Limitaciones en la comprensión de los procesos que determinan el comportamiento del emplazamiento y el sistema de gestión de desechos, e incertidumbres en los parámetros pertinentes;
- c) Incertidumbres en las condiciones futuras pertinentes (por ejemplo, las condiciones demográficas, la eficacia del control institucional, las condiciones climáticas) durante largos períodos;

d) Incertidumbres acerca de la probabilidad y magnitud de sucesos externos como terremotos e inundaciones que podrían afectar a la integridad de los sistemas de gestión de desechos.

6.5. Estas incertidumbres deberían evaluarse y tenerse en cuenta durante toda la evaluación de modo que se evidencie la solidez de las conclusiones extraídas de la evaluación.

6.6. Algunas de las incertidumbres pueden reducirse, aunque no eliminarse, mediante una mejor caracterización del emplazamiento, el perfeccionamiento de los modelos o la obtención de datos más específicos del emplazamiento. El regulador debería decidir qué fuentes de incertidumbre deben ser abordadas en la evaluación de la seguridad, en particular las que tendrán que ser consideradas en el futuro lejano.

## CRITERIOS DE SEGURIDAD

6.7. En cumplimiento de las recomendaciones de la sección 3, deberían especificarse criterios aplicables a la protección radiológica de los trabajadores durante las operaciones y del público en cuanto a las emisiones que se producen durante las operaciones y las que se prevé que ocurran después del cierre. También deberían definirse los criterios para la protección del medio ambiente contra los peligros radiológicos y no radiológicos. El órgano regulador competente debería determinar todos estos criterios antes de la evaluación del sistema de gestión de desechos propuesto.

## CARACTERIZACIÓN DE LOS DESECHOS

6.8. Los desechos que se generen en las operaciones de extracción y tratamiento deberían definirse adecuadamente en función del proceso operacional y de las características del emplazamiento. Deberían tenerse en cuenta elementos como el tipo de desechos, los volúmenes previstos, las cuestiones relativas a la química y los minerales presentes en los desechos. En las referencias [18, 24] se presentan otras recomendaciones, orientaciones y aspectos relacionados con la caracterización de los desechos.

## DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE OPCIONES PARA EL EMPLAZAMIENTO

6.9. Los posibles emplazamientos para los desechos de la extracción y el tratamiento deberían seleccionarse atendiendo a los aspectos señalados en la sección 4. Las características de los posibles emplazamientos determinarían la generación de contaminantes y su transporte desde los emplazamientos. Deberían determinarse estas características y especificarse los modelos apropiados de términos fuente y de transporte de contaminantes, así como sus parámetros asociados.

6.10. Antes de que comience a funcionar la instalación de gestión de desechos deberían acopiarse los datos ambientales de referencia. Estos datos deberían utilizarse, según proceda, para la calibración y validación de los modelos y para establecer niveles de referencia con miras a las actividades de supervisión y vigilancia desarrolladas durante todas las fases de la vida útil de la instalación de gestión de desechos. Deberían determinarse los valores medios para los contaminantes radiactivos y no radiactivos con respecto a los lugares situados dentro y alrededor de los emplazamientos de la instalación de gestión de desechos propuesta, así como los intervalos en los niveles de fondo de estos contaminantes.

6.11. Si las instalaciones están en funcionamiento, el emplazamiento y su entorno deberían caracterizarse lo antes posible. Las características principales que habría que evaluar deberían ser semejantes a las utilizadas para el estudio de referencia.

## DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE OPCIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS, INCLUIDOS LOS CONTROLES TÉCNICOS

6.12. Las posibles opciones para la gestión de desechos deberían determinarse en consonancia con los aspectos indicados en la sección 5. Debería considerarse una amplia variedad de opciones para el análisis inicial. El comportamiento de las diversas opciones para la gestión de desechos debería modelarse utilizando modelos y valores de parámetros apropiados.

## DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE OPCIONES PARA EL CONTROL INSTITUCIONAL

6.13. El explotador debería determinar qué controles institucionales pueden ser aplicables después del cierre de la instalación de gestión de desechos, y describir



sus características fundamentales, entre ellas el período en que pueda suponerse que siguen siendo eficaces. Estos controles deberían proponerse al órgano regulador y ser examinados como parte del plan de cierre. En la sección 3 se formulan orientaciones.

## DETERMINACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE POSIBLES FALLOS DEL CONTROL INSTITUCIONAL Y TÉCNICO

6.14. A los fines de estimar las posibles exposiciones, deberían considerarse los posibles sucesos que podrían coadyuvar al aumento de los riesgos en el futuro. Estos sucesos, incluidos los fallos de los controles institucionales y técnicos, se clasifican en las siguientes categorías:

- a) Actividades humanas (por ejemplo, intrusión, agricultura, construcción en zonas en que se gestionaron desechos con anterioridad, desviación no autorizada y uso de desechos radiactivos);
- b) Procesos naturales y sucesos que pueden afectar a la integridad de las estructuras de contención (por ejemplo, erosión, inundación, terremotos);
- c) Procesos internos (por ejemplo, generación de ácidos, efectos de la meteorización, fallo de la pendiente de contención, asentamiento diferencial).

6.15. Como se señala en la sección 3, quizás sea apropiado suponer que los controles institucionales impedirán la intrusión humana y el uso inadecuado de la tierra durante un período determinado. El explotador debería recomendar el establecimiento de este período como parte del plan global de cierre, y lo debería aprobar el órgano regulador. El período en que se supone que los controles técnicos sigan siendo eficaces debería basarse en una evaluación técnica en que se tengan en cuenta factores como la erosión, la sismología, la hidrología, la hidrogeología, la generación de ácidos, y otros procesos físicos y químicos que pueden afectar a la integridad de las estructuras técnicas o la emisión de radionucleidos de los desechos al medio ambiente. Deberían elaborarse modelos apropiados en que se describan estos fallos para incorporarlos al análisis de la seguridad.

## ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD

6.16. El análisis de la seguridad forma parte de la evaluación general de la seguridad. Deberían efectuarse análisis de la seguridad para estimar exposiciones

ocupacionales, exposiciones del público y repercusiones ambientales. Con respecto a las exposiciones del público, en el análisis de la seguridad deberían cuantificarse las exposiciones incrementales derivadas de los desechos que rebasen la exposición debida a los niveles de radiación natural de fondo. Estos análisis deberían reiterarse a medida que se perfeccionen las opciones referentes a la selección del emplazamiento, la gestión y los controles institucionales y técnicos. Un análisis de la seguridad debería incluir, según corresponda, lo siguiente:

- a) Examen de todos los radionucleidos conexos, los procesos químicos y físicos de interés, las vías y los escenarios de exposición de modo que sirvan de base de comparación con las restricciones de dosis y de riesgos, y los criterios de protección del medio ambiente;
- b) Estudio de sucesos, incluso sus probabilidades, que podrían provocar una emisión de radionucleidos u otros contaminantes, o que podrían afectar a sus tasas de emisión o sus tasas de transporte a través del medio ambiente;
- c) Estimación de las dosis de radiación que probablemente reciban los trabajadores durante las operaciones;
- d) Estimación de las dosis de radiación y los riesgos para los miembros del público, y concretamente para el grupo crítico, por diferentes vías, y estimación de las repercusiones ambientales durante las operaciones y después del cierre;
- e) Análisis de incertidumbres y análisis de sensibilidad, según proceda, con el fin de determinar los posibles orígenes de los riesgos mayores.

6.17. En el caso de exposiciones durante la explotación y después del cierre, por lo general basta considerar escenarios y formular hipótesis basadas en los estilos de vida y las condiciones de vida de las personas que residan en las inmediaciones de las instalaciones de gestión de desechos.

