

Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

Gestión de desechos procedentes de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, agricultura, investigación y educación

Guía de seguridad

No. WS-G-2.7



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

GESTIÓN DE DESECHOS
PROCEDENTES DE LA
UTILIZACIÓN DE MATERIALES
RADIOACTIVOS EN MEDICINA,
INDUSTRIA, AGRICULTURA,
INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

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

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

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

COLECCIÓN DE
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° WS-G-2.7

GESTIÓN DE DESECHOS
PROCEDENTES DE LA
UTILIZACIÓN DE MATERIALES
RADIATIVOS EN MEDICINA,
INDUSTRIA, AGRICULTURA,
INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2009

DERECHOS DE AUTOR

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

Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Wagramer Strasse 5
P.O. Box 100
1400 Viena (Austria)
fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
correo-e: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2009

Impreso por el OIEA en Austria
Abril de 2009

**GESTIÓN DE DESECHOS PROCEDENTES DE LA
UTILIZACIÓN DE MATERIALES RADIATIVOS
EN MEDICINA, INDUSTRIA, AGRICULTURA,
INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN**

OIEA, VIENA, 2009

STI/PUB/1217

ISBN 92-0-300706-7

ISSN 1020-5837

PRÓLOGO

Mohamed ElBaradei
Director General

El Organismo 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, junta 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 del Comité 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 de 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 sigo exhortando a todos los Estados Miembros a que hagan uso de ellos.

La reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica es una responsabilidad nacional, siendo numerosos los Estados Miembros que han decidido adoptar las normas de seguridad de 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

NORMAS INTERNACIONALES Y SEGURIDAD

Si bien la seguridad es una responsabilidad nacional, las normas y enfoques internacionales relativos a la seguridad fomentan la coherencia, contribuyen a dar garantías de que las tecnologías nucleares y relacionadas con las radiaciones se utilizan en condiciones de seguridad, y facilitan la cooperación técnica y el comercio internacionales.

Las normas también ayudan a los Estados a cumplir sus obligaciones internacionales. Una obligación internacional general es que un Estado no debe llevar a cabo actividades que ocasionen daños a otro Estado. En los convenios internacionales relativos a la seguridad se exponen obligaciones más específicas para los Estados Contratantes. Las normas de seguridad del OIEA, acordadas internacionalmente, constituyen la base para que los Estados demuestren que cumplen esas obligaciones.

LAS NORMAS DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA se basan en el Estatuto del OIEA, que autoriza al Organismo a establecer normas de seguridad para instalaciones y actividades nucleares y relacionadas con las radiaciones y proveer a su aplicación.

Las normas de seguridad reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto nivel de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente.

Las normas se publican en la Colección de Normas de Seguridad del OIEA, que comprende tres categorías:

Nociones fundamentales de seguridad

- Presentan los objetivos, conceptos y principios de protección y seguridad y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

Requisitos de seguridad

- Establecen los requisitos que deben cumplirse para garantizar la protección de la población y el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro. Estos requisitos, en cuya formulación se emplea generalmente la forma deberá(n) o expresiones como “habrá que”, “hay que”, “habrá de”, “se deberá” (en inglés “shall”), se rigen por los objetivos, conceptos y principios de las Nociones fundamentales de seguridad. Si no se cumplen, deben adoptarse medidas para alcanzar o restablecer el grado de seguridad requerido. Las publicaciones de Requisitos de seguridad están redactadas en forma de textos reglamentarios, lo cual permite su incorporación en leyes y reglamentos nacionales.

Guías de seguridad

- Ofrecen recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad. En la formulación de las recomendaciones de las Guías de seguridad se emplea generalmente la forma debería(n) o expresiones como “conviene”, “se recomienda”, “es aconsejable” (en inglés “should”). Se recomienda adoptar las medidas señaladas 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 se esfuerzan por alcanzar altos niveles de seguridad. Cada publicación de Requisitos de seguridad está complementada por varias Guías de seguridad, que se pueden utilizar en la elaboración de guías nacionales de reglamentación.

Las normas de seguridad del OIEA deben ser complementadas con normas industriales, y deben aplicarse en el marco de infraestructuras nacionales de reglamentación adecuadas para que sean plenamente eficaces. El OIEA produce una amplia gama de publicaciones técnicas que ayudan a los Estados a elaborar esas normas e infraestructuras nacionales.

PRINCIPALES USUARIOS DE LAS NORMAS

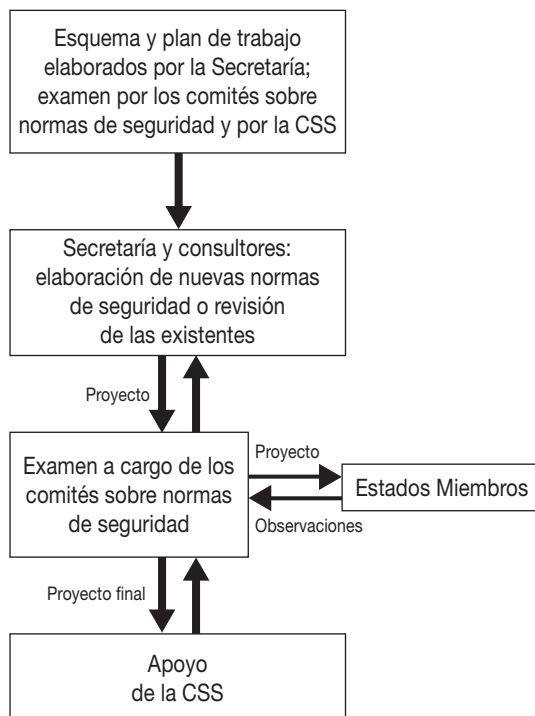
Además de los órganos reguladores y departamentos, autoridades y organismos gubernamentales, las normas son utilizadas por las autoridades y organizaciones explotadoras de la industria nuclear; por organizaciones que se ocupan del diseño, la fabricación y la aplicación de las tecnologías nucleares y relacionadas con las radiaciones, incluidas las organizaciones encargadas del funcionamiento de diversos tipos de instalaciones; por usuarios y otras personas relacionadas con el empleo de las radiaciones y materiales radiactivos en la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la educación; y por ingenieros, científicos, técnicos y otros especialistas. Las normas son utilizadas por el propio OIEA en sus exámenes de la seguridad y en la elaboración de cursos de enseñanza y capacitación.

EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS NORMAS

En la elaboración y 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 una Comisión sobre normas de seguridad (CSS) que supervisa el programa de normas de seguridad en su conjunto. Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas y formulen observaciones sobre los proyectos de norma. Los miembros de la CSS son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

En el caso de las Nociones fundamentales de seguridad y los Requisitos de seguridad, los proyectos aprobados por la Comisión se presentan a la Junta de Gobernadores del OIEA para que apruebe su publicación. Las Guías de seguridad se publican con la aprobación del Director General.

Por medio de este proceso, las normas llegan a representar una opinión consensuada de los Estados Miembros del OIEA. En la elaboración de las normas 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 (CIPR). Algunas normas 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 Agricultura y la Alimentación, la Organización Internacional del Trabajo, la Agencia para la Energía



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

Nuclear de la OCDE, la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud.

Las normas de seguridad se mantienen actualizadas: cinco años tras su publicación se examinan para determinar si es necesario hacer una revisión.

APLICACIÓN Y ALCANCE DE LAS NORMAS

De conformidad con el Estatuto del OIEA, las normas de seguridad tienen carácter vinculante para el OIEA en relación con sus propias actividades, así como para los Estados en relación con las actividades para las que el OIEA les preste asistencia. Todo Estado que desee concertar un acuerdo con el OIEA relativo a cualquier forma de asistencia del Organismo debe cumplir los requisitos de las normas de seguridad correspondientes a las actividades que abarque el acuerdo.

Los convenios internacionales también contienen requisitos similares a los que figuran en las normas de seguridad, y tienen carácter preceptivo para las Partes Contratantes. Las Nociones fundamentales de seguridad se utilizaron como base para la elaboración de la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos. Los Requisitos de seguridad sobre preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica son reflejo de las obligaciones de los

Estados emanadas de la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica.

Las normas de seguridad, incorporadas a las legislaciones y reglamentos nacionales y complementadas por convenios internacionales y requisitos nacionales detallados, constituyen la base para la protección de la población y el medio ambiente. No obstante, también existen aspectos especiales de la seguridad que deberán evaluarse caso por caso a escala nacional. Por ejemplo, muchas de las normas de seguridad, en particular las que tratan aspectos de planificación o diseño de la seguridad, se conciben con el fin de aplicarlas principalmente a nuevas instalaciones y actividades. Es posible que algunas instalaciones construidas conforme a normas anteriores no cumplan plenamente los requisitos y recomendaciones especificados en las normas de seguridad del OIEA. Corresponde a cada Estado decidir el modo en que deberán aplicarse las normas de seguridad a esas instalaciones.

INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

En las normas de seguridad se usa la expresión “deberá(n)” (en inglés “shall”) con referencia a requisitos, deberes y obligaciones determinados por consenso. Muchos de los requisitos no están dirigidos a una de las partes en particular, lo que significa que incumbiría cumplirlos a la parte, o las partes, que corresponda. En la formulación de las recomendaciones se emplea la forma debería(n) o expresiones como “conviene”, “se recomienda”, “es aconsejable” (en inglés “should”), para indicar un consenso internacional en el sentido de que es necesario tomar las medidas recomendadas (u otras medidas equivalentes) para cumplir con los requisitos.

En la versión del texto en inglés, los términos relacionados con la seguridad se interpretarán como figuran en el Glosario sobre seguridad del OIEA (<http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>); de otro modo, las palabras se utilizan con la ortografía y el significado que se les da en la versión más reciente del Concise Oxford Dictionary. 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 hace una explicación de los antecedentes, el contexto, los objetivos, el ámbito y la estructura de cada una de las normas que forman parte de la Colección de Normas de Seguridad.

Toda información para la cual no exista un lugar adecuado dentro del texto principal (por ejemplo, información de carácter auxiliar o independiente del texto principal, se incluye a modo de apoyo a declaraciones que figuran en el texto principal, o para describir métodos de cálculo, procedimientos experimentales o límites y condiciones), y podrá presentarse en apéndices o anexos.

Los apéndices se consideran como parte integrante de una norma. La información 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 correspondientes al texto principal sirven para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Un anexo no es parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que deba figurar en las normas y que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. Otro tipo de información en anexos podrá adaptarse y tomarse de otras fuentes, según convenga, de modo que sea de utilidad general para el lector.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
	Antecedentes (1.1–1.7)	1
	Objetivo (1.8)	3
	Alcance (1.9–1.19)	3
	Estructura (1.20).....	5
2.	PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y DEL MEDIO AMBIENTE	6
	Generalidades (2.1)	6
	Limitación de dosis (2.2)	6
	Optimización de la protección y la seguridad (2.3–2.4).....	6
	Restricción de dosis (2.5).....	7
	Control de las descargas y dispensa (2.6–2.14)	8
	Liberación del control reglamentario de edificios y emplazamientos (2.15)	10
3.	FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES	11
	Generalidades (3.1–3.7).....	11
	Responsabilidades del órgano regulador (3.8–3.10)	12
	Responsabilidades de los usuarios que generen desechos radiactivos y de los explotadores que los gestionen (3.11–3.19)	15
4.	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA SEGURIDAD	18
	Estrategia de la gestión de desechos radiactivos (4.1–4.11)	18
	Instalaciones generadoras de desechos radiactivos e instalaciones de gestión de desechos radiactivos (4.12–4.25)	21
	Evaluación de la seguridad y evaluación del impacto ambiental (4.26–4.31)	24

5.	GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS RADIATIVOS	25
	Generalidades (5.1)	25
	Procesamiento de los desechos (5.2–5.29).....	26
	Manipulación en el emplazamiento (5.30–5.32)	34
	Almacenamiento de los desechos radiactivos (5.33–5.44).....	35
	Instalaciones de gestión de desechos previa a la disposición final (5.45–5.53)	38
	Transporte de los desechos fuera del emplazamiento (5.54–5.58) ...	42
	Aspectos específicos (5.59–5.68).....	43
6.	ACEPTACIÓN DE LOS DESECHOS RADIATIVOS EN LAS INSTALACIONES DE DISPOSICIÓN FINAL (6.1–6.4)	46
7.	MANTENIMIENTO DE REGISTROS Y PRESENTACIÓN DE INFORMES (7.1–7.6).....	48
8.	SISTEMAS DE GESTIÓN DIRECTIVA (8.1–8.5).....	49
APÉNDICE I:	FUENTES TÍPICAS DE RADIACIÓN UTILIZADAS EN MEDICINA, INDUSTRIA, AGRICULTURA, INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN Y DESECHOS RADIATIVOS QUE CONLLEVAN.....	53
APÉNDICE II:	CATÁLOGO PARA DETECTAR FALLOS EN LAS EVALUACIONES DE LA SEGURIDAD Y DEL IMPACTO AMBIENTAL	65
APÉNDICE III:	DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS SÓLIDOS	66
APÉNDICE IV:	DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS BIOLÓGICOS	67
APÉNDICE V:	DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS EN DESUSO	68

APÉNDICE VI: FUENTES DE RADIACIÓN EN DESUSO Y GASTADAS E INDICACIÓN DE TÉCNICAS PARA SU GESTIÓN	69
APÉNDICE VII: ESTRATEGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS GASTADAS Y/O EN DESUSO	74
REFERENCIAS	75
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN	77
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA	79

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. Los desechos radiactivos se generan en una amplia gama de actividades al utilizar los materiales radiactivos con fines médicos, industriales, agrícolas, de investigación y educativos. Las cantidades de desechos generadas por estas actividades son a menudo limitadas en volumen y actividad; sin embargo, se trata de desechos radiactivos y han de gestionarse como tales.

