

Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

Clasificación de desechos radiactivos

Guía de seguridad

Nº GSG-1



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

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 disponer lo necesario para aplicar esas normas.

Las publicaciones mediante las cuales el OIEA establece las normas pertenecen a la **Colección de Normas de Seguridad del OIEA**. Esta serie de publicaciones abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos. Esta serie comprende las siguientes categorías: **Nociones fundamentales de seguridad, Requisitos de seguridad y Guías de seguridad.**

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 sobre las normas de seguridad que están en proceso de elaboración. Para más información se ruega ponerse en contacto con el OIEA en la dirección: Vienna International Centre, 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 utilización de las normas (por ejemplo, si se han utilizado como base de los reglamentos nacionales, para realizar exámenes de la seguridad o para impartir cursos de capacitación), con el fin de asegurar que sigan satisfaciendo las necesidades de los usuarios. Se puede hacer llegar la información 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.

PUBLICACIONES CONEXAS

El OIEA facilita la aplicación de las normas y, con arreglo a las disposiciones del artículo III y del artículo VIII.C de su Estatuto, pone a disposición información relacionada con las actividades nucleares pacíficas, fomenta su intercambio, y sirve de intermediario para ello entre sus Estados Miembros.

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

Existen asimismo otras publicaciones del OIEA relacionadas con la seguridad, como las relativas a la **preparación y respuesta para casos de emergencia**, los **informes sobre evaluación radiológica**, los **informes del INSAG** (Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear), los **Informes Técnicos**, y los **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**.

La **Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA** comprende publicaciones de carácter informativo destinadas a fomentar y facilitar la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía nuclear con fines pacíficos. Incluye informes y guías sobre la situación y los adelantos de las tecnologías, así como experiencias, buenas prácticas y ejemplos prácticos en relación con la energía nucleoelectrónica, el ciclo del combustible nuclear, la gestión de desechos radiactivos y la clausura.

Seguridad mediante las normas internacionales

“Los Gobiernos, órganos reguladores y explotadores de todo el mundo deben velar por que los materiales nucleares y las fuentes de radiación se utilicen con fines benéficos y de manera segura y ética. Las normas de seguridad del OIEA están concebidas para facilitar esa tarea, y aliento a todos los Estados Miembros a hacer uso de ellas.”

Yukiya Amano
Director General

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA

ISBN 978-92-0-307414-8

ISSN 1020-5837

CLASIFICACIÓN DE
DESECHOS RADIATIVOS

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

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

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° GSG-1

CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

GUÍA DE SEGURIDAD GENERAL

ORGANISMO INTERNACIONAL ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2015

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 electrónico: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2015

Impreso por el OIEA en Austria
Noviembre de 2015
STI/PUB/1419

CLASIFICACIÓN DE
DESECHOS RADIATIVOS
OIEA, VIENA, 2015
STI/PUB/1419
ISBN 978-92-0-307414-8
ISSN 1020-5837

PRÓLOGO

El OIEA está autorizado por su Estatuto a establecer normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad —normas que el OIEA debe utilizar en sus propias operaciones, y que un Estado puede aplicar mediante sus disposiciones de reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica. Ese amplio conjunto de normas de seguridad revisadas periódicamente, junto a la asistencia del OIEA para su aplicación, se ha convertido en elemento clave de un régimen de seguridad mundial.

A mediados del decenio de 1990 se inició una importante reorganización del programa de normas de seguridad del OIEA, modificándose la estructura del comité de supervisión y adoptándose un enfoque sistemático para la actualización de todo el conjunto de normas. Las nuevas normas son de gran calidad y reflejan las mejores prácticas utilizadas en los Estados Miembros. Con la asistencia de la Comisión sobre Normas de Seguridad, el OIEA está llevando a cabo actividades para promover la aceptación y el uso a escala mundial de sus normas de seguridad.

Sin embargo, las normas de seguridad sólo pueden ser eficaces si se aplican correctamente en la práctica. Los servicios de seguridad del OIEA, que van desde la seguridad técnica, la seguridad operacional y la seguridad radiológica, del transporte y de los desechos hasta cuestiones de reglamentación y de cultura de la seguridad en las organizaciones, prestan asistencia a los Estados Miembros en la aplicación de las normas y la evaluación de su eficacia. Estos servicios de seguridad permiten compartir valiosos conocimientos, por lo que se exhorta a todos los Estados Miembros a que hagan uso de ellos.

La reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica es una responsabilidad nacional, y son muchos los Estados Miembros que han decidido adoptar las normas de seguridad del OIEA para incorporarlas en sus reglamentos nacionales. Para las Partes Contratantes en las diversas convenciones internacionales sobre seguridad, las normas del OIEA son un medio coherente y fiable de asegurar el eficaz cumplimiento de las obligaciones contraídas en virtud de las convenciones. Los encargados del diseño, los fabricantes y los explotadores de todo el mundo también aplican las normas para mejorar la seguridad nuclear y radiológica en la generación de electricidad, la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la educación.

El OIEA asigna gran importancia al permanente problema que significa para los usuarios y los reguladores en general garantizar un elevado nivel de seguridad en la utilización de los materiales nucleares y las fuentes de radiación en todo el mundo. Su continua utilización en beneficio de la humanidad debe gestionarse de manera segura, objetivo a cuyo logro contribuyen las normas de seguridad del OIEA.

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

ANTECEDENTES

La radiactividad es un fenómeno natural y las fuentes naturales de radiación son una característica del medio ambiente. Las radiaciones y las sustancias radiactivas tienen muchas aplicaciones beneficiosas, que van desde la generación de electricidad hasta los usos en la medicina, la industria y la agricultura. Los riesgos asociados a las radiaciones que estas aplicaciones pueden entrañar para los trabajadores y la población y para el medio ambiente deben evaluarse y, de ser necesario, controlarse.

Para ello es preciso que actividades tales como los usos de la radiación con fines médicos, la explotación de instalaciones nucleares, la producción, el transporte y la utilización de material radiactivo y la gestión de los desechos radiactivos estén sujetas a normas de seguridad.

La reglamentación relativa a la seguridad es una responsabilidad nacional. Sin embargo, los riesgos asociados a las radiaciones pueden trascender las fronteras nacionales, y la cooperación internacional ayuda a promover y aumentar la seguridad en todo el mundo mediante el intercambio de experiencias y el mejoramiento de la capacidad para controlar los peligros, prevenir los accidentes, responder a las emergencias y mitigar las consecuencias dañinas.

Los Estados tienen una obligación de diligencia, y deben cumplir sus compromisos y obligaciones nacionales e internacionales.

Las normas internacionales de seguridad ayudan a los Estados a cumplir sus obligaciones dimanantes de los principios generales del derecho internacional, como las que se relacionan con la protección del medio ambiente. Las normas internacionales de seguridad también promueven y afirman la confianza en la seguridad, y facilitan el comercio y los intercambios internacionales.

Existe un régimen mundial de seguridad nuclear que es objeto de mejora continua. Las normas de seguridad del OIEA, que apoyan la aplicación de instrumentos internacionales vinculantes y la creación de infraestructuras nacionales de seguridad, son una piedra angular de este régimen mundial. Las normas de seguridad del OIEA constituyen un instrumento útil para las partes contratantes en la evaluación de su desempeño en virtud de esas convenciones internacionales.

LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA se basan en el Estatuto de éste, que autoriza al OIEA a establecer o adoptar, en consulta y, cuando proceda, en

colaboración con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados interesados, normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y proveer a la aplicación de estas normas.

Con miras a garantizar la protección de las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante, las normas de seguridad del OIEA establecen principios fundamentales de seguridad, requisitos y medidas para controlar la exposición de las personas a las radiaciones y la emisión de materiales radiactivos al medio ambiente, reducir la probabilidad de sucesos que puedan dar lugar a una pérdida de control sobre el núcleo de un reactor nuclear, una reacción nuclear en cadena, una fuente radiactiva o cualquier otra fuente de radiación, y mitigar las consecuencias de esos sucesos si se producen. Las normas se aplican a instalaciones y actividades que dan lugar a riesgos radiológicos, comprendidas las instalaciones nucleares, el uso de la radiación y de las fuentes radiactivas, el transporte de materiales radiactivos y la gestión de los desechos radiactivos.

Las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física tienen en común la finalidad de proteger la vida y la salud humanas y el medio ambiente. Las medidas de seguridad tecnológica y de seguridad física deben diseñarse y aplicarse en forma integrada, de modo que las medidas de seguridad física no comprometan la seguridad tecnológica y las medidas de seguridad tecnológica no comprometan la seguridad física.

Las normas de seguridad del OIEA reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Las normas se publican en la Colección de Normas de Seguridad del OIEA, que comprende tres categorías (véase la Fig. 1).

Nociones Fundamentales de Seguridad

Las Nociones Fundamentales de Seguridad presentan los objetivos y principios fundamentales de protección y seguridad, y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

Requisitos de Seguridad

Un conjunto integrado y coherente de requisitos de seguridad establece los requisitos que se han de cumplir para garantizar la protección de las personas y el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro. Los requisitos se rigen por los objetivos y principios de las Nociones Fundamentales de Seguridad. Si los

¹ Véanse también las publicaciones de la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA.

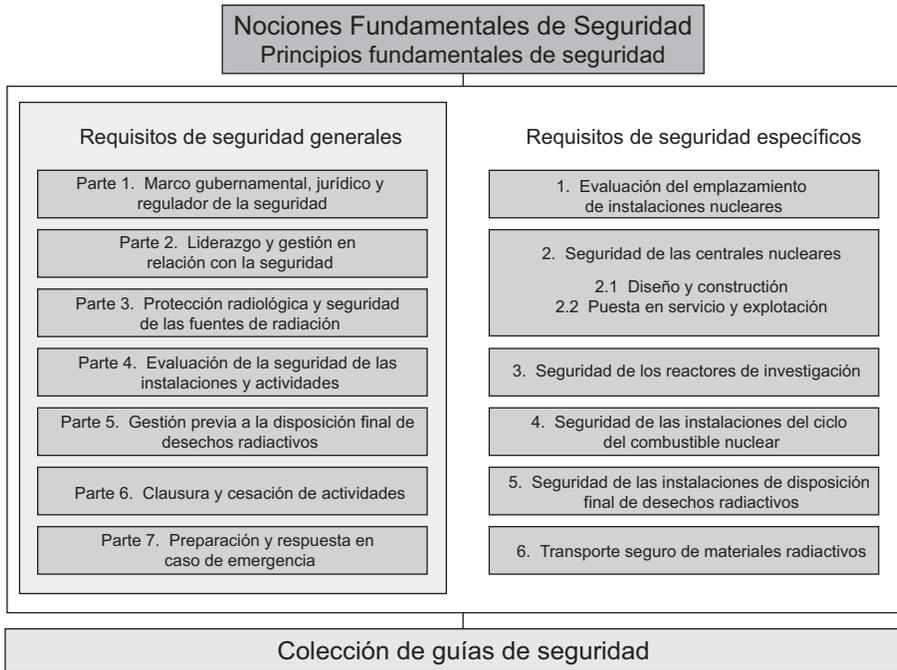


Fig. 1. Estructura a largo plazo de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA.

requisitos no se cumplen, deben adoptarse medidas para alcanzar o restablecer el grado de seguridad requerido. El formato y el estilo de los requisitos facilitan su uso para establecer, de forma armonizada, un marco nacional de reglamentación. En los requisitos de seguridad se emplean formas verbales imperativas, junto con las condiciones conexas que deben cumplirse. Muchos de los requisitos no se dirigen a una parte en particular, lo que significa que incumbe cumplirlos a las partes que corresponda.

Guías de seguridad

Las guías de seguridad ofrecen recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad, lo que indica un consenso internacional en el sentido de que es necesario adoptar las medidas recomendadas (u otras medidas equivalentes). Las guías de seguridad contienen ejemplos de buenas prácticas internacionales y dan cuenta cada vez más de las mejores prácticas que existen para ayudar a los usuarios que tratan de alcanzar altos grados de seguridad. En la formulación de las recomendaciones de las guías de seguridad se emplean formas verbales condicionales.

APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Los principales usuarios de las normas de seguridad en los Estados Miembros del OIEA son órganos reguladores y otras autoridades nacionales competentes. También hacen uso de las normas de seguridad del OIEA organizaciones copatrocinadoras y muchas organizaciones que diseñan, construyen y explotan instalaciones nucleares, así como organizaciones en las que se usan radiaciones o fuentes radiactivas.

Las normas de seguridad del OIEA se aplican, según el caso, a lo largo de toda la vida útil de todas las instalaciones y actividades –existentes y nuevas– que tienen fines pacíficos, y a las medidas protectoras destinadas a reducir los riesgos existentes en relación con las radiaciones. Los Estados también pueden usarlas como referencia para sus reglamentos nacionales relativos a instalaciones y actividades.

De conformidad con el Estatuto del OIEA, las normas de seguridad tienen carácter vinculante para el OIEA en relación con sus propias operaciones, así como para los Estados en relación con las operaciones realizadas con asistencia del OIEA.

Las normas de seguridad del OIEA también constituyen la base de los servicios de examen de la seguridad que éste brinda; el OIEA recurre a esos servicios en apoyo de la creación de capacidad, incluida la elaboración de planes de enseñanza y la creación de cursos de capacitación.

Los convenios internacionales contienen requisitos similares a los que figuran en las normas de seguridad del OIEA, y tienen carácter vinculante para las partes contratantes. Las normas de seguridad del OIEA, complementadas por convenios internacionales, normas de la industria y requisitos nacionales detallados, forman una base coherente para la protección de las personas y el medio ambiente. Existen también algunos aspectos de la seguridad especiales que se deben evaluar a nivel nacional. Por ejemplo, muchas de las normas de seguridad del OIEA, en particular las que tratan aspectos relativos a la seguridad en la planificación o el diseño, se conciben con el fin de aplicarlas principalmente a nuevas instalaciones y actividades. Es posible que algunas instalaciones existentes construidas conforme a normas anteriores no cumplan plenamente los requisitos especificados en las normas de seguridad del OIEA. Corresponde a cada Estado decidir el modo en que deberán aplicarse las normas de seguridad del OIEA a esas instalaciones.

Las consideraciones científicas en las que descansan las normas de seguridad del OIEA proporcionan una base objetiva para la adopción de decisiones acerca de la seguridad; sin embargo, las instancias decisorias deben también formarse opiniones fundamentadas y determinar la mejor manera de equilibrar los beneficios de una medida o actividad con los riesgos asociados

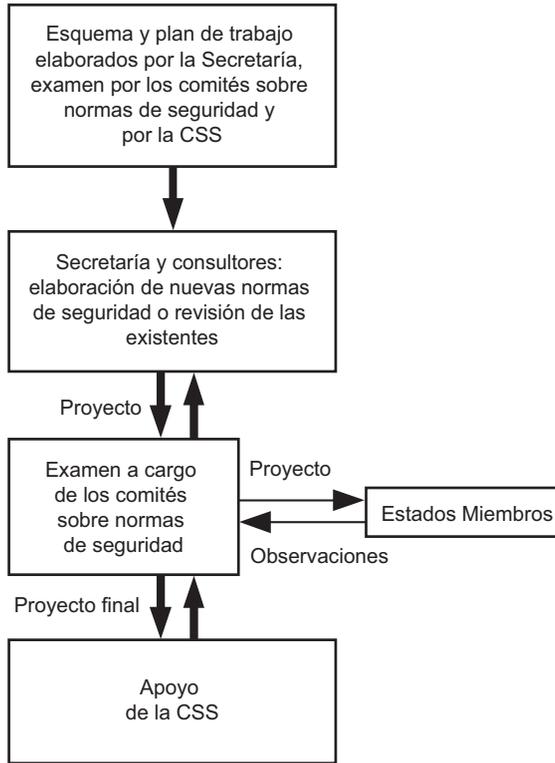


Fig. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente

a las radiaciones y cualquier otro efecto perjudicial a que pueda dar lugar esa medida o actividad.

PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

En la elaboración y el examen de las normas de seguridad participan la Secretaría del OIEA y cuatro comités de normas de seguridad que se ocupan de la seguridad nuclear (NUSSC), la seguridad radiológica (RASSC), la seguridad de los desechos radiactivos (WASSC) y el transporte seguro de materiales radiactivos (TRANSSC), así como la Comisión sobre Normas de Seguridad (CSS), que supervisa el programa de normas de seguridad del OIEA (véase la Fig. 2).

Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas de seguridad y formular observaciones

sobre los proyectos de normas. Los miembros de la Comisión sobre Normas de Seguridad son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

Se ha creado un sistema de gestión para los procesos de planificación, desarrollo, examen, revisión y establecimiento de normas de seguridad del OIEA. Ese sistema articula el mandato del OIEA, la visión relativa a la futura aplicación de las normas de seguridad, las políticas y las estrategias, y las correspondientes funciones y responsabilidades.

INTERACCIÓN CON OTRAS ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

En la elaboración de las normas de seguridad del OIEA se tienen en cuenta las conclusiones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y las recomendaciones de órganos internacionales de expertos, en particular la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Algunas normas de seguridad se elaboran en cooperación con otros órganos del sistema de las Naciones Unidas u otros organismos especializados, entre ellos la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la Organización Internacional del Trabajo, la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud.

INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

Los términos relacionados con la seguridad se interpretarán como se definen en el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA (véase la dirección <http://www-ns.iaea.org/downloads/standards/glossary/safety-glossary-spanish.pdf>). En el caso de las Guías de Seguridad, el texto en inglés es la versión autorizada.

En la Introducción que figura en la sección 1 de cada publicación se presentan los antecedentes y el contexto de cada norma de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA, así como sus objetivos, alcance y estructura.

Todo el material para el cual no existe un lugar adecuado en el cuerpo del texto (por ejemplo, información de carácter complementario o independiente del texto principal, que se incluye en apoyo de declaraciones que figuran en el texto principal, o que describe métodos de cálculo, procedimientos o límites y condiciones) puede presentarse en apéndices o anexos.

Cuando figuran en la publicación, los apéndices se consideran parte integrante de la norma de seguridad. El material que figura en un apéndice tiene el mismo valor que el texto principal y el OIEA asume su autoría. Los

anexos y notas de pie de página del texto principal, en su caso, se utilizan para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Los anexos y notas de pie de página no son parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. La información procedente de otras fuentes que se presenta en los anexos ha sido extraída y adaptada para que sea de utilidad general.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
	Antecedentes (1.1-1.7).....	1
	Objetivo (1.8-1.9).....	3
	Ámbito de aplicación (1.10-1.13).....	3
	Estructura (1.14).....	4
2.	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS..	5
	Panorama general (2.1-2.3).....	7
	Clases de desechos (2.4-2.31).....	17
	Otras consideraciones (2.32-2.33).....	30
	APÉNDICE: CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS.....	19
	REFERENCIAS.....	25
	ANEXO I: EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DEL OIEA SOBRE CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS.....	27
	ANEXO II: MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN REFERENCIAS DEL ANEXO II.....	29
	ANEXO III: ORIGEN Y TIPOS DE DESECHOS RADIATIVOS.....	35
	REFERENCIAS DEL ANEXO III.....	44
	COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA.....	45

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. Los desechos radiactivos se generan en distintos tipos de instalaciones, pueden tener una gran variedad de concentraciones de radionucleidos y presentarse en diversos estados físicos y químicos. Estas diferencias se traducen en una serie igualmente amplia de opciones para su gestión. Existen varias alternativas para el procesamiento de desechos y el almacenamiento a corto o largo plazo previo a la disposición final. Del mismo modo, hay diversas alternativas para la disposición final segura de los desechos, que abarcan desde la disposición final cerca de la superficie hasta la disposición final geológica.

1.2. En la publicación sobre Requisitos de Seguridad titulada *Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos* [1] se establece que: “[e]n las diversas etapas de la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos los desechos serán caracterizados y clasificados de conformidad con los requisitos establecidos o aprobados por el órgano regulador” (Requisito 9). Esto permite garantizar la adopción de disposiciones apropiadas y adecuadas con respecto a las repercusiones en materia de seguridad asociadas a la gestión y disposición final de desechos.

1.3. Se han desarrollado diversos sistemas de clasificación de desechos radiactivos en función de las propiedades físicas, químicas y radiológicas que son importantes para determinadas instalaciones o circunstancias en las que se gestionan desechos radiactivos. Estos sistemas han propiciado la creación de una terminología variada que puede diferir de un Estado a otro o incluso entre instalaciones de un mismo Estado. En algunos casos, esto ha planteado problemas a la hora de establecer políticas nacionales de gestión de desechos compatibles y coherentes, así como de aplicar estrategias, y puede derivar en unos niveles de seguridad por debajo del nivel óptimo. Además, dificulta la comunicación sobre las prácticas de gestión de desechos a nivel nacional e internacional, en especial en el contexto de la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos [2]. La comparación de los datos presentados en publicaciones científicas no es simple y tratar de comprender los programas y las prácticas de gestión de desechos dentro de los Estados y entre ellos puede ser complicado.

1.4. A fin de abordar estas cuestiones, la clasificación de desechos radiactivos ha sido el tema central de algunas normas internacionales sobre seguridad en

la gestión de desechos radiactivos. La primera norma relativa a este tema se publicó en 1970¹ y en 1981² y 1994³ se publicaron revisiones de la misma. En el anexo I se incluye una explicación sobre la evolución de estas normas. El sistema de clasificación presentado en la presente guía de seguridad reemplaza los sistemas de clasificación establecidos en normas anteriores.

1.5. A efectos de la gestión operativa de los desechos, se pueden agrupar distintos tipos de desechos. Por ejemplo, los desechos que contengan radionucleidos con períodos de semidesintegración cortos pueden separarse de los desechos que contengan radionucleidos con períodos de semidesintegración más largos, o los desechos comprimibles pueden separarse de los que no lo son. El tema de la gestión operativa de desechos se trata en la referencia [3]. No obstante, salvo en el caso de los desechos que únicamente contengan radionucleidos de período corto, la disposición final del resto de desechos radiactivos debe realizarse a la larga de conformidad con los Principios fundamentales de seguridad [4] y los requisitos de seguridad para la gestión y disposición final de desechos radiactivos.

1.6. El sistema de clasificación elaborado anteriormente³ no es del todo exhaustivo ya que no abarca todos los tipos de desechos radiactivos, ni establece un vínculo directo con las opciones de disposición final para todos los tipos de desechos radiactivos, lo que se han considerado limitaciones en cuanto a su uso y aplicación.

1.7. El vínculo genérico entre las distintas clases de desechos y opciones de disposición final se abarca en esta guía de seguridad pero, independientemente de dicho vínculo, la idoneidad de los desechos para su disposición final en una instalación de disposición final concreta debe demostrarse a través de la justificación de la seguridad y la evaluación de la seguridad complementaria para la instalación [5].

¹ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Standardization of Radioactive Waste Categories, Technical Reports Series No. 101, IAEA, Vienna (1970).

² ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evacuación subterránea de desechos radiactivos. Orientación básica, *Colección Seguridad* N° 54, OIEA, Viena (1981).

³ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, Safety Series No. 111-G-1.1, IAEA, Vienna (1994).

OBJETIVO

1.8. El objetivo de la presente guía de seguridad es establecer un sistema general para clasificar desechos radiactivos que se base principalmente en aspectos relativos a la seguridad a largo plazo y, por tanto, de forma implícita, en la disposición final de los desechos. Esta guía de seguridad, junto con otras normas de seguridad del OIEA sobre desechos radiactivos, permitirá desarrollar y aplicar estrategias de gestión de desechos adecuadas y facilitará la comunicación y el intercambio de información entre Estados y dentro de los mismos. Tal como se establece en las publicaciones de requisitos de seguridad sobre gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos y disposición final de desechos radiactivos [1, 5], la disposición final se considera la última etapa en la gestión de desechos radiactivos.

1.9. La guía de seguridad determina los límites conceptuales entre las distintas clases de desechos y ofrece orientaciones sobre su definición basándose en aspectos relativos a la seguridad a largo plazo. Si bien se reconoce la utilidad de los sistemas de clasificación para la gestión operativa segura de los desechos radiactivos, incluido el transporte de los desechos, estos sistemas están sujetos a diferentes consideraciones y no se tratan en esta guía de seguridad.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

1.10. En esta guía de seguridad se proporciona orientación sobre la clasificación de todo el conjunto de desechos radiactivos: desde el combustible nuclear gastado, cuando se considera desecho radiactivo, hasta los desechos con unos niveles de concentración de la actividad tan bajos que no es necesario gestionarlos o regularlos como desechos radiactivos. Esta guía de seguridad abarca las fuentes selladas en desuso, cuando se consideran desechos, así como los desechos que contienen radionucleidos de origen natural. Las recomendaciones presentadas son aplicables a los desechos de cualquier origen, incluidos los desechos procedentes de instalaciones y actividades, los derivados de situaciones actuales y los que puedan surgir debido a accidentes.

1.11. El sistema de clasificación elaborado en esta guía de seguridad se centra en los desechos radiactivos sólidos. Sin embargo, el planteamiento básico también podría aplicarse a la gestión de desechos líquidos y gaseosos, prestando la debida atención a aspectos como el procesamiento de esos desechos para producir un desecho en estado sólido adecuado para su disposición final.

1.12. En la guía de seguridad no se contemplan los componentes peligrosos no radiactivos de los desechos radiactivos a menos que afecten a la seguridad radiológica. Es necesario tener en cuenta el peligro no radiológico asociado a dichos componentes de conformidad con los requisitos nacionales, pero esta cuestión está fuera del alcance de esta guía de seguridad. En algunos Estados este tipo de desechos a veces se denominan “desechos mixtos”.

1.13. A la hora de tomar decisiones relativas al procesamiento, el almacenamiento y la disposición final es importante conocer las características de cualquier desecho radiactivo determinado; sin embargo, en esta guía de seguridad no se abarcan enfoques y métodos para la caracterización de los desechos radiactivos.

ESTRUCTURA

1.14. La presente guía de seguridad se compone de dos apartados, un apéndice y tres anexos. En el apartado 2 figura el sistema de clasificación de desechos radiactivos. En el apéndice se amplía la información sobre el ámbito de aplicación general y los objetivos de los sistemas de clasificación de desechos radiactivos. En él se analizan la finalidad y las limitaciones del sistema de clasificación descrito en esta guía de seguridad y se explica el enfoque adoptado para elaborar el sistema de clasificación de desechos radiactivos. En el apéndice también se examinan los criterios y las actividades de gestión de desechos contemplados en la determinación de las clases de desechos. En el anexo I se describe la evolución de las normas de seguridad el OIEA sobre clasificación de desechos radiactivos. En el anexo II se examinan las diversas finalidades de la clasificación de desechos y los enfoques de la misma, así como los métodos cualitativos y cuantitativos para la clasificación de desechos. En el anexo III se describen distintos tipos de desechos radiactivos y se ilustra la aplicación del sistema de clasificación de desechos elaborado en la presente guía de seguridad a esos tipos de desechos radiactivos.

2. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIACTIVOS

PANORAMA GENERAL

2.1. Algunos de los elementos del sistema de clasificación establecido anteriormente³ se han mantenido. Sin embargo, el sistema ha sido modificado a fin de abordar las deficiencias determinadas con el sistema anterior (véase el párrafo 1.6) y reflejar la experiencia adquirida en el desarrollo, la evaluación y la puesta en práctica de medidas de seguridad para las instalaciones de disposición final. Se ha definido una amplia variedad de clases de desechos y se facilitan las condiciones generales de los límites entre las clases. Se pueden desarrollar límites cuantitativos más detallados, que tengan en cuenta una variedad de parámetros más extensa, de acuerdo con los programas y requisitos nacionales. En los casos en que exista más de una instalación de disposición final en un Estado, los límites cuantitativos entre las clases para las distintas instalaciones de disposición final pueden diferir dependiendo de los escenarios, los parámetros geológicos y técnicos y otros parámetros pertinentes para la evaluación de seguridad de cada emplazamiento concreto.

2.2. De conformidad con el enfoque expuesto en el apéndice, se establecen y utilizan como base del sistema de clasificación seis clases de desechos:

- 1) Desechos exentos⁴ (EW): desechos que cumplen los criterios necesarios para la dispensa, exención o exclusión del control reglamentario con fines de protección radiológica según se describe en la referencia [6].
- 2) Desechos de período muy corto (VSLW): desechos que se pueden almacenar para su desintegración durante un período limitado de algunos años como máximo y posteriormente dispensados del control reglamentario de conformidad con las disposiciones aprobadas por el órgano regulador, para su disposición final, utilización o descarga no sometidos a control. Esta clase incluye los desechos que contienen principalmente radionucleidos con períodos de semidesintegración muy cortos utilizados frecuentemente con fines médicos y de investigación.

⁴ El término “desechos exentos” se ha conservado del sistema de clasificación anterior (véase la nota 3) por razones de coherencia; no obstante, una vez que se ha dejado de aplicar el control reglamentario a dichos desechos, éstos ya no se consideran desechos radiactivos.

- 3) Desechos de actividad muy baja (VLLW): desechos que no cumplen necesariamente los criterios de los EW, pero que no precisan un alto grado de contención y aislamiento y, por consiguiente, se pueden someter a disposición final en instalaciones de terraplenado cerca de la superficie con control reglamentario limitado. Este tipo de instalaciones también pueden contener otros desechos peligrosos. Suelen formar parte de esta clase de desechos la tierra y los escombros con baja concentración de actividad. Las concentraciones de radionucleidos de período más largo presentes en los VLLW son, por lo general, muy limitadas.
- 4) Desechos de actividad baja (LLW): desechos que se encuentran por encima de los niveles de dispensa, pero que contienen cantidades limitadas de radionucleidos de período largo. Estos desechos requieren un aislamiento y contención sólidos durante períodos de hasta algunos cientos de años y se pueden someter a disposición final en instalaciones cerca de la superficie. Esta clase abarca una variedad muy amplia de desechos. Los LLW pueden incluir radionucleidos de período corto con un nivel más elevado de concentración de la actividad, así como radionucleidos de período largo, pero sólo con niveles relativamente bajos de concentración de la actividad.
- 5) Desechos de actividad intermedia (ILW): desechos que, debido a su contenido, particularmente de radionucleidos de período largo, precisan un grado mayor de contención y aislamiento que el que ofrece la disposición final cerca de la superficie. No obstante, en el caso de los ILW no hace falta adoptar disposiciones, o sólo de forma limitada, en relación con la disipación del calor durante su almacenamiento y disposición final. Los ILW pueden contener radionucleidos de período largo, en particular radionucleidos emisores de radiación alfa que no se desintegrarán hasta un nivel de concentración de la actividad que sea aceptable para proceder a la disposición final cerca de la superficie durante el tiempo en que se puede contar con los controles institucionales. Por lo tanto, los desechos de esta clase requieren una disposición final a mayor profundidad, del orden de decenas de metros hasta algunos cientos de metros.
- 6) Desechos de actividad alta (HLW): desechos con niveles de concentración de la actividad suficientemente elevados para generar cantidades importantes de calor mediante el proceso de desintegración radiactiva o desechos con grandes cantidades de radionucleidos de período largo que se deben tener en cuenta en el diseño de una instalación de disposición final de este tipo de desechos. La disposición final en formaciones geológicas profundas y estables, normalmente a varios cientos de metros o más por debajo de la superficie, es en general la opción aceptada para la disposición final de los HLW.