## COMPARACIÓN DE LAS DOSIS Y LOS RIESGOS ESTIMADOS CON LAS RESTRICCIONES

6.18. Para cada emplazamiento habrá una o más opciones en materia de gestión de desechos. Cada una de estas opciones tendrá una diversidad de controles institucionales y técnicos apropiados. Para cada uno de estos controles institucionales y técnicos habrá formas específicas en que pueden fallar, cada una con consecuencias determinadas. Las dosis (y los riesgos, según proceda) para cada una de las combinaciones antes señaladas deberían compararse con las restricciones pertinentes para la fase operacional y la posterior al cierre, como se

indica en la sección 3. Deberían descartarse las combinaciones de opciones que sobrepasen una restricción. Las demás deberían considerarse en el análisis de optimización (véase una ilustración de este proceso en la figura 2).

6.19. En el caso de las instalaciones de gestión de desechos existentes, podría rebasarse una o más de las restricciones para cada combinación posible de opciones consideradas. Al determinar la opción preferida en el análisis de optimización, debería tenerse en cuenta la imposibilidad de una opción de cumplir una o más de las restricciones. En la sección 3 figuran orientaciones para casos como éste.

## OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN

6.20. La protección se optimiza cuando la reducción aún mayor de las dosis que se consiga no justifique que se adopten otras medidas para controlar las dosis. Para la protección del público deberían examinarse las combinaciones de opciones de gestión de desechos que cumplan las restricciones de dosis o riesgos antes indicadas.

6.21. Hay varias técnicas de ayuda a la adopción de decisiones (mencionadas en los párrafos 6.22 a 6.24). La técnica elegida debería ser adecuada para la complejidad del caso que se evalúe en particular y para el número de factores que el órgano regulador decida que se deben tener en cuenta.

6.22. Si el costo asociado a las distintas opciones es el único factor que hay que tener en cuenta, podría utilizarse entonces un análisis costo-beneficio de carácter cuantitativo. En este caso, debería considerarse lo siguiente:

- a) Período en el que habrán de integrarse las dosis de radiación y otras repercusiones (teniendo en cuenta el intervalo de tiempo en que es posible hacer previsiones significativas);
- b) Límites espaciales de las zonas dentro de las cuales se consideran las repercusiones;
- c) Valor monetario de las reducciones de riesgos para los seres humanos y de daños para el medio ambiente (en el caso de los riesgos radiológicos, el valor monetario que entraña evitar una unidad de dosis colectiva).

6.23. La dosis colectiva quizás no sea siempre un factor o atributo importante en la evaluación de las opciones de disposición final. En estos casos, los factores o atributos fundamentales determinarán la decisión. Para estos análisis más

complicados deberían utilizarse distintas técnicas de ayuda a la adopción de decisiones. Ejemplos son, entre otros, el análisis de utilidad teniendo en cuenta múltiples atributos y el análisis preferencial de criterios múltiples. En la optimización de la protección de los trabajadores [25] deberían tenerse en cuenta aspectos similares.

6.24. Deberían examinarse los resultados de una evaluación de la seguridad y las conclusiones de un proceso de optimización ulterior para comprobar su estabilidad con respecto a las incertidumbres inherentes. En las referencias [26 a 28] pueden obtenerse orientaciones sobre cómo llevar a cabo análisis de incertidumbres y análisis de sensibilidad.

## **7. GARANTÍA DE CALIDAD**

7.1. Está estipulado que el programa de garantía de calidad debe aplicarse durante el diseño, construcción, explotación y cierre de las instalaciones de gestión de desechos con el fin de asegurar que se mantenga la protección radiológica y no radiológica durante su explotación y de fomentar la confianza en la protección después de su cierre [2], [10] párrafo 7.6, [29].