1.2. Si bien los principios [1] y requisitos de seguridad [2] aplicables a la gestión de cualquier cantidad de desechos radiactivos son los mismos, es preciso considerar una serie de aspectos, especialmente en el caso de las entidades cuyas actividades solo dan lugar a pequeñas cantidades. Así es en particular en lo que respecta a las fuentes selladas¹. En las actividades que conllevan la generación y gestión de pequeñas cantidades de desechos radiactivos, los tipos de instalaciones utilizadas y las disposiciones de gestión varían considerablemente. Además los tipos de desechos radiactivos difieren de una instalación a otra. Por lo tanto, se debería prestar una atención específica a la gestión segura de pequeñas cantidades de desechos radiactivos.

1.3. La naturaleza de los desechos radiactivos generados en las diferentes actividades consideradas también varía mucho. Pueden presentarse en forma de fuentes de radiación discretas, selladas o no selladas, materiales resultantes de procesos o materiales de uso y consumo. Los desechos son resultado de muchas actividades, entre ellas las de diagnóstico, aplicación terapéutica e investigación en medicina; control de procesos y medición en la industria; y los numerosos usos de los materiales radiactivos en agricultura, exploración geológica, construcción y otros campos. Los desechos radiactivos en cuestión pueden presentarse en forma sólida, líquida o gaseosa. Son ejemplo de desechos sólidos las fuentes selladas gastadas o en desuso, equipos contaminados, utensilios de vidrio, guantes y papel; cadáveres de animales, excreciones y otros residuos biológicos. Entre los desechos líquidos figuran: soluciones acuosas y orgánicas resultantes de investigaciones y procesos de producción, excreciones, líquidos procedentes de la descontaminación de

¹ Aunque las fuentes selladas gastadas o en desuso no se consideran desechos en ciertos Estados, su gestión en condiciones de seguridad se logra cumpliendo los requisitos prescritos para los desechos radiactivos y como tales se incluyen en esta Guía de Seguridad.

equipos de laboratorio o instalaciones y líquidos procedentes de sistemas de medición de la actividad (como los que se utilizan en los contadores de centellador líquido). Los desechos gaseosos se generan en diversas instalaciones al producir y radiomarcarse compuestos químicos y organismos, así como al tratar desechos sólidos y líquidos. En el apéndice I se presenta una perspectiva general más amplia de los desechos originados por esta diversidad de aplicaciones.

1.4. Dada esta amplia gama de tipos de desechos existentes y la posibilidad de variaciones en las formas en que se generan y luego gestionan, debería prestarse especial atención a las cuestiones de seguridad que planteen su gestión y su control reglamentario. Los regímenes prescritos para esa gestión y control deberían ser sensibles y receptivos a estos factores.

1.5. En las instalaciones que solo generen pequeñas cantidades de desechos, el personal puede tener conocimientos limitados de las cuestiones de seguridad relativas a la gestión de desechos radiactivos. Es posible que en ese personal la cultura de la seguridad no esté particularmente enfocada a la gestión de los desechos radiactivos debido a ese conocimiento limitado o a que la entidad explotadora no haga suficiente hincapié en tales temas.

1.6. La buena práctica de explotación puede reducir significativamente la cantidad de desechos radiactivos generados pero en general es imposible eliminarlos enteramente. Los desechos pueden contener radionucleidos en cantidades tales que supongan serios riesgos para la salud humana y el medio ambiente si no se gestionan correctamente. La experiencia demuestra que así suele suceder en el caso particular de las fuentes selladas gastadas o en desuso. Las malas prácticas seguidas con tales fuentes en el pasado han dado como resultado exposiciones a la radiación de personal operador y miembros del público y a veces han causado amplias contaminaciones del medio ambiente. Ha habido casos en los que la falta de control sobre tales fuentes ha ocasionado considerables pérdidas económicas, serios efectos en la salud por exposición a la radiación e incluso muertes [3-5].

1.7. La presente Guía de Seguridad formula recomendaciones y orientaciones sobre el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos en la Ref. [2]. Trata de las funciones y responsabilidades de los diferentes órganos a los que incumben la gestión de los desechos radiactivos como preparativo para la disposición final y su manipulación y procesamiento. Son también aplicables, cuando proceda, otras normas de seguridad del OIEA, en particular la Guía de

OBJETIVO

1.8. El objetivo de esta Guía de Seguridad es presentar recomendaciones y orientaciones sobre cómo cumplir los objetivos, principios y requisitos establecidos en las Refs. [1, 2] para la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos cuando estos desechos resultan de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, investigación, agricultura y educación. Sus destinatarios son las entidades que generan y manejan desechos radiactivos o los manipulan de manera centralizada y el órgano regulador responsable de la reglamentación de tales actividades.

ALCANCE

1.9. Esta Guía de Seguridad es de aplicación a todas las actividades realizadas con los desechos radiactivos, incluso las fuentes selladas gastadas o en desuso, relacionados con la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, investigación, agricultura y educación. La Guía trata de los desechos generados en instalaciones de tamaño pequeño a mediano tales como departamentos de medicina nuclear en hospitales y centros de investigación, donde los desechos no son normalmente generados en grandes cantidades. Se incluyen los desechos resultantes de la utilización de materiales radiactivos y los generados por las entidades que llevan a cabo actividades de clausura en esas instalaciones. La Guía trata también de las medidas directivas, administrativas y técnicas referentes al manejo y la gestión seguros de los desechos, desde su generación hasta su aceptación en una instalación de disposición final o en una instalación de almacenamiento, en espera de contar con una opción de disposición final apropiada o de que se liberen del control reglamentario posterior por aplicación de un mecanismo de dispensa. No se tratan específicamente las medidas detalladas relativas a la disposición final de los desechos. En la Ref. [7] se establecen los requisitos para la disposición final de desechos en instalaciones cercanas a la superficie.