2.3. Los valores cuantitativos del contenido de actividad admisible para cada uno de los radionucleidos importantes se especificarán en función de las evaluaciones de la seguridad de cada emplazamiento de disposición final (lo que queda fuera del ámbito de aplicación de la presente guía de seguridad).

CLASES DE DESECHOS

2.4. En la figura 1 se presenta una ilustración conceptual del sistema de clasificación de desechos. El eje vertical representa el contenido de actividad⁵ de los desechos y el eje horizontal refleja los períodos de semidesintegración de los radionucleidos contenidos en los desechos. En algunos casos, la cantidad de actividad, más que la concentración de la actividad, puede utilizarse para determinar la clase de desecho. Por ejemplo, los desechos que sólo contengan cantidades muy pequeñas de determinados radionucleidos (como los emisores beta de baja energía) se pueden excluir o dispensar del control reglamentario.

2.5. Al examinar la figura 1 desde el punto de vista del eje vertical, se observa que el nivel del contenido de actividad puede variar entre insignificante y muy elevado, es decir, una concentración muy elevada de radionucleidos o una actividad específica muy alta. Cuánto más elevado es el nivel del contenido de actividad, mayor es la necesidad de contener los desechos y aislarlos de la biosfera. En el límite inferior del eje vertical, por debajo de los niveles de dispensa, los desechos pueden gestionarse sin tener que prestar atención a sus propiedades radiológicas.

2.6. Si examinamos la figura 1 desde el punto de vista del eje horizontal, se observa que los períodos de semidesintegración de los radionucleidos contenidos en los desechos pueden oscilar desde períodos cortos (segundos) hasta períodos muy largos (millones de años). En términos de seguridad de los desechos radiactivos, un radionucleido con un período de semidesintegración inferior a unos 30 años se considera de período corto. Es útil distinguir entre los desechos que contienen principalmente radionucleidos de período corto y aquellos que tienen radionucleidos de período largo ya que los peligros radiológicos asociados a los primeros se reducen considerablemente por desintegración radiactiva tras algunos cientos de años. Es posible ofrecer un grado de seguridad razonable en que las medidas de control institucional destinadas a contribuir a

⁵ Dada la naturaleza generalmente heterogénea de los desechos radiactivos, se ha empleado la expresión “contenido de actividad”, que es un término genérico que abarca la concentración de la actividad, la actividad específica y la actividad total.

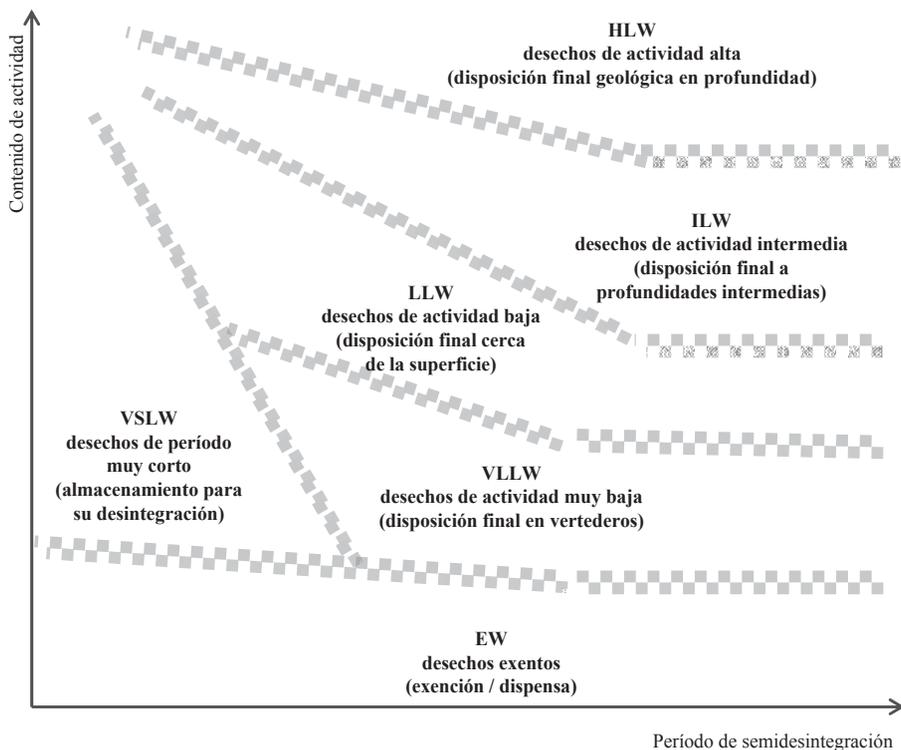


Fig. 1. Ilustración conceptual del sistema de clasificación de desechos.

la seguridad de las instalaciones de disposición final cerca de la superficie para desechos que contengan principalmente radionucleidos de período corto puedan mantenerse durante esos plazos. Las limitaciones impuestas con respecto a la actividad (actividad total, actividad específica o concentración de la actividad) de los desechos que pueden someterse a disposición final en una instalación de disposición final determinada dependerán de las propiedades radiológicas, químicas, físicas y biológicas de los desechos, así como de los radionucleidos que estos contengan.

2.7. En los siguientes párrafos, 2.8 a 2.31, se examina de forma detallada cada una de las clases de desechos.

Desechos exentos (EW)

2.8. Los desechos exentos contienen concentraciones de radionucleidos tan pequeñas que no es necesario establecer disposiciones en materia de protección

radiológica, independientemente de que los desechos se sometan a disposición final en vertederos convencionales o se reciclen. Este material puede dispensarse del control reglamentario y no requiere nuevas consideraciones en lo que a dicho control se refiere.

2.9. Los efluentes líquidos o gaseosos descargados al medio ambiente bajo un control reglamentario adecuado son, en cierto modo, parecidos a los desechos dispensados, ya que el material descargado no requiere nuevas consideraciones desde el punto de vista de la protección y la seguridad radiológicas. Existen, sin embargo, algunas diferencias notables en el establecimiento de limitaciones sobre las cantidades de efluentes adecuadas para su descarga y, en el caso de la descarga de efluentes, generalmente se lleva a cabo la vigilancia ambiental de confirmación [7].

2.10. Por medio de estudios realizados en el plano nacional e internacional se han establecido niveles de concentración de la actividad de radionucleidos específicos para la exención y dispensa de materiales sólidos y en la referencia [6] se facilita información y orientaciones sobre los conceptos de exclusión, exención y dispensa. En dicha referencia también figuran los valores de la concentración de actividad correspondientes a los radionucleidos de origen natural y artificial que el órgano regulador puede utilizar para determinar cuándo no se requieren o ya no son necesarios los controles de grandes cantidades de material sólido.

2.11. Los valores de la concentración de la actividad para radionucleidos artificiales se calculan basándose en escenarios genéricos para el reciclaje y la disposición final de desechos:

“El fundamento radiológico primordial para establecer los valores de concentración de actividad con fines de exención de grandes cantidades de material y de dispensa, es que las dosis efectivas a los individuos deberían ser del orden de 10 μ Sv o menores en un año. Para tener en cuenta eventuales sucesos de baja probabilidad, que puedan dar lugar a exposiciones a la radiación más altas, se utilizó un criterio adicional, a saber, las dosis efectivas causadas por tales eventos de baja probabilidad no deberían exceder 1 mSv en un año. Además, para este caso, se consideraron las dosis a la piel, adoptando a este propósito un criterio de dosis equivalente a la piel de 50 mSv en un año. Este enfoque es coherente con el utilizado al establecer los valores de exención dados en la Adenda I de las NBS” [6].

En el caso de los radionucleidos de origen natural se adoptó un enfoque diferente: estos valores se determinaron basándose en consideraciones sobre el

límite superior de la distribución mundial de las concentraciones de actividad en suelos [6].

2.12. El órgano regulador podrá fijar, en función de cada caso, niveles de concentración de la actividad para desechos exentos que difieran de los recomendados en la referencia [6] siempre que se tengan en cuenta las circunstancias nacionales específicas que influyan considerablemente en los escenarios de exposición, o se definan los requisitos o condiciones específicos para la exención o la dispensa de desechos. Cuando quepa la posibilidad de que el material en cuestión sea exportado, debería tomarse en consideración cualquier repercusión transfronteriza posible. Los niveles de concentración de la actividad establecidos por el órgano regulador dependerán en gran medida de las condiciones bajo las cuales se conceda la exención o la dispensa.

2.13. Un objetivo importante de la referencia [6] es ofrecer un consenso sobre el límite para el material exento o dispensado sin condiciones que puede transferirse de un Estado a otro (por ejemplo, para su reciclaje o reutilización) sin estar sometido a un control reglamentario a efectos de protección radiológica. La existencia de ese consenso simplifica en gran medida los procedimientos de exención y dispensa, y se considera que contribuye al aumento del grado de confianza del público en la seguridad de las prácticas.

Desechos de período muy corto (VSLW)

2.14. Los desechos de período muy corto únicamente contienen radionucleidos con períodos de semidesintegración muy breves cuyas concentraciones de la actividad están por encima de los niveles de dispensa. Estos desechos se pueden almacenar hasta que la actividad disminuye por debajo de los niveles de dispensa, lo que permite que los desechos dispensados se gestionen como desechos convencionales. Ejemplos de desechos de período muy corto son los procedentes de fuentes que emplean ^{192}Ir y $^{99\text{m}}\text{Tc}$, y los desechos que contienen otros radionucleidos con períodos de semidesintegración cortos procedentes de aplicaciones industriales y médicas. Aunque la presente guía de seguridad se centra en la clasificación de desechos radiactivos sólidos, cabe destacar que el almacenamiento con fines de desintegración se utiliza frecuentemente en la gestión de desechos líquidos y gaseosos que contienen radionucleidos con períodos de semidesintegración cortos. Estos desechos se almacenan hasta que la concentración de la actividad está por debajo de los niveles aplicables para la descarga en el medio ambiente.

2.15. Los principales criterios para clasificar desechos como VSLW son los períodos de semidesintegración de los radionucleidos predominantes y la aceptabilidad de las cantidades de radionucleidos con períodos de semidesintegración más largos. Dado que la finalidad del almacenamiento con fines de desintegración es acabar dispensando el material, los niveles aceptables de concentración de los radionucleidos con períodos de semidesintegración largos están determinados por los niveles de dispensa. El límite para los períodos de semidesintegración de los radionucleidos predominantes no se puede especificar genéricamente ya que depende de la duración prevista del almacenamiento y de la concentración de la actividad inicial del desecho. Sin embargo, en general, la opción de gestión de almacenamiento con fines de desintegración se aplica a los desechos que contienen radionucleidos con períodos de semidesintegración del orden de 100 días o menos.

2.16. Evidentemente, la clasificación de desechos como VSLW depende del momento en el que se asigna una clasificación a esos desechos. Debido a la desintegración radiactiva, los VSLW acabarán siendo desechos exentos. Por lo tanto, el sistema de clasificación no es fijo, sino que obedece a las condiciones reales de los desechos en cuestión en el momento de la evaluación, lo que refleja la flexibilidad que proporciona la desintegración radiactiva para la gestión de desechos radiactivos.

Desechos de actividad muy baja (VLLW)

2.17. La explotación y la clausura de las instalaciones nucleares generan cantidades importantes de desechos con niveles de concentración de la actividad que corresponden a los niveles especificados para la dispensa de los materiales del control reglamentario o están ligeramente por encima de los mismos. Otros desechos de este tipo, que contengan radionucleidos naturales, pueden tener su origen en la extracción o el tratamiento de menas y minerales. La gestión de estos desechos, a diferencia de los desechos exentos, debe abordarse teniendo en cuenta la protección y la seguridad radiológicas, aunque el alcance de las disposiciones necesarias es limitado en comparación con las disposiciones requeridas para los desechos de las clases superiores (LLW, ILW o HLW). Los desechos que presentan un riesgo tan limitado y que de todos modos se encuentra por encima o cerca de los niveles correspondientes a los desechos exentos, se denominan desechos de actividad muy baja.

2.18. Se puede alcanzar un nivel adecuado de seguridad para los VLLW mediante su disposición final en instalaciones superficiales de tipo vertedero. Esta es la práctica habitual para los desechos procedentes de algunas explotaciones

mineras, así como para otros desechos que contengan radionucleidos naturales originados en diversas operaciones relacionadas con el tratamiento de minerales y otras actividades. Algunos Estados también utilizan este método de disposición final para desechos con niveles bajos de concentración de la actividad procedentes de instalaciones nucleares [8, 9]. Los diseños de este tipo de instalaciones de disposición final incluyen desde simples cubiertas hasta sistemas de disposición final más complejos y, en general, estos últimos requieren controles institucionales activos y pasivos. El período de tiempo durante el cual se ejerzan los controles institucionales será suficiente para dar confianza en que se cumplirán los criterios de seguridad para la disposición final de los desechos.

2.19. A fin de determinar si se puede considerar que un tipo de desecho concreto forma parte o no de la clase de los VLLW, se deben establecer criterios de aceptación para instalaciones superficiales de tipo vertedero. Esto puede realizarse empleando escenarios genéricos parecidos a los aplicados en el establecimiento de los niveles de exención y dispensa en la referencia [6] o realizando una evaluación de la seguridad para una instalación determinada mediante un proceso aprobado por el órgano regulador. Los criterios obtenidos dependerán de las condiciones reales del emplazamiento y del diseño de las estructuras o, en el caso de utilizar escenarios genéricos, de las hipótesis formuladas para tener en cuenta estos factores. Por esta razón, en la presente guía de seguridad no pueden definirse criterios que sean válidos de forma general. No obstante, está previsto que con un nivel moderado de medidas técnicas y controles, una instalación de terraplenado pueda acoger de forma segura desechos que contengan radionucleidos artificiales con concentraciones de actividad cuyos niveles superen en uno o dos órdenes de magnitud los niveles para desechos exentos y para desechos que contengan radionucleidos de período corto y con una actividad total limitada. Esto se aplica siempre que las dosis que se prevé que reciba el público se mantengan dentro de los criterios establecidos por el órgano regulador. En general, en vista de los largos períodos de semidesintegración de los radionucleidos naturales, cabe prever que los niveles aceptables de concentración de la actividad de los desechos que contengan estos radionucleidos sean inferiores a los de los desechos que contengan radionucleidos artificiales. Dependiendo de los factores y el diseño del emplazamiento, quizá también sea posible demostrar la seguridad de los desechos con niveles de concentración de la actividad más elevados.

2.20. Otra opción de gestión para algunos de los desechos que pertenecen a esta clase, como las rocas estériles procedentes de explotaciones mineras, puede ser el uso autorizado del material (por ejemplo, para la construcción de carreteras). En este caso, los criterios pueden establecerse empleando enfoques

parecidos a los que figuran en la referencia [6] para definir los valores generales de dispensa (véase el párrafo 3.1 de la referencia [6]).