7.2. El programa de garantía de calidad debería incluir, como mínimo, las tareas siguientes:

- a) Deberían definirse y comprenderse las responsabilidades organizativas.
- b) En el diseño y construcción debería emplearse tecnología comprobada que se ajuste a los códigos y normas nacionales aprobados.
- c) Deberían comprobarse periódicamente el diseño, su aplicación y el funcionamiento de las instalaciones de gestión de desechos para garantizar que el diseño, la construcción y explotación de esas instalaciones se ajusten a lo previsto y que puedan corregirse las deficiencias.
- d) Los modelos y códigos utilizados en la evaluación de la seguridad deberían ser validados y verificados en la mayor medida posible.
- e) Debería establecerse un proceso de intercambio de información y deberían tenerse debidamente en cuenta los resultados de las evaluaciones de la seguridad. Convendría que hubiera una estrecha cooperación entre todas las partes interesadas en el desarrollo de las instalaciones de gestión de desechos con miras a lograr la solución óptima.

- f) Todas las personas que participen en el diseño, construcción, puesta en servicio, explotación y cierre de las instalaciones de gestión de desechos y cuya actuación pueda influir en la seguridad deberían recibir capacitación en un nivel apropiado y verificado.
- g) Debería establecerse un sistema de contabilidad y tramitación de documentos con el fin de conservar detalles adecuados de la construcción y explotación, incluso datos de la supervisión, y de controlar los cambios efectuados en las operaciones.
- h) La eficacia de la protección lograda en la gestión de los desechos debería evaluarse periódicamente.

7.3. La organización o las organizaciones en que recaiga la responsabilidad en general de la explotación, las actividades posteriores a la etapa de explotación, el cierre y el control institucional también deberían ser responsables del establecimiento y aplicación de los programas de garantía de calidad.

## **8. SUPERVISIÓN Y VIGILANCIA**

8.1. Debería elaborarse cuanto antes un programa de supervisión y vigilancia y, a reserva de la aprobación del órgano regulador, el explotador debería aplicarlo en todas las etapas de la vida útil de las instalaciones de gestión de desechos. Los documentos en que se registren los resultados del programa deberían conservarse en forma que se puedan consultar fácilmente [5, 19, 25]. El programa debería gestionarse en consonancia con los elementos de un programa de garantía de calidad, como el descrito en la sección 7. El programa de supervisión y vigilancia debería examinarse periódicamente y también después de que se introduzcan cambios importantes en las operaciones de gestión de desechos o en los requisitos de reglamentación.

8.2. El programa de supervisión y vigilancia debería tener, entre otros objetivos, los siguientes:

- a) Determinar condiciones de referencia o actuales;
- b) Aportar información específica del emplazamiento para utilizarla en la evaluación de la seguridad de los diseños propuestos;
- c) Verificar el cumplimiento de los reglamentos, las autorizaciones de descarga y los procedimientos;

- d) Suministrar datos a partir de los cuales puedan evaluarse las dosis de radiación en los trabajadores y los miembros del público debidas a las instalaciones de gestión de desechos;
- e) Verificar la eficacia de los diseños técnicos;
- f) Calibrar y validar modelos y verificar sus predicciones;
- g) Suministrar datos para posibles modificaciones de las autorizaciones de descarga;
- h) Establecer condiciones que promuevan el inicio de investigaciones y/o inspecciones no ordinarias, y preparar lo necesario para atender a esas condiciones;
- i) Detectar repercusiones ambientales;
- j) Verificar la condición física e integridad de las instalaciones de gestión de desechos.

8.3. El programa de supervisión y vigilancia para una instalación de gestión de desechos en particular debería basarse en la evaluación de la seguridad y deberían tenerse en cuenta factores específicos del emplazamiento (p. ej., clima, ubicación del emplazamiento, condiciones geológicas, diseño de las instalaciones, entorno fuera del emplazamiento, distribución de la población).

8.4. Los radionucleidos que se emitirán desde la instalación también están presentes en el medio natural (fondo natural). Deberían definirse las dosis debidas a la exposición a cada una de estas dos fuentes (radionucleidos provenientes de la instalación y radiación natural de fondo) con el fin de determinar si la emisión de radionucleidos debida a actividades realizadas en la instalación cumple con criterios apropiados.