1.10. La presente Guía de Seguridad presta especial atención a la gestión de las fuentes selladas gastadas o en desuso por la posibilidad de que originen accidentes con consecuencias serias.

1.11. La Guía se refiere a la gestión segura de los desechos radiactivos generados en las diversas instalaciones que realizan aplicaciones médicas, industriales y de investigación, así como en instalaciones nacionales o regionales centrales donde los desechos pueden ser recogidos y gestionados por encargo de diversas entidades que los produzcan.

1.12. Esta Guía de Seguridad es aplicable a la gestión de cantidades limitadas de desechos que contengan radionucleidos naturales, originadas por actividades industriales y de investigación (por ejemplo la utilización de uranio en laboratorios universitarios o en trabajos de radioluminiscencia). En la Ref. [8] se formulan recomendaciones y orientaciones sobre la gestión de grandes cantidades de desechos radiactivos originados en la minería y la trituration de minerales.

1.13. La Guía presenta orientaciones sobre el almacenamiento de pequeñas cantidades de desechos radiactivos en diferentes etapas de su gestión. Se darán más detalles en una guía de seguridad sobre almacenamiento seguro de desechos radiactivos.

1.14. La presente Guía de Seguridad ofrece orientaciones sobre el traslado de los desechos radiactivos desde los locales de la entidad que los genera hasta la instalación central de gestión. En la Ref. [9] se establecen los requisitos para el transporte de los desechos radiactivos, y en la Ref. [10] se presentan recomendaciones y material explicativo sobre el particular.

1.15. En la Guía se hace referencia al levantamiento de controles reglamentarios sobre los materiales radiactivos y al control de vertidos de efluentes al medio ambiente. En la Ref. [11] se dan más detalles sobre tales descargas.

1.16. La orientación dada en esta Guía de Seguridad es aplicable en los casos en que la clausura de una instalación produce solo pequeñas cantidades de desechos. En la Ref. [12] se formulan recomendaciones sobre la gestión de desechos derivados de la clausura de instalaciones médicas, industriales y de investigación.

1.17. La Guía ofrece orientación sobre la evaluación de la seguridad concerniente a la gestión de los desechos radiactivos comprendidos en su ámbito de aplicación.

1.18. A menudo existen riesgos de naturaleza no radiológica vinculados a los desechos radiactivos, debidos a la presencia de otros factores peligrosos como gérmenes patógenos o metales pesados. En esta Guía se dan algunas orientaciones sobre los aspectos que conviene considerar en cuanto a estos riesgos, cuando éstos guarden relación con la seguridad radiológica. A veces dichos riesgos son determinantes para la selección de las opciones de gestión disponibles. Las recomendaciones concernientes a los riesgos no radiológicos se salen del ámbito de la Guía.

1.19. Los productos de consumo tales como los detectores de humo de uso doméstico, que están exentos de los requisitos establecidos en las Normas Básicas de Seguridad (NBS) [13], no entran en el ámbito de esta Guía de Seguridad. Son aplicables las recomendaciones y orientaciones aquí formuladas si tales productos son recogidos para su tratamiento y disposición final como desechos radiactivos.

ESTRUCTURA

1.20. La Sección 2 trata de la protección de la salud humana y el medio ambiente en la gestión de desechos. La Sección 3 describe las funciones y responsabilidades del órgano regulador, de los usuarios de materiales radiactivos que generen desechos (usuarios) y de los explotadores de las instalaciones de gestión de desechos (explotadores). La Sección 4 trata de las consideraciones generales de seguridad. La Sección 5 expone las características específicas de seguridad en el diseño y la explotación. La Sección 6 aborda aspectos de la disposición final de desechos. Las Secciones 7 y 8 tratan del mantenimiento de registros, la presentación de informes y los sistemas de gestión. El apéndice I presenta una descripción general de los desechos derivados de la producción y utilización de fuentes selladas y no selladas e incluye una lista de los principales radionucleidos usados en estas actividades. La Ref. [6] es de aplicación en los casos en que se generen grandes cantidades de desechos radiactivos a causa de la producción de fuentes radiactivas. El apéndice II presenta un método de evaluación de la seguridad en forma de catálogo para detectar fallos. Los apéndices III, IV y V presentan diagramas de operaciones típicos para la gestión de desechos radiactivos sólidos, desechos radiactivos biológicos y fuentes selladas gastadas o en desuso, respectivamente. El apéndice VI da ejemplos típicos de fuentes selladas gastadas o en desuso y de técnicas para su gestión. El apéndice VII presenta una estrategia para la identificación y localización de fuentes selladas gastadas o en desuso.

2. PROTECCIÓN DE LA SALUD HUMANA Y DEL MEDIO AMBIENTE

GENERALIDADES

2.1. Los requisitos de seguridad establecidos en la Sección 2 de la Ref. [2] con respecto a la protección de la salud humana y el medio ambiente se aplican a la gestión de los desechos radiactivos generados en las esferas de la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la educación y a otros usos menores. Los desechos radiactivos han de ser gestionados de manera que se proteja la salud humana y el medio ambiente, ahora y en lo sucesivo sin imposición de cargas indebidas a las generaciones futuras [1, 2]. La exposición a la radiación de los trabajadores que se encarguen de la gestión de los desechos radiactivos en régimen de operaciones normal ha de ajustarse al sistema de limitación de dosis estipulado en las NBS [13], y el riesgo de exposición accidental de los trabajadores ha de estar controlado. Es obligatorio controlar la retirada de material radiactivo de los recintos sujetos a regulación, la descarga de efluentes que contengan radionucleidos, las actividades que puedan dar lugar a emisiones accidentales, y el transporte de desechos radiactivos en el ámbito público, para asegurar el cumplimiento del sistema de limitación de dosis de radiación y su optimización en relación con los miembros del público.

LIMITACIÓN DE DOSIS

2.2. La exposición normal de los individuos, tanto trabajadores como miembros del público, se ha de restringir de modo que ni la dosis efectiva total ni la dosis equivalente total a los órganos y tejidos de interés, ocasionadas por la posible combinación de exposiciones derivadas de prácticas autorizadas, incluso la gestión de desechos de que trata esta Guía de Seguridad, excedan los límites de dosis pertinentes especificados en la Adenda II de las NBS [13]

OPTIMIZACIÓN DE LA PROTECCIÓN Y LA SEGURIDAD

2.3. En lo referente a cualquier fuente adscrita a una práctica, la protección y la seguridad se han de optimizar de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de exposición sean todos ellos óptimos, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales,

con la condición de que las dosis a los individuos debidas a la fuente estén sujetas a restricciones de dosis (Ref. [13], Párrs 2.24–2.26). Específicamente, las opciones concretas de gestión de desechos que se elijan (inclusive su tratamiento, reducción al mínimo, embalaje y acondicionamiento) deberían optimizarse tomando en consideración cualquier exposición adicional de los trabajadores [6].