Desechos de actividad baja (LLW)

2.21. En los sistemas de clasificación anteriores, los desechos de actividad baja se definían como desechos radiactivos que en condiciones normales de manipulación y transporte no requieren blindaje⁶. Los desechos radiactivos que requieren blindaje, pero respecto de los cuales las disposiciones que se deben adoptar son pocas o ninguna en relación con la disipación del calor, se clasificaban como desechos de actividad intermedia⁷. Generalmente, para distinguir entre las dos clases de desechos se utilizaba una tasa de dosis de contacto de 2 mSv/h. En el presente sistema de clasificación revisado, que se basa principalmente en la seguridad a largo plazo, no se utiliza dicha tasa para distinguir entre las clases de desechos. Sin embargo, sigue siendo una cuestión que debe tenerse en cuenta a la hora de manipular y transportar desechos, así como para fines de protección radiológica operativa en instalaciones de gestión y disposición final de desechos, aunque no es necesariamente un factor determinante para la seguridad a largo plazo de una instalación de disposición final.

2.22. En el sistema de clasificación establecido en la presente guía de seguridad, los desechos de actividad baja son desechos adecuados para la disposición final cerca de la superficie. Se trata de una opción de disposición final adecuada para los desechos que contengan tal cantidad de material radiactivo que sea necesario emplear medidas de contención y aislamiento sólidas durante períodos limitados de hasta algunos cientos de años. Esta clase abarca una variedad muy amplia de desechos radiactivos. Comprende desde desechos radiactivos con un nivel de contenido de actividad justo por encima del nivel correspondiente a los VLLW, es decir, que no requieren blindaje o contención y aislamiento especialmente sólidos, hasta desechos radiactivos con tal nivel de concentración de la actividad que se precisan blindaje y contención y aislamiento más sólidos durante períodos de hasta varios siglos.

2.23. Dado que los LLW pueden abarcar una amplia gama de concentraciones de la actividad y contener una gran variedad de radionucleidos, existen diversas opciones de diseño de instalaciones de disposición final cerca de la superficie. Estas opciones de diseño van desde instalaciones simples a otras más complejas

⁶ Véase la nota 2.

⁷ Véase la nota 3.

y la disposición final puede realizarse a diversas profundidades, normalmente desde la superficie hasta 30 m bajo tierra. Dependerán de las evaluaciones de seguridad y de las prácticas nacionales, y están sujetas a la aprobación del órgano regulador.

2.24. En los LLW puede haber concentraciones bajas de radionucleidos de período largo. Aunque los desechos pueden contener altas concentraciones de radionucleidos de período corto, se producirá una desintegración radiactiva considerable durante el período de contención y aislamiento fiables proporcionado por el emplazamiento, las barreras artificiales y el control institucional. Por lo tanto, la clasificación de los desechos como LLW debería asociarse a los radionucleidos específicos presentes en los desechos. Además, se deberían tener en cuenta las diversas vías de exposición tales como la ingestión (por ejemplo, en el caso de la migración a largo plazo de radionucleidos a la biosfera accesible durante la fase posterior al cierre de una instalación de disposición final) y la inhalación (por ejemplo, en el caso de intrusión humana en los desechos). Por consiguiente, en la mayoría de los casos, los desechos radiactivos adecuados para su disposición final cerca de la superficie y a profundidades intermedias pueden diferenciarse basándose en la necesidad de realizar controles en períodos durante los cuales se pueda garantizar el control institucional y, por tanto, evitar la intrusión humana en los desechos. La idoneidad de una instalación de disposición final para un inventario de desechos en particular debe demostrarse mediante la justificación de la seguridad para dicha instalación [5].

2.25. En muchos Estados, se da por sentado que los controles institucionales son fiables durante un período de hasta unos 300 años. Partiendo de este supuesto, los valores límite para desechos de actividad baja en función de los niveles de concentración de la actividad pueden establecerse estimando las dosis recibidas por personas expuestas tras este período de control institucional. En el caso de los desechos derivados de la extracción y el tratamiento de uranio y otros materiales que contengan cantidades considerables de radionucleidos naturales, se plantea una situación especial ya que su contenido de actividad no experimentará una reducción considerable dentro de estos plazos. Puesto que la gestión de este tipo de desechos en instalaciones cerca de la superficie es, en muchos casos, la única opción viable, deben proponerse períodos de control institucional más largos que incluyan el examen periódico de la seguridad de la instalación.

2.26. No se puede indicar un límite exacto entre los LLW y los desechos de actividad intermedia (ILW) ya que los límites del nivel aceptable de concentración de la actividad variarán entre los radionucleidos individuales y los grupos de radionucleidos. Los criterios de aceptación de desechos para una instalación

de disposición final cerca de la superficie determinada dependerán del diseño y la planificación reales de la instalación (por ejemplo, barreras artificiales, duración del control institucional, factores específicos del emplazamiento). Las restricciones sobre los niveles de concentración de la actividad para radionucleidos de período largo presentes en bultos de desechos individuales pueden complementarse con la imposición de restricciones al promedio de los niveles de concentración de la actividad o con técnicas operativas simples como la colocación de bultos de desechos con niveles de concentración de la actividad más elevados en lugares seleccionados dentro de la instalación de disposición final. Quizás un órgano regulador pueda facilitar niveles límite de la concentración de la actividad de los LLW basándose en características genéricas de los emplazamientos y en diseños genéricos de las instalaciones, así como períodos de control institucional determinados y límites de dosis para las personas.

2.27. El órgano regulador debería establecer los límites para la disposición final de radionucleidos de período largo en función de la evaluación de seguridad de la instalación de disposición final de que se trate. En algunos Estados se ha adoptado un límite promedio de 400 Bq/g (y hasta 4 000 Bq/g para bultos individuales) para los radionucleidos de período largo emisores de radiación alfa [10-12]. En el caso de los radionucleidos de período largo emisores de radiación beta y/o gamma tales como ^{14}C , ^{36}Cl , ^{63}Ni , ^{93}Zr , ^{94}Nb , ^{99}Tc y ^{129}I , el promedio admisible de concentraciones de la actividad puede ser considerablemente superior (hasta decenas de kilobecquerels por gramo), así como específico para el emplazamiento y la instalación de disposición final.

Desechos de actividad intermedia (ILW)

2.28. Por desechos de actividad intermedia se entienden los desechos que contienen radionucleidos de período largo en cantidades que requieren un mayor grado de contención y aislamiento de la biosfera que el que ofrece la disposición final cerca de la superficie. Es conveniente que la disposición final de los ILW se lleve a cabo en una instalación a una profundidad de entre algunas decenas y varios cientos de metros. La disposición final a esas profundidades tiene el potencial de ofrecer un aislamiento del medio ambiente accesible durante un largo período siempre que se proceda a la selección adecuada de las barreras, tanto naturales como artificiales, del sistema de disposición final. En particular, a esas profundidades la erosión no suele tener efectos nocivos a corto y medio plazo. Otra ventaja importante de la disposición final a profundidades intermedias es que, en comparación con las instalaciones de disposición final cerca de la superficie adecuadas para LLW, la probabilidad de intrusión humana involuntaria

se reduce considerablemente. Por consiguiente, la seguridad a largo plazo para instalaciones de disposición final a profundidades intermedias de este tipo no dependerá de la aplicación de controles institucionales.

2.29. Como se señala en el párrafo 2.26, el límite entre la clase de LLW y la clase de ILW no se puede especificar de forma general con respecto a los niveles de concentración de la actividad, ya que los niveles admisibles dependerán de la propia instalación de disposición final de desechos, su justificación de la seguridad conexas y la evaluación de la seguridad complementaria. A efectos de comunicación, en espera del establecimiento de instalaciones de disposición final para ILW, el órgano regulador puede determinar si unos desechos concretos son LLW o ILW basándose en justificaciones de la seguridad genéricas.

Desechos de actividad alta (HLW)

2.30. Los desechos de actividad alta son desechos que contienen concentraciones tan grandes de radionucleidos de período corto y largo que, a diferencia de los ILW, requieren un mayor grado de contención y aislamiento del medio ambiente accesible para garantizar la seguridad a largo plazo. Esta contención y aislamiento normalmente vienen dados por la integridad y la estabilidad de la disposición final geológica en profundidad con barreras artificiales. Los HLW generan cantidades considerables de calor procedente de la desintegración radiactiva y, habitualmente, siguen generando calor durante varios siglos. La disipación del calor es un factor importante que debe tomarse en consideración al diseñar instalaciones de disposición final geológica.

2.31. Los niveles de concentración de la actividad⁸ de los HLW normalmente oscilan entre unos 10^4 y 10^6 TBq/m³ (por ejemplo, en el caso de combustible gastado recientemente procedente de reactores de potencia, que algunos Estados consideran desechos radiactivos). Los HLW incluyen desechos acondicionados derivados del reprocesamiento de combustible gastado junto con cualquier otro desecho que requiera un grado de contención y aislamiento comparable. En el momento de la disposición final, tras unos decenios de enfriamiento, los desechos que contienen esta mezcla de productos de fisión normalmente presentan unos niveles de concentración de la actividad de alrededor de 10^4 TBq/m³. A efectos

⁸ El anterior sistema de clasificación (véase la nota 3) mencionaba una potencia térmica correspondiente de entre 2 y 20 kW/m³. En la presente guía de seguridad no se especifica ningún nivel de potencia térmica puesto que se trata de una cuestión que debe examinarse de forma detallada en la demostración de la seguridad de una instalación de disposición final geológica.

de comunicación, en espera del establecimiento de instalaciones de disposición final para HLW, las autoridades nacionales pueden determinar si unos desechos concretos son ILW o HLW basándose en justificaciones de la seguridad genéricas.

OTRAS CONSIDERACIONES

2.32. Si se utiliza el sistema de clasificación, conviene tener en cuenta los tipos y propiedades específicos de los desechos radiactivos. Los criterios exactos según los cuales los desechos se asignan a una clase de desecho particular dependerán de la situación específica del Estado en relación con la naturaleza de los desechos y las opciones de disposición final disponibles o en estudio. Un tipo importante de desechos a los que se debe prestar especial atención son las fuentes selladas en desuso. Otro tipo importante de desechos que exigen un análisis concreto en vista de las grandes cantidades que se están generando y de los distintos enfoques reglamentarios que se han adoptado son los desechos que contienen niveles elevados de radionucleidos naturales. En el anexo III se facilita una visión general de importantes tipos de desechos radiactivos y se examinan las consideraciones especiales que se deben tener en cuenta al utilizar el sistema de clasificación para estos distintos tipos de desechos. La figura 2 es un diagrama lógico en el que se ilustra la utilización del sistema de clasificación para ayudar a determinar las opciones de disposición final, sobre las cuales se facilita más información en el anexo III.

2.33. Si bien la generación de calor es una característica de los HLW, también otros desechos pueden generar calor, aunque a niveles inferiores. La cantidad de calor generado depende de los tipos y las cantidades de radionucleidos presentes en los desechos (por ejemplo, período de semidesintegración, energía de desintegración, concentración de la actividad y actividad total). Además, es muy importante tener en cuenta la extracción del calor (por ejemplo, la conductividad térmica, la configuración geométrica para el almacenamiento y la ventilación). Por lo tanto, la relevancia de la generación de calor no se puede definir mediante el valor de un único parámetro. El efecto de la generación de calor puede variar en diversos órdenes de magnitud, dependiendo de los factores incidentes y los métodos utilizados para extraer el calor. La gestión del calor de desintegración debería considerarse si la potencia térmica de los bultos de desechos alcanzara varios vatios por metro cúbico. Podrían ser de aplicación valores más restrictivos, en particular en el caso de los desechos que contengan radionucleidos de período largo.

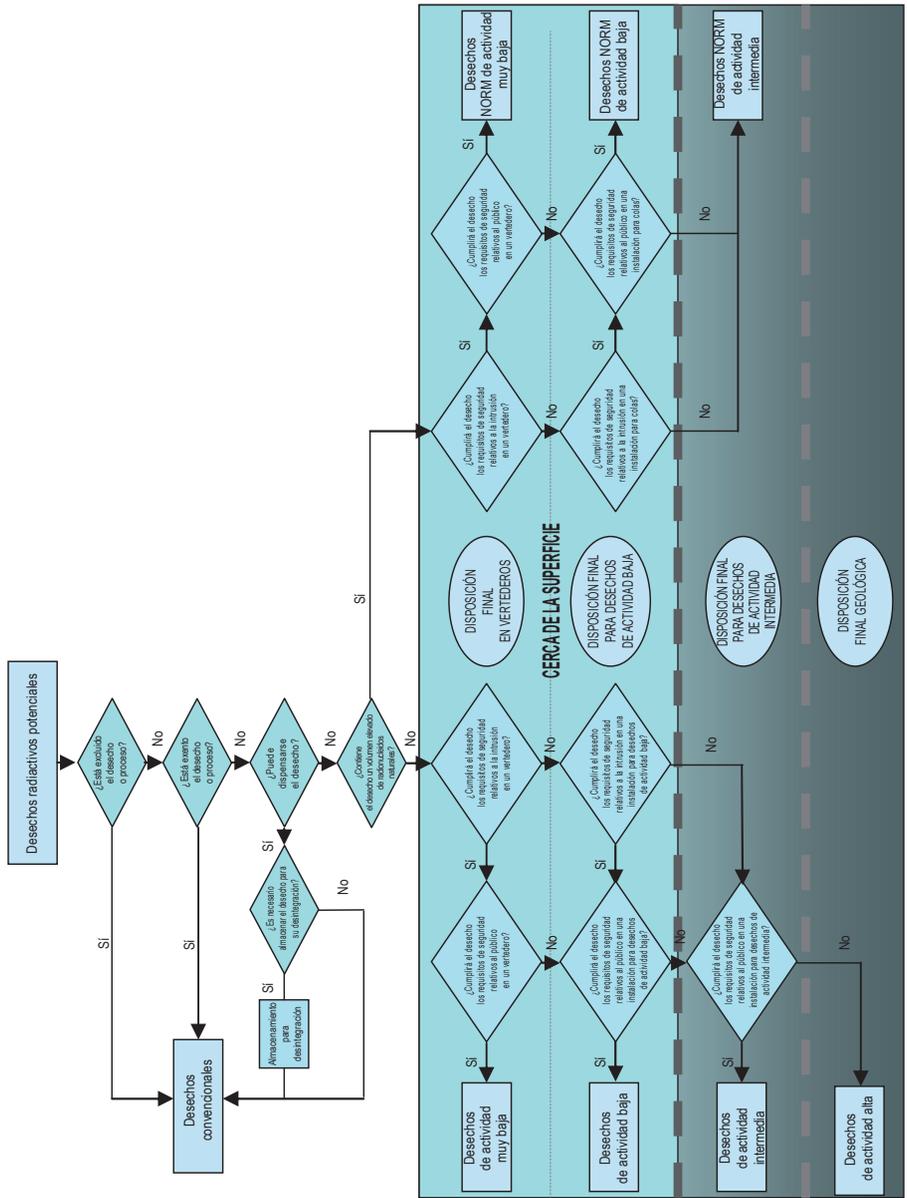


Fig. 2. Ilustración sobre el uso del sistema de clasificación.