8.5. En el programa de supervisión y vigilancia se deberían especificar los parámetros que habrán de supervisarse, los lugares y frecuencias de muestreo y registro de datos, y los procedimientos de notificación y análisis. En el programa también deberían establecerse niveles de investigación y/o acción con respecto a determinados parámetros clave para que puedan adoptarse medidas apropiadas y oportunas si la supervisión revela una desviación importante de lo que se prevé o es aceptable. En este programa de supervisión deberían medirse:

- a) Los indicadores de repercusiones ambientales, como niveles de radionucleidos y contaminantes no radiológicos en el aire, el agua y el suelo;
- b) La integridad física de las estructuras y los sistemas de contención de desechos;

c) Los parámetros que pueden ayudar a interpretar datos meteorológicos, de procesos operacionales y de corrientes de desechos, entre otros.

8.6. El programa de supervisión de la protección radiológica ocupacional durante la fase operacional de las instalaciones de gestión de desechos suele formar parte del programa de supervisión general de la protección radiológica ocupacional de las minas y fábricas. Quizás se requiera un programa especial de supervisión de la protección radiológica ocupacional para el cierre y la fase posterior al cierre de la operación de gestión de desechos.

8.7. El órgano regulador debería recibir a distintos intervalos los resultados obtenidos del programa de supervisión y vigilancia aprobado, en la forma que él estipule. Asimismo debería elaborar y aplicar su propio programa de supervisión con objeto de verificar la validez de los informes de supervisión presentados por el explotador.

8.8. Varios años después del cierre de las instalaciones de gestión de desechos, el explotador debería estar obligado normalmente a demostrar que las instalaciones funcionan conforme a lo previsto en el diseño. Para ello debería aplicarse un programa adecuado de supervisión y vigilancia después del cierre. En las referencias [19, 30] se ofrecen detalles del contenido y aplicación de los programas de supervisión y vigilancia posteriores al cierre con respecto a los diseños de instalaciones en la superficie.

8.9. Los datos de referencia acopiados antes del establecimiento de las instalaciones de gestión de desechos deberían emplearse como referencia con la que puedan compararse los resultados de la supervisión posterior al cierre. Ello será particularmente útil si el órgano regulador ha estipulado requisitos para el cierre en función de cambios incrementales permitidos en parámetros más que fijando límites absolutos.

8.10. Antes de la cesación de la responsabilidad del explotador con respecto a la instalaciones de gestión de desechos cerradas, el explotador debería proporcionar al órgano regulador los resultados de un estudio radiológico y ambiental final y un informe de terminación del cierre con el fin de documentar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios estipulados para la gestión de los desechos.

## **9. CONTROL INSTITUCIONAL PARA LA FASE POSTERIOR AL CIERRE**

9.1. El control institucional consiste en las medidas, los mecanismos y las disposiciones aplicados para mantener el control o el conocimiento de un emplazamiento de gestión de desechos después del cierre, como dispone el órgano regulador. Este control puede ser activo (por ejemplo, supervisión, vigilancia, actividades reparadoras, cercas) o pasivo (por ejemplo, control del uso de la tierra, marcadores, registros).

9.2. El establecimiento de los requisitos de control institucional debería formar parte de la optimización del diseño para el cierre. La necesidad de controles institucionales activos, y la dependencia de ellos, debería minimizarse en el diseño.

9.3. El programa de control institucional debería ser examinado por el órgano regulador para verificar su eficacia. El diseño de los programas debería basarse en la evaluación de la seguridad, en que deberían considerarse las repercusiones en la salud humana y el medio ambiente durante un período adecuado en el futuro. El explotador debería determinar el período en que cabría suponer que los controles institucionales seguirían siendo eficaces, y ello debería ser aprobado por el órgano regulador. En la evaluación de la seguridad deberían considerarse escenarios en que se postulen la probabilidad de intrusión humana, el fallo de estructuras artificiales y cambios en el medio ambiente, como se analiza en la sección 3.