2.4. El proceso de optimización de la protección y la seguridad puede variar, comprendiendo desde análisis cualitativos intuitivos hasta análisis cuantitativos con uso de técnicas de ayuda a la toma de decisiones, pero ha de ser suficiente para tener en cuenta todos los factores pertinentes de manera coherente a fin de contribuir a alcanzar los siguientes objetivos:

- “a) determinar las medidas de protección y seguridad optimizadas para las circunstancias reinantes, cuenta habida de las opciones existentes en materia de protección y seguridad así como de la naturaleza, magnitud y probabilidad de las exposiciones;
- “b) establecer criterios, basados en los resultados de la optimización, para la restricción de la magnitud de las exposiciones y de su probabilidad mediante medidas de prevención de accidentes y de atenuación de sus consecuencias.” (Ref. [13], Párr. 2.25).

RESTRICCIÓN DE DOSIS

2.5. La optimización de la protección y seguridad relativa a una fuente o una instalación determinada considerada en esta Guía debería llevarse a cabo sistemáticamente para la práctica en su totalidad, no limitándola simplemente a una actividad concreta, y debería abarcar todas las actividades que se realicen con materiales radiactivos, incluso la gestión de los desechos. Debería demostrarse que las dosis individuales permanecerán por debajo de las restricciones de dosis establecidas, las cuales deberían contar con la aprobación de las instancias reguladoras. Al establecer las restricciones de dosis el órgano regulador debería tener en cuenta que:

- a) La protección radiológica de toda persona expuesta a consecuencia de actividades de gestión realizadas como preparativo para la disposición final de desechos se ha de optimizar y someter a restricciones de dosis, y que las dosis individuales procedentes de todas las fuentes y actividades, se han de mantener sujetas a los límites de dosis especificados (Ref. [6], Párr. 2.2; Ref. [13], Sección 2);

- b) Dichas restricciones de dosis deberían establecerse de modo que den la seguridad de que las dosis acumuladas, debidas a las emisiones radiactivas originadas por todas esas actividades, no excederán el límite de dosis efectiva aplicable a cualquier miembro del grupo crítico. También deberían tenerse en cuenta la población distante de la fuente y las generaciones futuras.

CONTROL DE LAS DESCARGAS Y DISPENSA

Control de las descargas de efluentes radiactivos al medio ambiente

2.6. Aunque la gestión segura de los desechos radiactivos requiere la optimización de las emisiones resultantes de los diversos procesos de gestión, es posible descargar efluentes al medio ambiente, dentro de los límites autorizados, como práctica legítima [1].

2.7. Las Nociones Fundamentales de Seguridad en su publicación sobre Principios para la gestión de desechos radiactivos (Ref. [1], para. 308) estipulan que:

“El método más adecuado para la gestión de desechos radiactivos es la concentración y contención de los radionucleidos, más que su dilución y dispersión en el medio ambiente. No obstante, como parte de la gestión de desechos radiactivos, está permitida la liberación de sustancias radiactivas dentro de límites autorizados en el aire, el agua y el suelo, y también mediante la reutilización de los materiales”.

La descarga al medio ambiente de efluentes que contengan pequeñas cantidades de material radiactivo, llevado a cabo bajo control, puede ser la opción más razonable. El órgano regulador debería fijar las limitaciones para descargar al medio ambiente dichos efluentes siguiendo la orientación presentada en la Ref. [11].

2.8. La Referencia [11] ofrece recomendaciones y orientaciones al órgano regulador relativas al establecimiento de dichas limitaciones. Las limitaciones sobre las descargas deberían ser tales que den la seguridad de que las dosis individuales se ajustan a las restricciones de dosis establecidas por el órgano regulador para la práctica en cuestión. Las limitaciones impuestas deberían dar la certeza de que la dosis individual a cualquier miembro del público causada por una única instalación no supera los 300 μSv por año. Si existe la posibilidad

de que en la misma zona estén operando varios usuarios de material radiactivo o instalaciones de gestión de desechos, el órgano regulador tal vez tenga que optar por reducir las limitaciones de las descargas para asegurarse de que no hay ninguna posibilidad de que un individuo reciba dosis derivadas de varias fuentes, originando así una dosis combinada que exceda el límite de dosis correspondiente. Debería demostrarse por medio de una evaluación radiológica que las descargas propuestas no causarán dosis al público que excedan estos niveles.

2.9. Es posible establecer limitaciones reglamentarias específicas de las descargas para cada caso particular. Otra posibilidad sería fijar esas limitaciones sobre una base genérica, adoptando modelos fundados en supuestos conservadores. Las evaluaciones genéricas tienden a dar resultados que sobreestiman las consecuencias radiológicas en determinadas situaciones pero pueden ser más fácilmente interpretadas y seguidas por los usuarios y explotadores y más prácticas de aplicar. El órgano regulador puede proporcionar asistencia a los usuarios y explotadores para que realicen sus propias evaluaciones. Sin embargo, esto requiere un nivel mucho mayor de soporte técnico por parte del órgano regulador, que en muchas situaciones no puede garantizarse.

2.10. Los usuarios y explotadores deberían demostrar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios relativos a la limitación de descargas mediante la monitorización radiológica de las mismas y del medio ambiente [11] o mediante cálculos. Los procedimientos y las técnicas de medida para tales monitorización o cálculos deberían estar sujetos a la aprobación del órgano regulador. Deberían llevarse registros de los resultados de la monitorización radiológica y los cálculos.

Dispensa

2.11. Las NBS estipulan que:

“Las fuentes, inclusive substancias, materiales y objetos [así como los desechos], adscritas a prácticas notificadas o autorizadas podrán ser liberadas del cumplimiento en lo sucesivo de los requisitos prescritos por las Normas [Básicas de Seguridad] siempre que se ajusten a los niveles de dispensa aprobados por [el órgano regulador]. Estos niveles de dispensa deberán tener en cuenta los criterios de exención especificados en la Adenda I [Párr. I-3: dosis efectivas del orden de 10 μ Sv o menos en año, o bien una dosis efectiva colectiva comprometida de un año de realización

de la práctica no superior a 1 Sv hombre, aproximadamente, o bien una evaluación de la optimización de la protección demuestre que la exención es la opción óptima]. y no deberán ser mayores que los niveles de exención especificados en dicha Adenda o los fijados por [el órgano regulador] sobre la base de los criterios especificados en la citada Adenda I, a no ser que [el órgano regulador] apruebe otra cosa” (Ref. [13], Párr. 2.19).