Apéndice

CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

A.1. Los sistemas de clasificación de desechos radiactivos pueden elaborarse partiendo de distintos elementos como la seguridad operativa o a largo plazo, las exigencias en materia de ingeniería de procesos, la disponibilidad de instalaciones de gestión o disposición final o la fuente que genera los desechos. En el anexo II se examinan las distintas finalidades y los enfoques de los sistemas de clasificación de desechos radiactivos. La presente guía de seguridad se centra principalmente en la seguridad a largo plazo de la gestión de desechos, ya que constituye un elemento fundamental en la mayoría de los casos relacionados con el almacenamiento prolongado y la disposición final de los desechos. Este enfoque no impide la consideración de otros aspectos, como la seguridad ocupacional, que son pertinentes para la gestión operativa de desechos.

A.2. La clasificación de desechos radiactivos puede ser útil en la planificación de una instalación de disposición final, así como en cualquier fase entre la generación de desechos primarios y su disposición final.

- Desde el punto de vista conceptual, la clasificación ayudará a:
 - concebir estrategias de gestión de desechos;
 - planificar y diseñar instalaciones de gestión de desechos;
 - asignar desechos radiactivos a una técnica de acondicionamiento determinada o a una instalación de disposición final.
- Desde el punto de vista legal y reglamentario, ayudará a:
 - elaborar leyes;
 - establecer requisitos y criterios reglamentarios.
- Desde el punto de vista operativo, permitirá:
 - concretar actividades operativas y organizar la labor que deberá realizarse en relación con los desechos;
 - señalar de forma amplia los posibles peligros asociados a los diversos tipos de desechos radiactivos;
 - facilitar el mantenimiento de registros.
- Desde el punto de vista de la comunicación, ayudará a:
 - facilitar los términos o siglas más conocidos con el fin de mejorar la comunicación entre todas las partes interesadas en la gestión de desechos radiactivos, incluidas las entidades generadoras y gestoras de desechos radiactivos, los reguladores y el público.

A.3. Para satisfacer todos estos propósitos, un sistema de clasificación de desechos radiactivos ideal debería cumplir una serie de objetivos, a saber:

- abarcar todos los tipos de desechos radiactivos;
- servir en todas las etapas de la gestión de desechos radiactivos y poder abordar las interdependencias existentes entre las mismas;
- relacionar las clases de desechos radiactivos con los posibles peligros asociados para las generaciones presentes y futuras;
- ofrecer suficiente flexibilidad para responder a necesidades específicas;
- ser simple y fácil de comprender;
- ser aceptado como base común para la caracterización de los desechos por todas las partes, incluidos reguladores, explotadores y otras partes interesadas,
- permitir su máxima aplicación.

A.4. Evidentemente, no es factible elaborar un único sistema de clasificación que cumpla completamente todos estos objetivos de forma simultánea. Por ejemplo, un sistema de clasificación no puede ser de aplicación a nivel universal y, al mismo tiempo, reflejar hasta el más mínimo detalle de todas las etapas de la gestión de desechos radiactivos. Será necesario llegar a un compromiso para garantizar la sencillez, flexibilidad y amplia aplicabilidad del sistema. Al elaborar un sistema de clasificación:

- las clases de desechos deberían definirse sobre una base técnica sólida, ser claras y fáciles de entender;
- el carácter y la aplicabilidad generales del sistema de clasificación deberían ser claramente comprensibles,
- el número de clases de ese sistema debería ser tal que se pudiera lograr un equilibrio entre la diferenciación deseada en relación con los distintos tipos de desechos y la facilidad de manejo del sistema de clasificación.

A.5. La finalidad del sistema de clasificación elaborado en esta publicación es proporcionar un marco para definir las clases de desechos dentro de las estrategias nacionales de gestión de desechos y servir como instrumento para facilitar la comunicación en relación con la seguridad de los desechos radiactivos. Los límites entre las clases no pretenden ser líneas infranqueables, sino zonas de transición cuya determinación exacta dependerá de la situación concreta en cada Estado (en la referencia [12] se facilita un ejemplo). Se pretende que el sistema de clasificación abarque todos los tipos de desechos radiactivos. Por consiguiente, las clases de desechos no se pueden definir en función de todas las propiedades

específicas del desecho en este nivel genérico. En lugar de eso, para definir las clases de desechos se proporcionan conceptos generales a partir de los cuales se podrán establecer criterios específicos para distintos tipos de desechos. También es importante cuándo y cómo se declara que un material es un desecho, es decir, un material para el cual no se prevé ningún uso posterior. Las disposiciones y los procedimientos relativos a dicha declaración deberían estar supeditados a la aprobación por el órgano regulador.

A.6. El sistema de clasificación desarrollado en la presente publicación se basa principalmente en aspectos relativos a la seguridad a largo plazo y puede aplicarse a todas las actividades de gestión de desechos. Salvo cuando se esté considerando la disposición final, la asignación de los desechos a una clase de desechos determinada no depende de las actividades que se estén realizando. Sin embargo, para determinadas etapas de la gestión de desechos (por ejemplo, el procesamiento, el transporte y el almacenamiento) podría ser necesaria una clasificación más detallada. Esto podría expresarse como subclases de las clases generales de desechos establecidas en la presente publicación. En el anexo II se examinan los aspectos que podrían tomarse en consideración en la elaboración de un sistema de clasificación más detallado para actividades específicas en materia de gestión de desechos.

A.7. El sistema de clasificación no pretende, ni puede, reemplazar la evaluación específica de la seguridad requerida en el caso de una instalación o actividad de gestión de desechos. Una opción de gestión de desechos que difiera de la indicada en el sistema de clasificación de desechos genérico también podría estimarse segura o viable basándose en una evaluación específica de la seguridad.

A.8. El principal aspecto en el que se centra esta publicación para definir las clases de desechos es la seguridad a largo plazo. Los desechos se clasifican según el grado de contención y aislamiento requerido para garantizar su seguridad a largo plazo, teniendo en cuenta los peligros que pueden presentar los distintos tipos de desechos. Esto refleja un enfoque graduado respecto del logro de la seguridad, ya que la clasificación de desechos se basa en las características de la práctica o la fuente, tomando en consideración la magnitud y la probabilidad de las exposiciones.

A.9. Los parámetros utilizados en el sistema de clasificación son los niveles del contenido de actividad del desecho y los períodos de semidesintegración de los radionucleidos contenidos en el mismo, teniendo en cuenta los peligros que plantean distintos radionucleidos y los tipos de radiación emitida. Los niveles de actividad pueden expresarse desde el punto de vista de la actividad

total del desecho, la concentración de la actividad o la actividad específica, dependiendo del tipo de desecho de que se trate. Estos parámetros no se emplean para presentar límites cuantitativos exactos entre clases de desechos, sino que se utilizan para indicar la gravedad del peligro que entrañan algunos tipos de desechos específicos.

A.10. La especificación de los criterios para las distintas clases de desechos deberá tener en cuenta el tipo de desecho. Por ejemplo, los criterios especificados desde el punto de vista de la actividad total o el nivel de concentración de la actividad que serían adecuados para grandes cantidades de desechos en general no lo serán para clasificar fuentes selladas en desuso. Por lo tanto, en la aplicación del sistema de clasificación se deberán tener en cuenta las características específicas de los peligros potenciales del desecho.

A.11. Los criterios de dosis empleados para la gestión de desechos que contengan radionucleidos naturales pueden diferir de los utilizados para la gestión de desechos procedentes de instalaciones nucleares y se pueden elaborar basándose en cuestiones relativas a la optimización de la protección. Estas diferencias pueden influir en la opción de disposición final elegida para grandes volúmenes de desechos con radionucleidos naturales, como las colas derivadas de la extracción y el tratamiento de minerales.

A.12. El sistema de clasificación presentado en esta publicación se basa en los aspectos de seguridad tecnológica relativos a la gestión de desechos, en particular de la disposición final. No obstante, se reconoce la importancia de los aspectos relativos a la seguridad física de la gestión de desechos radiactivos. Aunque la seguridad física no se aborda de forma explícita en la determinación de las clases de desechos, los aspectos relativos a la seguridad tecnológica y física de la gestión de desechos suelen ser compatibles, ya que los desechos con concentraciones de la actividad más elevadas y radionucleidos de período más largo están sujetos a opciones de disposición final que proporcionan un mayor grado de contención y aislamiento. Sin embargo, cuando se trate de desechos que contengan principalmente radionucleidos de período corto, podría surgir una diferencia importante en los aspectos de seguridad tecnológica y física en relación con la gestión de desechos. Sobre la base de cuestiones de seguridad física, el grado de contención y aislamiento necesario a corto plazo superará, muy probablemente, el grado de contención y aislamiento requerido a largo plazo para garantizar la seguridad tecnológica.

A.13. El grado de contención y aislamiento proporcionado a largo plazo varía en función de la opción de disposición final elegida. El sistema de clasificación

expuesto en esta publicación se basa en la consideración de la seguridad a largo plazo que proporcionan las distintas opciones de disposición final vigentes o previstas para los desechos radiactivos. En el sistema de clasificación se contemplan las siguientes opciones para la gestión de desechos radiactivos, con un grado creciente de contención y aislamiento a largo plazo:

- exención o dispensa;
- almacenamiento con fines de desintegración;
- disposición final en instalaciones superficiales de tipo vertedero;
- disposición final en instalaciones tales como zanjas, cámaras o pozos barrenados poco profundos, construidos en la superficie o a profundidades de hasta algunas decenas de metros;
- disposición final en instalaciones construidas a profundidades intermedias de entre algunas decenas y varios cientos de metros (incluidas cavernas ya existentes) y disposición final en pozos barrenados de diámetro pequeño,
- disposición final en instalaciones situadas en formaciones geológicas estables profundas construidas a profundidades de algunos cientos de metros o más.

La profundidad de la disposición final tan solo es uno de los factores que influirán en la idoneidad de una instalación de disposición final determinada; se aplicarán todos los requisitos de seguridad para la disposición final de conformidad con lo establecido en la referencia [5].

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° GSR Part 5, OIEA, Viena (2010).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, INFCIRC/546, OIEA, Viena (1998).
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorizing Operational Radioactive Wastes, IAEA–TECDOC-1538, IAEA, Vienna (2007).
- [4] COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Principios fundamentales de seguridad, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° SF1, OIEA, Viena (2007).
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Geological Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-4, IAEA, Vienna (2006).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Aplicación de los conceptos de exclusión, exención y dispensa, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° RS-G-1.7, OIEA, Viena (2007).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control reglamentario de las descargas radiactivas al medio ambiente, *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* N° WS-G-2.3, OIEA, Viena (2007).
- [8] AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Second National Report on Implementation by France of its Obligations under the Convention, ASN, Paris (2005)
- [9] INTERNATIONAL AFFAIRS OFFICE, NUCLEAR AND INDUSTRIAL SAFETY AGENCY, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: National Report of Japan for the Second Review Meeting, METI, Tokyo (2005).
- [10] Code of Federal Regulations, Title 10, Part 61, “Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste”, 1992.
- [11] FRENCH MINISTRY FOR INDUSTRY AND RESEARCH, Surface Centres for Long Term Disposal of Radioactive Waste with Short or Medium Half-Life and with Low or Medium Specific Activity, Basic Safety Regulations, Regulation No. I.2., Paris (1984).
- [12] KIM, J.I., et al., German approaches to closing the nuclear fuel cycle and final disposal of HLW, “Corrosion Behavior of Spent Fuel” (Proc. Int. Workshop Überlingen, 1995), J. Nucl. Mater. **238** (1996) 1–10.

Anexo I

EVOLUCIÓN DE LAS NORMAS DEL OIEA SOBRE CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIACTIVOS

I-1. Anteriormente, en 1970⁹ y 1981¹⁰, el OIEA publicó documentos sobre la clasificación de los desechos radiactivos. En general, los desechos radiactivos se dividían en tres clases: 1) desechos de actividad alta (HLW); 2) desechos de actividad intermedia (ILW); o 3) desechos de actividad baja (LLW). Dentro de las clases de ILW y LLW, la publicación más reciente también diferenciaba entre los desechos que contenían radionucleidos de período corto y los que contenían radionucleidos de período largo, así como los desechos con radionucleidos emisores de radiación alfa. Aquel sistema de clasificación resultó ser útil para usos generales, aunque se observaron algunas limitaciones. En particular, el sistema de clasificación carecía de un vínculo completamente coherente con los aspectos de seguridad en la gestión de desechos radiactivos, en especial con respecto a la disposición final.

I-2. A fin de abordar estas limitaciones y mejorar la comunicación, el OIEA publicó en 1994¹¹ un sistema de clasificación modificado. Se determinaron las tres clases principales de desechos, que se utilizaron como base del sistema:

- Desechos que contienen una concentración tan baja de radionucleidos que pueden quedar exentos del control reglamentario, dado que el peligro radiológico asociado es insignificante.
- Desechos que contienen tal cantidad de material radiactivo que requieren la adopción de medidas para garantizar la protección de los trabajadores y el público, ya sea por períodos breves o prolongados. Esta clase abarca una variedad muy amplia de desechos radiactivos, desde los que se encuentran justo por encima de los niveles de exención y no necesitan blindaje ni contención específica, hasta los que tienen unos niveles de actividad tan elevados que podrían precisarse blindaje y quizá la adopción de disposiciones en relación con la disipación del calor. Para estos desechos se pueden proponer diversos métodos de disposición final.
- Desechos que contienen unos niveles tan altos de material radiactivo que se requiere un grado elevado de aislamiento de la biosfera, normalmente a través de la disposición final geológica, durante largos períodos. Este tipo

⁹ Véase la nota 1.

¹⁰ Véase la nota 2.

¹¹ Véase la nota 3.

de desechos generalmente precisan blindaje y la adopción de disposiciones en relación con la disipación del calor.

Anexo II

MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN

II-1. Los sistemas de clasificación de desechos radiactivos pueden elaborarse partiendo de distintas bases, como aspectos relacionados con la seguridad y la reglamentación o exigencias en materia de ingeniería de procesos. En este anexo se analizan las distintas finalidades y enfoques de los sistemas de clasificación de desechos radiactivos.

II-2. Los sistemas de clasificación de desechos radiactivos pueden establecerse a distintos niveles y con distintas finalidades. Un sistema de clasificación puede definirse a nivel internacional, a nivel nacional o a nivel del explotador. Su perspectiva y finalidad variarán en consecuencia y abordarán, por ejemplo, aspectos relacionados con la seguridad, el origen y las características de los desechos, las exigencias técnicas o el control reglamentario.

II-3. El enfoque de la clasificación dependerá de la finalidad del sistema de clasificación de desechos radiactivos. Uno de los enfoques de clasificación básicos es una simple descripción cualitativa de cada una de las clases, en la que las características generales del desecho radiactivo se utilizan como criterio principal para la clasificación. No obstante, incluso en este enfoque de clasificación cualitativo, los valores numéricos para caracterizar franjas amplias u órdenes de magnitud también pueden ser útiles. Otro enfoque de clasificación básico es el empleo de criterios cuantitativos en el que se especifican valores numéricos para definir las clases de desechos.

II-4. El enfoque descrito en el apartado 2 de esta guía de seguridad se basa principalmente en los aspectos de seguridad a largo plazo de la disposición final de desechos, pero puede emplearse en las diversas etapas de la gestión de desechos. Es razonable utilizar la disposición final como base de un sistema de clasificación a fin de mantener la compatibilidad y la coherencia a lo largo de las distintas etapas de la gestión de desechos.