9.4. Como parte de un programa de control institucional, y en conformidad con los requisitos jurídicos aplicables, deberían conservarse todos los registros pertinentes del lugar en que se encuentran las instalaciones de gestión de desechos cerradas y las características de éstas, las restricciones del uso de la tierra y los requisitos vigentes de supervisión y/o vigilancia. Deberían elaborarse disposiciones jurídicas para que el órgano regulador retire o modifique componentes del programa de control institucional, según se estime conveniente a la luz de los resultados de la supervisión y vigilancia. La información sobre el emplazamiento, los controles institucionales necesarios y la argumentación o necesidad de esos controles deberían documentarse y ponerse a disposición del público.



## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities, Colección de Normas de Seguridad N° WS-G-2.4, OIEA, Viena, (2001).
- [2] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA 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).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios para la gestión de desechos radiactivos, Colección Seguridad N° 111-F, OIEA, Viena (1996).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie, Colección de Normas de Seguridad N° WS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores, Colección Seguridad N° 95, OIEA, Viena (1989).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Application of the Dose Limitation System to the Mining and Milling of Radioactive Ores, Colección Seguridad N° 82, OIEA, Viena (1987).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Application of the Principles for Limiting Releases of Radioactive Effluents in the Case of the Mining and Milling of Radioactive Ores, Colección Seguridad N° 90, OIEA, Viena (1989).
- [8] 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, Rev.), OIEA, Viena (2002).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Recomendaciones de 1990 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, Publicación N° 60, Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) - EDICOMPLET, S.A. - Madrid (1995).
- [12] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste, Publicación N° 77, Elsevier Science, Oxford (1998).

- [13] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste, Publicación N° 81, Elsevier Science, Oxford (1998).
- [14] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [15] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA. Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.2, OIEA, Viena (2004).
- [16] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [17] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, Publicación N° 82, Elsevier Science, Oxford (2000).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Current Practices for the Management and Confinement of Uranium Mill Tailings, Colección de Informes Técnicos N° 335, OIEA, Viena (1992).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Facilities for Mining and Milling of Radioactive Ores and Closeout of Residues, Colección de Informes Técnicos N° 362, OIEA, Viena (1994).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos de actividad baja e intermedia, Colección de Normas de Seguridad N° WS G-2.5, OIEA, Viena (2009).
- [21] 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).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Application of Radiation Protection Principles to the Cleanup of Contaminated Areas, IAEA-TECDOC-987, Viena (1997).
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Application of Exemption Principles to the Recycle and Reuse of Materials from Nuclear Facilities, Colección Seguridad N° 111-P-1.1, OIEA, Viena (1992).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Classification of Radioactive Waste, Colección Seguridad N° 111-G-1.1, OIEA, Viena (1994).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Optimización de la protección radiológica en el control de la exposición ocupacional, Colección Informes de Seguridad N° 21, OIEA, Viena (2004).
- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Safety Assessment for the Underground Disposal of Radioactive Wastes, Colección Seguridad N° 56, OIEA, Viena (1981).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Performance Assessment for Underground Radioactive Waste Disposal Systems, Colección Seguridad N° 68, OIEA, Viena (1985).

- [28] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluating the Reliability of Predictions Made Using Environmental Transfer Models, Colección Seguridad N° 100, OIEA, Viena (1989).
- [29] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations, Colección Seguridad N° 50-C/SG-Q, OIEA, Viena (1996).
- [30] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Monitoring and Surveillance of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium, Colección de Informes de Seguridad N° 27, OIEA, Viena (2002)



## COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y EL EXAMEN

Ahlquist, A.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Belfadhel, M.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Bosiljeval, F.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Bosser, R.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Bragg, K.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Chishimba, G.	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (Zambia)
Clein, D.	Comisión Nacional de Energía Atómica (Argentina)
Daroussin, J.	Compagnie Générale des Matières Nucléaires (Francia)
Falck, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Gera, F.	ISMES, Italia
Goldammer, W.	Brenk Systemplanung (Alemania)
Gnugnoli, G.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Hamp, S.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Horyna, J.	Oficina Estatal de Seguridad Nuclear (República Checa)
Kvasnicka, J.	Radiation Dosimetry Systems (Australia)
Laraia, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Levins, D.	Organización Australiana de Ciencia y Tecnología Nucleares (Australia)
Mathes, D.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Metcalf, P.	Consejo de Seguridad Nuclear (Sudáfrica)

Osborne, R.	Consultor privado (Canadá)
Pineau, J.	Compagnie Générale des Matières Nucléaires (Francia)
Reisenweaver, D.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Rose, H.	GENCOR (Sudáfrica)
Santiago, J.	Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (España)
Scissons, K.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Selby, J.	Richards Bay Minerals (Sudáfrica)
Tamborini, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Viglasky, T.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Wymer, D.	Cámara de Minas de Sudáfrica (Sudáfrica)
Zapantis, A.	Supervising Scientist Group (Australia)
Zettwoog, P.	Conseil Expertise Radioprotection Technique Aero Contamination (Francia)
Zgola, B.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)

# ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD

## Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

*Alemania:* von-Dobschütz, P.; *Argentina:* Siraky, G.; *Australia:* Williams, G.; *Belarús:* Rozdyalovskaya, L.; *Bélgica:* Baekelandt, L. (Presidencia); *Brasil:* Tranjan Filho, A.; *Bulgaria:* Simeonov, G.; *Canadá:* Ferch,R.; *China:* Fan, Z.; *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.; *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.; *República de Corea:* Sa, S.; *República de Irlanda:* Pollard, D.; *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. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización:* Hutson, G.

## Comisión sobre Normas de Seguridad

*Alemania:* Renneberg, W., Wendling, R.D.; *Argentina:* D'Amato, E.; *Brasil:* Caubit da Silva, A.; *Canadá:* Pereira, J.K.; *China:* Zhao, C.; *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. (Presidencia), Pape, R.; *República de Corea:* Kim, S.-J.; *Suecia:* Holm, L.-E.; *Suiza:* Jeschki, W.; *Ucrania:* Gryschenko, V.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Shimomura, K.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica:* Clarke, R.H.; *OIEA:* Karbassioun, A. (Coordinación).







# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 22

## Lugares donde se pueden encargar 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, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Teléfono: + 49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 ó +49 228 94 90 222  
Correo-e: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Sitio web: <http://www.uno-verlag.de>

### AUSTRALIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 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, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@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

### 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/uvoz>

### 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, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669, EE.UU.  
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, P.O. BOX 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 Paris 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) • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Teléfono: + 33 1 47 40 67 02 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Correo-e: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@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

Libreria 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  
Correo-e: [info@libreriaaeiou.eu](mailto:info@libreriaaeiou.eu) • Sitio web: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

## JAPÓN

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

## NACIONES UNIDAS

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, Nueva York, N.Y. 10017, EE.UU.  
Teléfono (Naciones Unidas): +800 253-9646 ó +212 963-8302 • Fax: +212 963 -3489  
Correo-e: [publications@un.org](mailto:publications@un.org) • Sitio web: <http://www.un.org>

## NUEVA ZELANDIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
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>

## 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](mailto: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](mailto: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: [info@swets.nl](mailto:info@swets.nl) • Sitio web: <http://www.swets.nl>

## REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, P.O. 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](mailto:book.orders@tso.co.uk) • (información): [book.enquiries@tso.co.uk](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:nakup@suweco.cz) • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

## REPÚBLICA DE COREA

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 • Sitio web: <http://www.kins.re.kr>

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

### Dependencia de Mercadotecnia y Venta, Organismo Internacional de Energía Atómica

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

---

---

---

---

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA  
ISBN 978-92-0-301510-3  
ISSN 1020-5837