2.12. El usuario o el explotador deberían tener establecido un mecanismo formal para demostrar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios relativos a la dispensa (retirada de materiales de zonas reguladas). Además, se deberían cumplir los restantes requisitos referentes a la liberación del control reglamentario que guarden relación con cualquier otro aspecto peligroso de los desechos (por ejemplo con características infecciosas o tóxicas).

2.13. Debería retirarse toda señal de radiación del material al que ya no se aplique el control reglamentario. De forma similar, las señales de radiación deberían retirarse de los contenedores de material al que ya no apliquen controles reglamentarios y esas señales deberían ser retiradas o cubiertas en los contenedores de los cuales se haya sacado el material sujeto a control, o en los contenedores vacíos y limpios, normalmente utilizados para trasladar o almacenar el material radiactivo.

2.14. La información acerca del material que ha sido liberado del control reglamentario debería registrarse y conservarse para ser examinada por el órgano regulador cuando lo requiera.

LIBERACIÓN DEL CONTROL REGLAMENTARIO DE EDIFICIOS Y EMPLAZAMIENTOS

2.15. Cuando se clausuren edificios o emplazamientos y antes de liberarlos del control reglamentario, se debería, si procede, gestionar correctamente todo desecho radiactivo, retirarlo y trasladarlo a un almacenamiento autorizado o a una instalación de disposición final. Las instalaciones y emplazamientos deberían descontaminarse hasta satisfacer los niveles exigidos por el órgano regulador. En la Ref. [12] se formulan recomendaciones y orientaciones.

3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES

GENERALIDADES

3.1. La gestión de todo desecho radiactivo ha de tener lugar en el marco de una infraestructura legal nacional apropiada que establezca una clara asignación de responsabilidades [1] y un control reglamentario efectivo de las instalaciones y actividades de que se trate (Ref. [14]; Ref. [2], Párrs. 3.5–3.9). La infraestructura legal nacional debería facilitar también la conformidad con otras normas nacionales e internacionales. Aunque habitualmente las leyes son de aplicación general, los sistemas legislativos nacionales pueden prever disposiciones específicas, relativas a las instalaciones o los emplazamientos, para la gestión de los desechos generados en actividades determinadas. En las Refs. [2, 14] se formulan requisitos concernientes a la asignación de responsabilidades para establecer tal infraestructura y a las funciones del órgano regulador para garantizar la seguridad en la gestión de desechos.

3.2. Debería formularse una estrategia nacional para la gestión de los desechos radiactivos conforme a los objetivos y principios de seguridad [1]. Es necesaria una estrategia para definir la infraestructura y los medios que se han de adoptar para esa gestión. Un elemento clave de la estrategia es decidir hasta qué punto conviene establecer instalaciones nacionales o regionales en lugar de gestionar los desechos en una serie de localizaciones, donde se generen. Utilizando instalaciones especializadas de gestión de desechos nacionales o regionales pueden obtenerse ventajas significativas en materia de seguridad. Sin embargo, la decisión debería tomarse teniendo en cuenta, entre otras cosas, las cantidades y los tipos de desechos generados y los conocimientos especializados disponibles y su distribución en la región o el Estado. Al seleccionar el emplazamiento de una instalación o instalaciones destinadas a la gestión de desechos radiactivos a escala nacional o regional, puede ser conveniente aprovechar las instalaciones donde se gestionen las mayores cantidades de ellos, por ejemplo los laboratorios nacionales que dispongan de los conocimientos especializados necesarios.

3.3. En muchas de las situaciones a las que se refiere esta Guía se adopta una estrategia consistente en combinar la gestión de desechos in situ con la gestión colectiva en instalaciones regionales o nacionales. Así los desechos que contengan radionucleidos de vida corta pueden ser tratados localmente en el emplazamiento donde se generen, y los que contengan radionucleidos de vida larga pueden ser tratados en una instalación nacional y/o regional.

3.4. Por lo tanto, la gestión de desechos radiactivos puede consistir en operaciones realizadas únicamente en el emplazamiento donde se generan o incluir su traslado a una instalación de gestión de desechos específica. Esa instalación, en particular una apta para la gestión de fuentes selladas gastadas o en desuso, puede estar en otro Estado.

3.5. Un objetivo en la gestión de desechos radiactivos debería ser reducir al mínimo su generación y producirlos en una forma adecuada a las exigencias que impongan su manipulación, procesamiento, transporte y almacenamiento posteriores, o que satisfaga los requisitos de aceptación para la disposición final. La opción de gestión seleccionada también puede dar como resultado desechos o materiales que se presten para su retorno a un fabricante o un proveedor de material radiactivo, su reciclado o descarga en forma de líquidos o gases al medio ambiente con sujeción a autorización reglamentaria [11], o su liberación del control reglamentario, en cantidades discretas.

3.6. La gestión de los desechos, en preparación de la disposición final, puede implicar su traslado de un explotador a otro o su procesamiento en otro Estado. La infraestructura legal establecida [14] debería incluir disposiciones que aseguren una asignación clara de responsabilidades en cuanto a la seguridad durante el proceso de gestión preparatoria de la disposición final de los desechos, incluido todo traslado de un explotador a otro. También debería prestar atención a la clausura de cualquier instalación en la que se gestionen desechos. Esta continuidad de la responsabilidad en materia de seguridad debería garantizarse mediante autorizaciones apropiadas por parte del órgano regulador (por ejemplo, mediante una licencia o una sucesión de licencias, conforme a la infraestructura legal nacional y los acuerdos entre los Estados a los que afecte el movimiento transfronterizo de desechos).

3.7. Tanto las responsabilidades de regulación como las de explotación en la gestión de desechos radiactivos se deberían precisar claramente y disociar funcionalmente al máximo posible para asegurar un control reglamentario eficaz y estricto sobre las diferentes etapas de gestión y las entidades participantes.