II-5. Es preciso distinguir claramente entre un sistema de clasificación y un conjunto de límites reglamentarios. La finalidad de la clasificación es asegurar que los desechos se gestionen de forma segura y económica en el marco de una estrategia nacional y facilitar la comunicación, mientras que el objetivo de la limitación reglamentaria es velar por la seguridad de cada instalación y actividad autorizadas. Por lo tanto, el establecimiento de unos límites exactos debe llevarse a cabo dentro del marco reglamentario de concesión de licencias o autorización

de actividades e instalaciones específicas de gestión de desechos radiactivos. El órgano regulador de un Estado establecerá los límites propiamente dichos de las cantidades o concentraciones para la clasificación de desechos radiactivos. Si bien un sistema de clasificación de desechos puede ser útil en relación con cuestiones genéricas de seguridad, no puede sustituir evaluaciones de seguridad específicas realizadas en una instalación determinada y que incluyan la caracterización adecuada de los desechos radiactivos.

CLASIFICACIÓN CUALITATIVA

II-6. Existen sistemas de clasificación “naturales”, como la clasificación de los desechos según su origen. En el anexo III figura un ejemplo de este tipo de sistemas de clasificación cualitativa. Si bien estos sistemas son adecuados para el mantenimiento de registros y la notificación al órgano regulador, no cumplen muchos de los objetivos que figuran en el párrafo A.3 del apéndice. Además, las características relativas a la seguridad de los desechos de una determinada clase pueden variar mucho, y los desechos de una misma clase pueden requerir distintos tipos de procesamiento.

II-7. Otro sistema de clasificación “natural” es la diferenciación de los desechos radiactivos según su estado físico, es decir, sólido, líquido o gaseoso. Este sistema tiene su origen en las necesidades en materia de ingeniería de procesos para el procesamiento de distintas corrientes de desechos, y frecuentemente se perfecciona para adaptarlo a cada sistema de procesamiento de desechos. Un sistema de clasificación de este tipo responde a necesidades y posibilidades técnicas y, por lo tanto, suele ser específico para cada instalación. No obstante, puede incluir aspectos relativos a la seguridad, como medidas de protección radiológica necesarias para las clases de desechos radiactivos que pueden plantear un mayor peligro radiológico.

II-8. El sistema de clasificación propuesto en 1994¹¹ comprendía tres clases principales de desechos: desechos exentos, desechos de actividad baja e intermedia (subdividida en desechos de período corto y desechos de período largo) y desechos de actividad alta. Los límites entre las clases de desechos se presentaban en función de los órdenes de magnitud de los niveles de actividad.

II-9. Distintos Estados utilizan diferentes sistemas de clasificación. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, la clase de desechos de actividad baja e intermedia se divide en cuatro subclases [II-1]. Algunos Estados tienen una clase que abarca los desechos radiactivos de actividad muy baja [II-2, II-3].

En muchos Estados se realiza otra distinción sobre la base de los períodos de semidesintegración de los radionucleidos que contengan los desechos, su estado físico y otros factores [II-4].

CLASIFICACIÓN CUANTITATIVA

II-10. Con frecuencia, la clasificación de desechos radiactivos está relacionada con los aspectos de seguridad relativos a la gestión de los desechos de que se trate. Por lo tanto, un sistema de clasificación como este proporciona un vínculo entre las características de los desechos y los objetivos de seguridad establecidos por un órgano regulador o el explotador de una instalación de gestión de desechos. Dado que generalmente los criterios de seguridad se expresan en valores numéricos, la clasificación deberá tener un enfoque cuantitativo. Los criterios cuantitativos para un sistema de clasificación de desechos radiactivos pueden presentarse desde el punto de vista de los niveles de concentración de la actividad, los períodos de semidesintegración de los radionucleidos que contenga el desecho, el calor generado por el desecho y/o la dosis o tasa de dosis. Para establecer un sistema de clasificación cuantitativo, conviene utilizar un procedimiento como el indicado en los párrafos II-11 a II-17.

II-11. El primer paso para elaborar un sistema de clasificación cuantitativo es definir la finalidad de dicho sistema, puesto que un sistema de clasificación determinado solo puede abordar un aspecto concreto de la gestión de desechos radiactivos. La decisión relativa a la finalidad del sistema de clasificación se basará en aspectos como:

- el tipo de desecho radiactivo;
- la instalación o actividad de que se trate;
- las opciones de procesamiento disponibles;
- los objetivos de seguridad que deben cumplirse;
- los factores sociales y económicos conexos,
- las necesidades de comunicación.

II-12. El segundo paso es definir los aspectos que deben tenerse en cuenta en el sistema, por ejemplo:

- la exposición del personal;
- la exposición de los miembros del público;
- la contaminación del medio ambiente;
- la seguridad una vez alcanzada la criticidad;

- las condiciones normales o los accidentes;
- el calor generado por el desecho,
- los aspectos relativos a la ingeniería de procesos.

II-13. Con respecto a algunos de los aspectos señalados en el párrafo II-12, pueden existir restricciones reglamentarias o técnicas que deben tomarse en consideración, entre ellas:

- los límites y requisitos establecidos por el órgano regulador;
- las características del propio desecho, es decir, la cantidad producida anualmente, el volumen total de generación y el espectro de radionucleidos y sus concentraciones;
- las condiciones específicas de la instalación (por ejemplo, cuerpo de los desechos o bultos de desechos aceptados, diseño técnico);
- límites operativos;
- las vías o los escenarios recomendados para las evaluaciones de la seguridad;
- las condiciones específicas del emplazamiento (por ejemplo, para la disposición final, las características geológicas, hidrogeológicas y climáticas del emplazamiento pueden limitar la elección de un emplazamiento de disposición final o del tipo de desecho que puede someterse a disposición final en él);
- aspectos sociales o políticos,
- definiciones y requisitos jurídicos.

Estos factores pueden imponer restricciones en la elección y elaboración de un sistema de clasificación y, por lo tanto, su efecto debe evaluarse antes de establecer el sistema de clasificación.

II-14. Una vez establecido el marco para la clasificación, el tercer paso consiste en seleccionar los parámetros que se emplearán para clasificar los desechos. En el cuadro II-I se facilitan características importantes de los desechos que pueden utilizarse como parámetros para la clasificación.

II-15. Posteriormente, como cuarto paso, deben evaluarse los posibles escenarios y las opciones de diseño para la instalación, así como las opciones específicas para el emplazamiento, a fin de estudiar su idoneidad como parámetros de clasificación. En relación con los LLW, en la referencia [II-4] se examinan posibles escenarios.

II-16. Cuando se ha elegido un conjunto de parámetros de clasificación, los intervalos de los valores numéricos o, de forma alternativa, las características cualitativas se señalan como límites de las distintas clases. La asignación de los desechos a estas clases indicará si el sistema de clasificación establecido es adecuado.

II-17. Normalmente, los pasos descritos en los párrafos II-11 a II-16 se repiten hasta obtener un resultado satisfactorio.

CUADRO II-I. CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LOS DESECHOS RADIATIVOS QUE PUEDEN UTILIZARSE COMO PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN

Origen

Criticidad

Propiedades radiológicas:

- Periodos de semidesintegración de los radionucleidos
- Generación de calor
- Intensidad de la radiación penetrante
- Concentración de la actividad de los radionucleidos
- Contaminación de la superficie
- Factores relativos a la dosis de los radionucleidos pertinentes
- Productos de desintegración

Propiedades físicas:

- Estado físico (sólido, líquido o gaseoso)
- Tamaño y peso
- Compactabilidad
- Capacidad de dispersión
- Volatilidad
- Miscibilidad
- Contenido de líquido libre

Propiedades químicas:

- Composición química
- Solubilidad y quelantes
- Posible peligro químico
- Resistencia a la corrosión/corrosividad
- Contenido orgánico
- Combustibilidad e inflamabilidad
- Reactividad química y potencial de dilatación
- Generación de gases
- Sorción de radionucleidos

Propiedades biológicas:

- Posibles peligros biológicos
- Bioacumulación

Otros factores:

- Volumen
 - Cantidad producida por unidad de tiempo
 - Distribución física
-

REFERENCIAS DEL ANEXO II

- [II-1] Code of Federal Regulations, Title 10, Part 61, “Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste”, 1992.
- [II-2] AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management: Second National Report on Implementation by France of its Obligations under the Convention, ASN, Paris (2005).
- [II-3] MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO, Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, octubre de 2008, Tercer Informe Nacional de España.
- [II-4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluación de la seguridad para la disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie, *Colección Normas de Seguridad del OIEA* N° WS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).

Anexo III

ORIGEN Y TIPOS DE DESECHOS RADIACTIVOS

III-1. Muchas de las actividades relacionadas con el empleo de radionucleidos y la producción de energía nuclear, incluidas todas las fases del ciclo del combustible nuclear, conllevan la generación de desechos radiactivos. Los desechos radiactivos también pueden generarse a partir de otras actividades como los usos médicos o industriales de radioisótopos y fuentes de radiación selladas, los programas de defensa y armamento, y el tratamiento (principalmente en gran escala) de menas y otros materiales que contengan radionucleidos naturales que en algunos casos deben gestionarse como desechos radiactivos. Ejemplos de este último son el tratamiento del mineral de fosfato y la prospección de petróleo y gas. Los desechos radiactivos también pueden provenir de actividades de intervención, que son necesarias después de accidentes o para restaurar zonas afectadas por prácticas anteriores.

III-2. Los desechos radiactivos generados son tan variados en forma, concentración de la actividad y tipo de contaminación como en el tipo de actividad que los genera. Pueden encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso. Los niveles de concentración de la actividad varían desde niveles extremadamente elevados asociados al combustible gastado y los residuos procedentes del reprocesamiento de combustible, hasta niveles muy bajos relacionados con las aplicaciones de radioisótopos en laboratorios, hospitales, etcétera. Igualmente amplio es el espectro de períodos de semidesintegración de los radionucleidos presentes en los desechos radiactivos.

III-3. En este anexo se describen de forma breve y desde el punto de vista cualitativo las principales actividades que generan desechos y los tipos de desechos generados por cada una de ellas. Las descripciones y los valores numéricos facilitados se basan en la referencia [III-1]. En el presente anexo también se ilustra la aplicación del sistema de clasificación elaborado en esta guía de seguridad para algunos de los tipos de desechos radiactivos descritos.

DESECHOS PROCEDENTES DE LA EXTRACCIÓN Y EL TRATAMIENTO DE MINERALES QUE CONTENGAN NIVELES ELEVADOS DE RADIONUCLEIDOS NATURALES

III-4. La fase inicial del ciclo del combustible nuclear es la extracción de los minerales de uranio o torio que después se utilizan para producir combustible

nuclear. Sin embargo, otros productos radiactivos, como el radio, también pueden separarse de las menas para diversas aplicaciones. Las actividades de minería permiten la extracción de minerales suficientemente ricos para justificar el tratamiento, y también de cantidades relativamente grandes de materiales que contienen uranio o torio en concentraciones tan pequeñas que su ulterior tratamiento no se puede justificar a nivel económico. Los materiales extraídos que no se someterán a tratamiento constituyen las colas procedentes de la extracción en general acumuladas como escombreras, normalmente cerca de las minas. Las colas procedentes de la extracción de minerales de uranio y torio suelen contener niveles elevados de radionucleidos naturales y deben gestionarse como desechos radiactivos con fines de protección radiológica y por razones de seguridad.

III-5. Las menas más ricas a partir de las cuales se separarán el uranio y el torio se envían a las fábricas para su tratamiento, lo que generalmente implica procesos de trituración y tratamiento químico. Tras la extracción del uranio, aunque la cantidad restante en los residuos (las colas de tratamiento) del nucleido padre de la cadena de desintegración del elemento extraído es mínima, estos todavía contienen la mayor parte de los productos de desintegración. Algunos de los nucleidos hijos pueden ser más susceptibles a la lixiviación y la emanación a partir de las colas que a partir de la mena original. Además, las colas derivadas del tratamiento contienen cantidades importantes de productos químicos peligrosos, entre ellos metales pesados como el cobre, el arsénico, el molibdeno y el vanadio; estos elementos se deben tener en cuenta al evaluar la seguridad de las opciones de gestión previstas.

III-6. La extracción y/o el tratamiento de otros materiales que son ricos en materiales radiactivos naturales también dan lugar a tipos y cantidades similares de desechos radiactivos con radionucleidos naturales. Estos materiales son, entre otros, los minerales de fosfatos, las arenas minerales, algunas rocas auríferas, el carbón y los hidrocarburos, y todos ellos contienen concentraciones relativamente bajas de radionucleidos de período largo. La concentración de los radionucleidos en estas corrientes de desechos puede superar los niveles correspondientes a los desechos exentos recomendados en el apartado 2 de la presente guía de seguridad. En los últimos años ha aumentado la concienciación acerca de la necesidad de tomar medidas para reducir las dosis debidas a la exposición a estos desechos (a menudo conocidos como NORM y TENORM), así como de aplicar controles reglamentarios para garantizar la seguridad. Las características de estos desechos, sin embargo, son suficientemente diferentes de las de otros desechos como para requerir consideraciones en materia de reglamentación específicas. Revisten particular importancia los largos períodos de semidesintegración de los

radionucleidos presentes y los volúmenes habitualmente elevados de materiales que se originan.

III-7. El sistema de clasificación descrito en el apartado 2 de la presente guía de seguridad abarca estos desechos procedentes de la extracción y el tratamiento, pero sus propiedades especiales y el enfoque reglamentario adoptado deberán tratarse de forma específica. Algunos desechos, como ciertas impurezas que se producen en la industria del petróleo y del gas, pueden presentar niveles elevados de concentraciones de la actividad. Es posible que estos desechos deban someterse al mismo tipo de gestión de desechos que los LLW o, en algunos casos, los ILW. No obstante, las cantidades de este tipo de desechos suelen ser muy limitadas.

DESECHOS PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA NUCLEOELÉCTRICA

III-8. La producción de energía nucleoelectrónica da lugar a la generación de varios tipos de desechos radiactivos, incluidos el combustible gastado (si se declara como desecho), otros desechos de actividad alta (HLW) principalmente generados a partir del reprocesamiento químico del combustible gastado, y los desechos de actividad muy baja (VLLW), de actividad baja (LLW) y de actividad intermedia (ILW) generados como resultado del funcionamiento del reactor, el reprocesamiento, la descontaminación, la clausura y otras actividades del ciclo del combustible nuclear.

Desechos de actividad alta (HLW)

III-9. El combustible nuclear gastado contiene cantidades considerables de materiales fisibles, otros actínidos y productos de fisión. Recién extraído del reactor, este combustible genera una cantidad importante de calor y normalmente se coloca en piscinas de almacenamiento que suelen estar situadas dentro del edificio del reactor. Llegado el momento, el combustible gastado se extraerá y se someterá a la opción de gestión seleccionada entre algunas posibilidades:

- Reprocesamiento: en este caso, el combustible se disuelve y trata para separar los componentes fisibles restantes de los productos de fisión y los productos de activación. Las actividades de reprocesamiento generan corrientes de desechos radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos. Durante la disolución del combustible se generan desechos sólidos como tubos de vainas de elementos combustibles, componentes físicos y otros residuos insolubles. Estos desechos pueden contener productos de activación,

así como algunos productos de fisión no disueltos, uranio y plutonio. La principal corriente de desechos líquidos es la solución de ácido nítrico, que contiene niveles elevados de concentración de la actividad de productos de fisión y altas concentraciones de actínidos. La principal corriente de desechos gaseosos son los efluentes gaseosos, que contienen gases poco frecuentes y productos de fisión volátiles emitidos a partir del combustible gastado durante el proceso de disolución. Tras la solidificación, los HLW procedentes del reprocesamiento del combustible gastado deben someterse a disposición final en instalaciones de disposición final geológica que proporcionen suficiente aislamiento y contención durante largos períodos.