RESPONSABILIDADES DEL ÓRGANO REGULADOR

3.8. La función general del órgano regulador en cuanto a la seguridad en la gestión de desechos radiactivos es establecer normas al respecto y asegurar el cumplimiento de las mismas. Los requisitos relativos a seguridad de los

desechos establecidos en la Ref. [14] pueden cumplirse de varias formas. Es lógico que el órgano regulador formule orientaciones nacionales sobre esas posibles formas. Las responsabilidades específicas que incumben al órgano regulador en relación con la gestión de desechos son:

- a) Examinar y evaluar las solicitudes de los usuarios y explotadores para que autorice actividades de gestión de desechos y establecer las condiciones de la autorización;
- b) Conceder, modificar, suspender o revocar autorizaciones;
- c) Dirigir las actividades de verificación del cumplimiento, en particular las inspecciones de las instalaciones en las cuales se generen y gestionen los desechos;
- d) Cuidar de que se adopten medidas correctoras si se detectan situaciones inseguras o potencialmente inseguras;
- e) Tomar las medidas coercitivas necesarias en caso de violación de los requisitos reglamentarios.

3.9. Otras responsabilidades específicas [2, 14] que recaen en el órgano regulador son:

- a) Elaborar y poner al día reglamentos, principios de seguridad y requisitos sobre gestión de desechos;
- b) Prestar asesoramiento sobre la redacción, interpretación y aplicación de leyes;
- c) Cuidar de que ninguna actividad que genere desechos radiactivos comience sin que se prevea lo necesario para la gestión apropiada de los mismos, y de que exista una capacidad suficiente e idónea de almacenamiento;
- d) Asegurarse de que se ha establecido un plan apropiado de clasificación de los desechos teniendo debidamente en cuenta las normas nacionales e internacionales de seguridad;
- e) Cerciorarse de que se han establecido las normas y criterios relativos a la seguridad de las instalaciones, los procesos y las operaciones de gestión de los desechos radiactivos, inclusive su manejo, procesamiento, transporte, almacenamiento y disposición final; en estos aspectos se debería prestar atención a la aceptación de los bultos de desechos para su disposición final en las instalaciones existentes o planeadas;
- f) Cuidar de que se asigne a las partes pertinentes que intervengan en la generación o la gestión de desechos radiactivos la responsabilidad de asegurar la preparación y el mantenimiento de los documentos y los registros correspondientes, relativos a todas las etapas de la gestión, de

que los registros se lleven correctamente y de que se mantengan durante un periodo de tiempo adecuado;

- g) Establecer normas de seguridad para la clausura de las instalaciones, incluidas las condiciones aplicables a los puntos finales de la clausura;
- h) Establecer normas acerca de la retirada de materiales de las instalaciones o actividades sometidas a control reglamentario, así como formular orientaciones sobre el vertido autorizado de líquidos y gases que contengan radionucleidos, y sobre la obtención de la debida aprobación reglamentaria;
- i) Cuidar de que su propio personal y el de los usuarios y explotadores tenga la experiencia y competencia necesarias para desempeñar sus funciones de manera adecuada y, cuando sea necesario, cuidar de que se imparta la capacitación adecuada.

3.10. El órgano regulador debería exigir al usuario o al explotador que presente la documentación de seguridad en apoyo de una solicitud de licencia u otro tipo de autorización concerniente a la gestión de desechos radiactivos. La documentación de seguridad debería incluir un informe de evaluación de la seguridad que esté en consonancia con la complejidad de la instalación y, en lo que respecta a la gestión de desechos, información detallada sobre lo siguiente:

- a) Propiedades químicas, físicas y radiológicas de los desechos que se generen;
- b) Una descripción de las actividades propuestas de gestión de desechos radiactivos en lo referente a su generación (cantidades previstas, minimización y control), y su procesamiento (pretratamiento, tratamiento, acondicionamiento, almacenamiento y transporte), así como una descripción de las instalaciones y sus sistemas conexos;
- c) Una evaluación de la seguridad de las instalaciones y por tanto una demostración de su integridad y la de las medidas conexas de control de los desechos;
- d) Las condiciones de almacenamiento;
- e) Las disposiciones relativas a la liberación a que estén sujetos, de materiales, actividades e instalaciones de los controles reglamentarios si la reglamentación nacional lo permite;
- f) Las disposiciones relativas a los desechos que vayan a ser retirados de un emplazamiento para almacenarlos, tratarlos o eliminarlos en otro lugar;
- g) Las propuestas relativas a los vertidos (puntos y método de vertido y controles conexos);

- h) Los programas de descarga y monitorización radiológica ambiental y las propuestas para la evaluación de la seguridad;
- i) Los planes y procedimientos de clausura;
- j) Las disposiciones relativas a la competencia y capacitación del personal;
- k) Un plan para eventuales situaciones de accidente que afecten a desechos radiactivos.

RESPONSABILIDADES DE LOS USUARIOS QUE GENEREN DESECHOS RADIATIVOS Y DE LOS EXPLOTADORES QUE LOS GESTIONEN

3.11. La responsabilidad principal en la gestión segura de todo desecho radioactivo originado en las instalaciones que manipulen, utilicen o procesen materiales radiactivos incumbe a los respectivos explotadores. Esta responsabilidad debería abarcar la disposición final, pero cuando no existan instalaciones de disposición final, debería incluir un almacenamiento seguro a largo plazo. En los párrafos siguientes se formulan recomendaciones sobre la forma de satisfacer los requisitos establecidos en las Refs. [2, 14] y el órgano regulador puede especificar más detalles.

3.12. Antes de comenzar la construcción o una modificación importante de cualquier instalación de gestión de desechos, o toda actividad que pueda generar desechos radiactivos, el explotador responsable ha de presentarse al órgano regulador una solicitud con la información prescrita en el párrafo. 3.10 (Ref. [14], Sección 5). La solicitud debería especificar las etapas que se seguirán en la gestión de los desechos, incluso las condiciones de almacenamiento y disposición final, debería detallar el diseño y las prácticas operacionales previstos, e incluir una explicación de cómo van a satisfacerse los requisitos de seguridad (véase el párrafo. 3.11 de la Ref. [6]).

3.13. Antes de iniciar las operaciones con materiales radiactivos, el explotador debería realizar las pruebas de puesta en servicio, que exija el órgano regulador, a fin de demostrar la conformidad con los requisitos de diseño y de seguridad.