- Disposición final: algunos Estados han decidido que el combustible gastado no debería reprocesarse y lo consideran un desecho, por lo que debe someterse a la disposición final. La opción de disposición final que se suele contemplar es la colocación en instalaciones de disposición final geológica.
- Almacenamiento a largo plazo: si no se lleva a cabo el reprocesamiento, y mientras las instalaciones de disposición final geológica no estén operativas, el almacenamiento del combustible gastado es, obviamente, inevitable. La mayoría de los Estados que no someten el combustible gastado a reprocesamiento están planificando su almacenamiento prolongado. El almacenamiento a largo plazo puede realizarse en los emplazamientos de reactores o en instalaciones de almacenamiento alejadas del reactor.

III-10. En general, los HLW líquidos se almacenan en cisternas antes de su solidificación final (actualmente se utiliza la vitrificación). Aunque existe acuerdo general en que es preciso transformar los HLW líquidos en un sólido, en algunos emplazamientos estos desechos se han almacenado en cisternas durante períodos que ya alcanzan varios decenios. La mayor parte de los HLW líquidos sometidos a este tipo de almacenamiento a largo plazo proceden de actividades de programas de defensa (véase el párrafo III-21).

Desechos de actividad baja y desechos de actividad intermedia procedentes de las actividades de explotación

III-11. La fabricación de combustible para el reactor genera desechos procedentes de la purificación, la conversión y el enriquecimiento del uranio, así como de la fabricación de elementos combustibles. Estos desechos incluyen materiales de filtración contaminados de los sistemas de efluentes gaseosos, basura ligeramente contaminada y residuos derivados de actividades de reciclaje o recuperación. Estos desechos normalmente contienen uranio y, en el caso de los desechos procedentes de la fabricación de combustible de mezcla de óxidos, también tienen plutonio.

III-12. En la explotación de las centrales nucleares, los desechos proceden del procesamiento del agua de refrigeración y del agua de la piscina de almacenamiento, la descontaminación de equipo y el mantenimiento rutinario de la instalación. Los desechos resultantes de la explotación de las centrales nucleares suelen estar contaminados con productos de fisión y de activación. Los desechos generados en actividades rutinarias son, entre otros, ropa contaminada, barreduras, papeles y plásticos. Los desechos derivados del procesamiento del agua de refrigeración primaria y el sistema de efluentes gaseosos incluyen resinas y filtros gastados, así como algunos equipos contaminados. También se pueden generar desechos a partir de la sustitución de componentes activados del núcleo como barras de control o fuentes de neutrones.

Desechos procedentes de la clausura de instalaciones nucleares

III-14. Al final de la vida útil de una instalación nuclear, se adoptan medidas administrativas y técnicas a fin de posibilitar la derogación de algunos o todos los requisitos reglamentarios aplicables a la instalación. Las actividades que se requieren para la descontaminación y el desmantelamiento de una instalación nuclear, así como para la restauración del emplazamiento, conllevarán la generación de desechos radiactivos que pueden variar considerablemente en cuanto al tipo, el nivel de concentración de la actividad, el tamaño y volumen, y pueden estar activados o contaminados. Estos desechos pueden estar formados por materiales sólidos como un equipo de procesamiento, materiales de construcción, herramientas y tierras. Los volúmenes más grandes de desechos procedentes del desmantelamiento de instalaciones nucleares serán principalmente VLLW y LLW. Con el fin de reducir la cantidad de desechos radiactivos se aplica de forma generalizada la descontaminación de los materiales. Los procesos de descontaminación también pueden generar corrientes de desechos líquidos y gaseosos.

DESECHOS PROCEDENTES DE ACTIVIDADES INSTITUCIONALES

III-15. Los usos institucionales de materiales radiactivos incluyen actividades en los ámbitos de la investigación, la industria y la medicina. Estas actividades, en particular en el campo de la investigación, son muy variadas y generan desechos de distintas clases. Como en el sector nuclear, los desechos institucionales generados pueden encontrarse en estado gaseoso, líquido o sólido. La mayor parte de los desechos institucionales se encuentran en estado sólido y, generalmente, se manipulan de forma comparable a los desechos generados en el ciclo del combustible nuclear.

Desechos procedentes de los reactores de investigación

III-16. Los desechos generados por los reactores de investigación y procedentes de algunas fuentes radiactivas en desuso son particularmente importantes porque, dado su nivel de concentración de la actividad y los períodos de semidesintegración de los radionucleidos, no cumplen los criterios de aceptación de desechos de las instalaciones de disposición final cerca de la superficie.

Desechos procedentes de instalaciones de investigación

III-17. Las instalaciones de investigación (por ejemplo, cadenas de celdas calientes, cadenas de cajas de guantes) o plantas piloto para comprobar los procesos de fabricación de combustible (en especial la fabricación de mezclas de óxidos de uranio y plutonio, denominadas MOX), para reprocesar el combustible (en particular los sistemas avanzados) y para realizar exámenes post-irradiación, así como sus laboratorios analíticos, generan tipos de desechos que, a menudo, son distintos de los desechos habitualmente generados por las plantas industriales. Debido a la presencia de cantidades no desdeñables de emisores de radiación alfa de período largo, los desechos de las instalaciones de investigación suelen pertenecer a la clase de ILW e incluso, en determinadas circunstancias, a la de HLW. Las actividades de investigación se llevan a cabo en instalaciones como reactores de investigación y aceleradores, e incluyen actividades de laboratorio. El tipo y volumen de los desechos generados por las actividades de investigación dependen de la investigación realizada.

Desechos procedentes de la producción y utilización de radioisótopos

III-18. La producción y utilización de radioisótopos genera cantidades de desechos más pequeñas que las actividades del ciclo del combustible:

- Producción de radioisótopos: el tipo y volumen de desechos generados dependen del radioisótopo y el método de producción. En general, el volumen de los desechos radiactivos generado por estas actividades es reducido pero los niveles de concentración de la actividad pueden ser considerables.
- Aplicaciones de los radioisótopos: el empleo de radioisótopos puede generar pequeñas cantidades de desechos. El tipo y volumen de los desechos generados dependerán de la aplicación.

Desechos procedentes de la clausura de otras instalaciones nucleares

III-19. Las instalaciones nucleares del sector institucional también serán objeto de clausura. Los desechos generados serán parecidos a los originados con la clausura de instalaciones nucleares (en particular, en el caso de la clausura de reactores de investigación); sin embargo, las cantidades de desechos generados serán sustancialmente inferiores.

Fuentes selladas en desuso

III-20. Las fuentes radiactivas selladas en desuso son un tipo particular de desechos. Se caracterizan porque su contenido radiactivo está concentrado y se utilizan mucho en aplicaciones médicas o industriales. Al final de su vida útil todavía pueden ser peligrosas y requerirán una gestión adecuada, ya que contienen cantidades elevadas y muy concentradas de un único radionucleido y, en muchos casos, es posible que no cumplan los criterios de aceptación de desechos de las instalaciones de disposición final cerca de la superficie, aun cuando el radionucleido original no sea de período particularmente largo. Las fuentes radiactivas que no son adecuadas para su disposición final cerca de la superficie deben colocarse a mayores profundidades y, por lo tanto, pertenecen a la clase de ILW o, en algunos casos, incluso a la clase de HLW.

III-21. Las fuentes pueden describirse en función de la actividad y el período de semidesintegración del radionucleido que contengan. Las fuentes con radionucleidos cuyos períodos de semidesintegración sean inferiores a 100 días (por ejemplo, ^{90}Y , ^{192}Ir o ^{198}Au utilizados en braquiterapia) se pueden almacenar con fines de desintegración y finalmente someterse a disposición final como desechos exentos. Otras fuentes como las que contienen ^{137}Cs , ^{60}Co o ^{238}Pu tienen períodos de semidesintegración más largos y se necesitarán otras opciones de gestión. En el cuadro III-1 procedente de la referencia [III-2] se facilita una descripción detallada de los distintos tipos de fuentes.

DESECHOS PROCEDENTES DE PROGRAMAS DE DEFENSA Y DESECHOS RELACIONADOS CON LA FABRICACIÓN DE ARMAS

III-22. En los primeros tiempos del desarrollo y ensayo de armas nucleares, se generaron grandes cantidades de desechos procedentes de los programas de defensa y relacionados con la fabricación de armas nucleares. Los HLW más móviles en este contexto son los almacenados en espera de su solidificación. El desmantelamiento de armas nucleares normalmente supone mezclar el

uranio muy enriquecido y/o el plutonio con uranio natural para producir UO_2 y/o combustible de mezcla de plutonio y uranio para reactores de potencia comerciales, o almacenar este material para su futura disposición final en instalaciones de disposición final geológica con HLW o combustible gastado.

MATERIALES RADIACTIVOS EN EL MEDIO AMBIENTE

III-23. Sobre la superficie de la Tierra se han depositado residuos radiactivos como resultado de diversas actividades. Se trata de residuos procedentes de ensayos de armas nucleares, accidentes en instalaciones nucleares y prácticas pasadas como la extracción de uranio que estaban sometidas a un control reglamentario menos estricto que el que exigen las normas de seguridad actuales. Los desechos derivados de las actividades de restauración deberán gestionarse como desechos radiactivos y estabilizarse *in situ* o someterse a disposición final en instalaciones de disposición final adecuadas [III-3].

EJEMPLO DEL USO DEL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE DESECHOS

III-24. En la figura III-1 se da un ejemplo del uso del sistema de clasificación descrito en la presente guía de seguridad para desechos que no procedan de

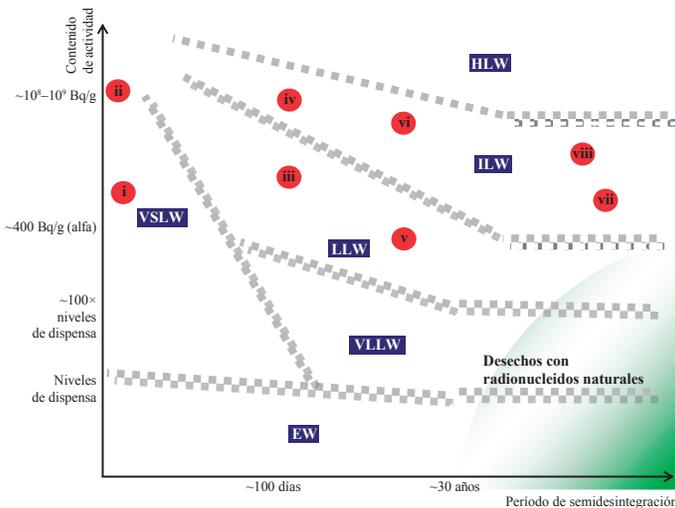


Fig. III-1. Ejemplo ilustrativo de la aplicación del sistema de clasificación de desechos. Los números hacen referencia a los ejemplos de fuentes selladas en desuso establecidos en el cuadro III-1 (véanse los párrafos 2.2 y 2.27, y la figura 1).

actividades nucleares. En ella se muestran las clases de desechos a las que normalmente pertenecerán los distintos tipos de fuentes selladas descritas en el cuadro III-1 y los desechos que contengan radionucleidos naturales. Las características de estos últimos pueden variar considerablemente y, por tanto, podrían pertenecer a diversas clases desde el punto de vista de la disposición final. Como se ha señalado, algunos desechos podrían tener concentraciones de actividad muy bajas, por lo que no sería necesario someterlos a disposición final como desechos radiactivos. Otros desechos con concentraciones más elevadas pero limitadas podrían ser adecuados para la disposición final cerca de la superficie, si bien esos desechos con concentraciones más elevadas, en los que pueden haberse concentrado determinados radionucleidos, quizás requieran una disposición final a mayor profundidad a la habitual en la disposición final cerca de la superficie. Este ejemplo muestra que el sistema de clasificación de desechos es capaz de abarcar diversos tipos de desechos. Se pueden elaborar diagramas parecidos para otros tipos de desechos.

CUADRO III-1. FUENTES RADIATIVAS SELLADAS EN DESUSO

Ejemplo en la fig. III-1	Período de semidesintegración	Actividad	Volumen	Ejemplo
i	<100 días	100 MBq	Reducido	Y 90, Au 198 (braquiterapia)
ii	<100 días	5 TBq	Reducido	Ir 192 (braquiterapia)
iii	<15 años	<10 MBq	Reducido	Co 60, H 3 (blancos de tritio), Kr 85
iv	<15 años	<100 TBq	Reducido	Co 60 (irradiadores)
v	<30 años	<1 MBq	Reducido	Cs 137 (braquiterapia, detectores de densidad-humedad)
vi	<30 años	<1 PBq	Reducido	Cs 137 (irradiadores) Sr 90 (calibradores de espesor, generadores termoeléctricos de radioisótopos)
vii	>30 años	<40 MBq	Reducido, pero puede haber una gran cantidad de fuentes	Pu, Am, Ra (eliminadores de electricidad estática)
viii	>30 años	<10 GBq	(hasta decenas de miles)	Am 241, Ra 226 (calibradores)

REFERENCIAS DEL ANEXO III

- [III-1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Estimation of Global Inventories of Radioactive Waste and Other Radioactive Materials, IAEA-TECDOC-1591, IAEA, Vienna (2008).
- [III-2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluación de la seguridad para la disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie, *Colección Normas de Seguridad del OIEA* N° WS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [III-3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation of Areas Contaminated by Past Activities and Accidents, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-3, IAEA, Vienna (2003).

COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN

Batandjieva, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Delcheva, T.	Ministerio de Energía y Recursos Energéticos (Bulgaria)
Duhovnik, B.	IBE, Ingenieros consultores (Eslovenia)
Embumbulu, E.	Ministerio de Salud y Servicios Sociales (Namibia)
Gandhi, P. M.	Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas (BARC) (India)
Goldammer, W.	Consultor (Alemania)
Greeves, J.	JTG Consulting (Estados Unidos de América)
Hedberg, B.	Inspección Sueca de Energía Nuclear (SKI) (Suecia)
Hutri, K.-L.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) (Finlandia)
Lavrinovich, A.	Servicio Federal de Supervisión Ambiental, Tecnológica y Nuclear (Federación de Rusia)
López, M. M.	Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) (México)
Metcalf, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Nangu, M. B.	Organismo Nacional de Reglamentación Nuclear (Sudáfrica)
Pather, T.	Organismo Nacional de Reglamentación Nuclear (Sudáfrica)
Raicević, J.	Instituto de Ciencias Nucleares de Vinča (Serbia)
Simeonov, G.	Organismo de Regulación Nuclear (Bulgaria)
Smetnik, A.	Autoridad Federal de Seguridad Nuclear y Radiológica de Rusia (GOSATOMNADZOR) (Federación de Rusia)
Smith, G.	Enviros Consulting Ltd. (Reino Unido)

von Dobschütz, P.

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de
la Naturaleza y Seguridad Nuclear (Alemania)

Xavier, A. M.

Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)

Zhebrovska, K.

Instituto de Geoquímica del Medio Ambiente,
Academia Nacional de Ciencias, Ministerio de
Emergencias (Ucrania)

ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

El asterisco indica que se trata de un miembro corresponsal. Estos miembros reciben borradores para formular observaciones, así como otra documentación, pero generalmente no participan en las reuniones. Dos asteriscos indican un suplente.

Comisión sobre Normas de Seguridad

Alemania: Majer, D.; Argentina: González, A. J.; Australia: Loy, J.; Bélgica: Samain, J. -P.; Brasil: Vinhas, L. A.; Canadá: Jammal, R.; China: Liu Hua; Corea, República de: Choul-Ho Yun; Egipto: Barakat, M.; España: Barceló Vernet, J.; Estados Unidos de América: Virgilio, M.; Federación de Rusia: Adamchik, S.; Finlandia: Laaksonen, J.; Francia: Lacoste, A. -C. (Presidencia); India: Sharma, S. K.; Israel: Levanon, I.; Japón: Fukushima, A.; Lituania: Maksimovas, G.; Pakistán: Rahman, M. S.; Reino Unido: Weightman, M.; Sudáfrica: Magugumela, M. T.; Suecia: Larsson, C. M.; Ucrania: Mykolaichuk, O.; Viet Nam: Le-chi Dung; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Yoshimura, U.; Comisión Europea: Faross, P.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Holm, L. -E.; Grupo Asesor sobre seguridad física nuclear: Hashmi, J. A.; Grupo Internacional de Seguridad Nuclear: Meserve, R.; OIEA: Delattre, D. (Coordinación); Presidentes de los Comité sobre Normas de Seguridad: Brach, E. W. (TRANSSC); Magnusson, S. (RASSC); Pather, T. (WASSC); Vaughan, G. J. (NUSSC).

Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Wassilew, C.; Argelia: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Le Cann, G.; Austria: Sholly, S.; Bélgica: De Boeck, B.; Brasil: Gromann, A.; *Bulgaria: Gledachev, Y.; Canadá: Rzentkowski, G.; China: Jingxi Li; *Chipre: Demetriades, P.; Corea, República de: HyunKoon Kim; Croacia: Valčić, I.; Egipto: Ibrahim, M.; Eslovaquia: Uhrík, P.; Eslovenia: Vojnovič, D.; España: Zarzuela, J.; Estados Unidos de América: Mayfield, M.; Federación de Rusia: Baranaev, Y.; Finlandia: Järvinen, M. -L.; Francia: Feron, F.; Ghana: Emi-Reynolds, G.; *Grecia: Camarinopoulos, L.; Hungría: Adorján, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Irán, República Islámica del: Asgharizadeh, F.; Israel: Hirshfeld, H.; Italia: Bava, G.; Libia: Abuzid, O.;*

Japón: Kanda, T.; *Lituania*: Demčenko, M.; *Malasia*: Azlina Mohammed Jais; *Marruecos*: Soufi, I.; *México*: Carrera, A.; *Países Bajos*: van der Wiel, L.; *Pakistán*: Habib, M. A.; *Polonia*: Jurkowski, M.; *Reino Unido*: Vaughan, G. J. (Presidencia); *República Checa*: Šváb, M.; *Rumania*: Biro, L.; *Sudáfrica*: Leotwane, W.; *Suecia*: Hallman, A.; *Suiza*: Flury, P.; *Túnez*: Baccouche, S.; *Turquía*: Bezdegumeli, U.; *Ucrania*: Shumkova, N.; *Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Reig, J.; **Asociación Nuclear Mundial*: Borysova, I; *Comisión Electrotécnica Internacional*: Bouard, J. -P.; *Comisión Europea*: Vigne, S.; *FORATOM*: Fourest, B.; *OIEA*: Feige, G. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Sevestre, B.

Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

Alemania: Helming, M.; **Argelia*: Chelbani, S.; *Argentina*: Massera, G.; *Australia*: Melbourne, A.; **Austria*: Karg, V.; *Bélgica*: van Bladel, L.; *Brasil*: Rodriguez Rochedo, E. R.; **Bulgaria*: Katzarska, L.; *Canadá*: Clement, C.; *China*: Huating Yang; **Chipre*: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Byung-Soo Lee; *Croacia*: Kralik, I.; **Cuba*: Betancourt Hernández, L.; *Dinamarca*: Øhlenschläger, M.; *Egipto*: Hassib, G. M.; *Eslovaquia*: Jurina, V.; *Eslovenia*: Sutej, T.; *España*: Amor Calvo, I.; *Estados Unidos de América*: Lewis, R.; *Estonia*: Lust, M.; *Federación de Rusia*: Savkin, M.; *Filipinas*: Valdezco, E.; *Finlandia*: Markkanen, M.; *Francia*: Godet, J. -L.; *Ghana*: Amoako, J.; **Grecia*: Kamenopoulou, V.; *Hungría*: Koblinger, L.; *India*: Sharma, D. N.; *Indonesia*: Widodo, S.; *Irán, República Islámica del*: Kardan, M. R.; *Irlanda*: Colgan, T.; *Islandia*: Magnusson, S. (Presidencia); *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Bologna, L.; *Libia*: Busitta, M.; *Japón*: Kiryu, Y.; **Letonia*: Salmins, A.; *Lituania*: Mastauskas, A.; *Malasia*: Hamrah, M. A.; *Marruecos*: Tazi, S.; *México*: Delgado Guardado, J.; *Noruega*: Saxebol, G.; *Países Bajos*: Zuur, C.; *Pakistán*: Ali, M.; *Paraguay*: Romero de González, V.; *Polonia*: Merta, A.; *Portugal*: Dias de Oliveira, A. M.; *Reino Unido*: Robinson, I.; *República Checa*: Petrova, K.; *Rumania*: Rodna, A.; *Sudáfrica*: Olivier, J. H. I.; *Suecia*: Almen, A.; *Suiza*: Piller, G.; **Tailandia*: Suntarapai, P.; *Túnez*: Chékir, Z.; *Turquía*: Okyar, H. B.; *Ucrania*: Pavlenko, T.; **Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Lazo, T. E.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes*: Fasten, W.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Electrotécnica Internacional*: Thompson, I.; *Comisión Europea*: Janssens, A.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas*: Crick, M.; *Oficina Internacional del Trabajo*: Niu, S.; *OIEA*: Boal, T. (Coordinación); *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*:

Byron, D.; *Organización Internacional de Normalización*: Rannou, A.; *Organización Mundial de la Salud*: Carr, Z.; *Organización Panamericana de la Salud*: Jiménez, P.

Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

Alemania: Rein, H.; *Nitsche, F.; **Alter, U.; *Argentina*: López Vietri, J.; **Capadona, N. M.; *Australia*: Sarkar, S.; *Austria*: Kirchnawy, F.; *Bélgica*: Cottens, E.; *Brasil*: Xavier, A. M.; *Bulgaria*: Bakalova, A.; *Canadá*: Régimbald, A.; *China*: Xiaoqing Li; *Chipre: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Dae-Hyung Cho; *Croacia*: Belamarić, N.; *Cuba: Quevedo García, J. R.; *Dinamarca*: Breddam, K.; *Egipto*: El-Shinawy, R. M. K.; *España*: Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América*: Boyle, R.W.; Brach, E. W. (Presidencia); *Federación de Rusia*: Buchelnikov, A. E.; *Finlandia*: Lahkola, A.; *Francia*: Landier, D.; *Ghana*: Emi-Reynolds, G.; *Grecia: Vogiatzi, S.; *Hungría*: Sáfár, J.; *India*: Agarwal, S. P.; *Indonesia*: Wisnubroto, D.; *Irán, República Islámica del*: Eshraghi, A.; *Emamjomeh, A.; *Irlanda*: Duffy, J.; *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Trivelloni, S.; **Orsini, A.; *Libia*: Kekli, A.T.; *Japón*: Hanaki, I.; *Lituania*: Statkus, V.; *Malasia*: Sobari, M. P. M.; **Husain, Z. A.; *Marruecos: Allach, A.; *México*: Bautista Arteaga, D. M.; **Delgado Guardado, J. L.; *Noruega*: Hornkjøl, S.; *Nueva Zelandia: Ardouin, C.; *Países Bajos*: Ter Morshuizen, M.; *Pakistán*: Rashid, M.; *Paraguay: More Torres, L. E.; *Polonia*: Dziubiak, T.; *Portugal*: Buxo da Trindade, R.; *Reino Unido*: Sallit, G.; *República Checa*: Ducháček, V.; *Sudáfrica*: Hinrichsen, P.; *Suecia*: Häggblom, E.; **Svahn, B.; *Suiza*: Krietsch, T.; *Tailandia*: Jerachanchai, S.; *Turquía*: Ertürk, K.; *Ucrania*: Lopatin, S.; *Uruguay*: Nader, A.; *Cabral, W.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional*: Brennan, D.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes* : Miller, J. J.; **Roughan, K.; *Asociación Nuclear Mundial*: Gorlin, S.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*: Kervella, O.; *Comisión Europea*: Binet, J.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas*: Tisdall, A.; **Gessl, M.; *Instituto Mundial de Transporte Nuclear*: Green, L; *OIEA*: Stewart, J.T. (Coordinación); *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, P.; *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.; *Unión Postal Universal*: Bowers, D. G.

Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

Alemania: Götz, C.; *Argelia:* Abdenacer, G.; *Argentina:* Biaggio, A.; *Australia:* Williams, G.; **Austria:* Fischer, H.; *Bélgica:* Blommaert, W.; *Brasil:* Tostes, M.; **Bulgaria:* Simeonov, G.; *Canadá:* Howard, D.; *China:* Zhimin Qu; *Chipre:* Demetriades, P.; *Corea, República de:* Won-Jae Park; *Croacia:* Trifunovic, D.; *Cuba:* Fernández, A.; *Dinamarca:* Nielsen, C.; *Egipto:* Mohamed, Y.; *Eslovaquia:* Homola, J.; *Eslovenia:* Mele, I.; *España:* Sanz Aludan, M.; *Estados Unidos de América:* Camper, L.; *Estonia:* Lust, M.; *Finlandia:* Hutri, K.; *Francia:* Rieu, J.; *Ghana:* Faanu, A.; *Grecia:* Tzika, F.; *Hungría:* Czoch, I.; *India:* Rana, D.; *Indonesia:* Wisnubroto, D.; *Irán, República Islámica del:* Assadi, M.; **Zarghami,* R.; *Iraq:* Abbas, H.; *Israel:* Dody, A.; *Italia:* Dionisi, M.; *Jamahiriyá Árabe Libia:* Elfawares, A.; *Japón:* Matsuo, H.; **Letonia:* Salmins, A.; *Lituania:* Paulikas, V.; *Malasia:* Sudin, M.; **Marruecos:* Barkouch, R.; *México:* Aguirre Gómez, J.; *Países Bajos:* van der Shaaf, M.; *Pakistán:* Mannan, A.; **Paraguay:* Idoyaga Navarro, M.; *Polonia:* Wlodarski, J.; *Portugal:* Flausino de Paiva, M.; *Reino Unido:* Chandler, S.; *República Checa:* Lietava, P.; *Sudáfrica:* Pather, T. (Presidencia); *Suecia:* Frise, L.; *Suiza:* Wanner, H.; **Tailandia:* Supaokit, P.; *Túnez:* Bousselmi, M.; *Turquía:* Özdemir, T.; *Ucrania:* Makarovska, O.; **Uruguay:* Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Riotte, H.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes:* Fasten, W.; *Asociación Nuclear Mundial:* Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea:* Necheva, C.; *European Nuclear Installations Safety Standards:* Lorenz, B.; **Zaiss,* W.; *OIEA:* Siraky, G. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización:* Hutson, G.



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

N° 24

PEDIDOS DE PUBLICACIONES

En los siguientes países, las publicaciones de pago del OIEA pueden adquirirse a través de los proveedores que se indican a continuación o en las principales librerías locales.

Los pedidos de publicaciones gratuitas deben hacerse directamente al OIEA. Al final de la lista de proveedores se proporcionan los datos de contacto.

ALEMANIA

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

Teléfono: +49 (0) 211 49 874 015 • Fax: +49 (0) 211 49 874 28

Correo electrónico: s.dehaan@schweitzer-online.de • Sitio web: <http://www.goethebuch.de>

BÉLGICA

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

Teléfono: +32 2 5384 308 • Fax: +32 2 5380 841

Correo electrónico: jean.de.lannoy@euronet.be • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

CANADÁ

Renouf Publishing Co. Ltd.

20-1010 Polytek Street, Ottawa, ON K1J 9J1, CANADÁ

Teléfono: +1 613 745 2665 • Fax: +1 643 745 7660

Correo electrónico: order@renoufbooks.com • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: orders@bernan.com • Sitio web: <http://www.bernan.com>

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates

4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4391, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 800 865 3457 • Fax: +1 800 865 3450

Correo electrónico: orders@bernan.com • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Co. Ltd.

812 Proctor Avenue, Ogdensburg, NY 13669-2205, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 888 551 7470 • Fax: +1 888 551 7471

Correo electrónico: orders@renoufbooks.com • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

FEDERACIÓN DE RUSIA

Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety

107140, Moscú, Malaya Krasnoselskaya st. 2/8, bld. 5, FEDERACIÓN DE RUSIA

Teléfono: +7 499 264 00 03 • Fax: +7 499 264 28 59

Correo electrónico: secnrs@secnrs.ru • Sitio web: <http://www.secnrs.ru>

FRANCIA

Form-Edit

5 rue Janssen, PO Box 25, 75921 París CEDEX, FRANCIA

Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90

Correo electrónico: fabien.boucard@formedit.fr • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS

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

L'Appel du livre

99 rue de Charonne, 75011 París, FRANCIA
Teléfono: +33 1 43 07 43 43 • Fax: +33 1 43 07 50 80
Correo electrónico: livres@appeldulivre.fr • Sitio web: <http://www.appeldulivre.fr>

HUNGRÍA

Librotrade Ltd., Book Import

Pesti ut 237. 1173 Budapest, HUNGRÍA
Teléfono: +36 1 254-0-269 • Fax: +36 1 254-0-274
Correo electrónico: books@librotrade.hu • Sitio web: <http://www.librotrade.hu>

INDIA

Allied Publishers

1st Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Bombay 400001, INDIA
Teléfono: +91 22 4212 6930/31/69 • Fax: +91 22 2261 7928
Correo electrónico: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA
Teléfono: +91 11 2760 1283/4536
Correo electrónico: bkwell@nde.vsnl.net.in • Sitio web: <http://www.bookwellindia.com/>

ITALIA

Libreria Scientifica "AEIOU"

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milán, ITALIA
Teléfono: +39 02 48 95 45 52 • Fax: +39 02 48 95 45 48
Correo electrónico: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

JAPÓN

Maruzen Co., Ltd.

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPÓN
Teléfono: +81 3 6367 6047 • Fax: +81 3 6367 6160
Correo electrónico: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://maruzen.co.jp>

REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd. (TSO)

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, REINO UNIDO
Teléfono: +44 870 600 5552
Correo electrónico: (pedidos) books.orders@tso.co.uk • (consultas) book.enquiries@tso.co.uk •
Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

REPÚBLICA CHECA

Suweco CZ, s.r.o.

SESTUPNÁ 153/11, 162 00 Praga 6, REPÚBLICA CHECA
Teléfono: +420 242 459 205 • Fax: +420 284 821 646
Correo electrónico: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

Los pedidos de publicaciones, tanto de pago como gratuitas, se pueden enviar directamente a:

Sección Editorial del OIEA, Dependencia de Mercadotecnia y Venta
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria
Teléfono: +43 1 2600 22529 ó 22530 • Fax: +43 1 2600 29302
Correo electrónico: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>