3.14. El explotador puede manipular, procesar, almacenar y/o proceder a la disposición final de los desechos en forma aprobada utilizando sus propias instalaciones, o bien enviarlos al explotador de una instalación autorizada para la gestión de los mismos. En este caso, el primero debería asegurarse de que los desechos radiactivos se trasladan exclusivamente en conformidad con los

criterios de aceptación establecidos por el explotador de la instalación de gestión de desechos, y de que junto con los envíos se presenta la información necesaria sobre el inventario sus componentes. El explotador debería cuidar de que el transporte de los desechos se realice en conformidad con el Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos [9, 10] (Reglamento de Transporte). Los explotadores deberían ser responsables de la seguridad de todas las actividades de gestión, incluso si el trabajo se contrata con un tercero, o hasta que los desechos pasen a ser responsabilidad del explotador de otra instalación autorizada para su gestión. También debería recaer en el explotador la plena responsabilidad de velar por que los bultos de desechos cumplan los requisitos de aceptación para un almacenamiento a largo plazo o la disposición final, o bien los requisitos establecidos o aprobados por el órgano regulador.

3.15. El explotador debería preparar planes para las actividades de clausura, ya al comienzo de la planificación de las operaciones.

3.16. El explotador debería mantener un registro de todos los desechos generados y almacenados, y de todos los desechos que hayan pasado a disposición definitiva o a ser responsabilidad de otro explotador. El órgano regulador debería especificar el periodo de tiempo durante el cual sea obligatorio conservar los registros.

3.17. Los usuarios y los explotadores deberían asegurarse de que dispondrán, a lo largo de la vida útil de la instalación, de los recursos adecuados, incluidos los humanos y financieros para cumplir todas sus responsabilidades en materia de gestión de desechos radiactivos.

3.18. Debería ser responsabilidad del operador:

- a) Cuidar de que la generación de desechos radiactivos se reduzca al mínimo posible;
- b) Establecer y aplicar un programa adecuado de gestión de desechos con un sistema de gestión apropiado para garantizar el cumplimiento de las condiciones de autorización;
- c) Cuidar de que los desechos radiactivos se gestionen previendo las medidas necesarias para su recogida, segregación, caracterización, clasificación, tratamiento, acondicionamiento, almacenamiento y disposición final, incluso pasándolos en el momento oportuno de una etapa de gestión a otra;

- d) Cerciorarse de que se dispone del equipo y las instalaciones necesarios para llevar a cabo las actividades de gestión de desechos radiactivos de forma segura;
- e) Cuidar de que el personal esté debidamente capacitado y existan procedimientos operativos para que realice sus tareas con seguridad;
- f) Mantenerse informado de las prácticas seguidas en gestión de desechos y asegurar los retornos de información procedentes de la experiencia operacional que interesen;
- g) Realizar una evaluación de la seguridad, que sea proporcionada a la complejidad de la instalación y sus posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente;
- h) Establecer y mantener registros que contengan información sobre la generación, procesamiento, almacenamiento y disposición de los desechos radiactivos, incluido el mantenimiento de un inventario actualizado de los desechos radiactivos almacenados;
- i) Cuidarse de la monitorización radiológica, registro y presentación de informes sobre las descargas efectuadas al órgano regulador con el suficiente detalle y exactitud para demostrar la conformidad con cualquier autorización al respecto;
- j) Informar con prontitud al órgano regulador de cualquier descarga o emisión que exceda las cantidades autorizadas;
- k) Presentar al órgano regulador un inventario de los desechos radiactivos que obren en su poder, de los vertidos realizados y del material radiactivo retirado de las instalaciones y las actividades sometidas a regulación, en los intervalos, la forma y con los pormenores que exija dicho órgano;
- l) Evaluar la integridad de las medidas e instalaciones de control de los desechos para cerciorarse de su resistencia a fallos;
- m) Establecer planes de contingencia y procedimientos de emergencia;
- n) Notificar al órgano regulador los sucesos y accidentes;
- o) Presentar cualquier otra información sobre los desechos radiactivos que exija el órgano regulador.

3.19. El explotador debería nombrar a una persona adecuadamente cualificada que asuma la responsabilidad general del control diario de la gestión de los desechos radiactivos. Esa persona también puede ser el responsable de la protección radiológica, en función de la dimensión y complejidad de funcionamiento de la entidad. La persona que se designe debería tener la misión específica de asesorar a la dirección sobre todos los asuntos relacionados con la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos. Debería dotarse a la persona designada de la autoridad y los recursos apropiados para asegurar el cumplimiento de las obligaciones del explotador especificadas en el párrafo 3.18.

4. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA SEGURIDAD

ESTRATEGIA DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIACTIVOS

Elección de las opciones preferentes

4.1. La gestión de los desechos radiactivos se puede llevar a cabo a nivel local (en el lugar de origen), en una instalación de ámbito nacional y/o regional, o combinando ambos métodos. La decisión sobre la gestión de los desechos a nivel local o en una instalación nacional y/o regional debería tomarse en el marco de la estrategia nacional de gestión de desechos.

4.2. El grado en que el procesamiento de los desechos lo realicen los usuarios o los explotadores a nivel local dependerá de las opciones existentes habida cuenta de la estrategia nacional en la materia, de la infraestructura del explotador y de la capacidad técnica disponible en relación con la gestión de los desechos generados. La gestión de los desechos en el emplazamiento puede incluir toda una serie de operaciones, tales como su reducción al mínimo, pretratamiento (incluso su segregación, caracterización y ajuste químico), tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento. De todas formas al menos la reducción al mínimo, la segregación, la caracterización básica y el almacenamiento conexo deberían realizarse en el emplazamiento. Los usuarios y los explotadores deberían cuidar de que el envío de todo desecho radiactivo a una instalación de disposición final o a otras instalaciones de gestión se ajuste a los requisitos de aceptación de desechos.

4.3. Estas consideraciones y las siguientes, relativas a la gestión en el emplazamiento, se aplican a los usuarios, pero también son aplicables en el caso de una instalación que gestione los desechos a nivel nacional o regional.

Control de la generación de desechos

4.4. Como prioridad absoluta, el operador debería adoptar todas las medidas a su alcance para evitar la generación de desechos radiactivos, por ejemplo mediante un diseño y un funcionamiento apropiados de las instalaciones y utilizando, siempre que sea posible, radionucleidos de periodo de semidesintegración relativamente corto, que decaigan a niveles insignificantes en poco tiempo. Como segunda prioridad, el operador debería considerar el

reciclaje y la reutilización de los materiales y equipos radiactivos para reducir la cantidad de desechos que haya que gestionar y eliminar. La minimización de los desechos es un paso importante en su gestión y el control del riesgo potencial. Las consecuencias de minimizar la generación de desechos deberían analizarse como parte de la evaluación de la seguridad.

4.5. Por motivos de seguridad, los materiales innecesarios, como los equipos de embalaje, no deben estar en las zonas sometidas a control radiológico. Esto reduce la posible generación de desechos radiactivos y la propagación de contaminación radiactiva y contribuye a minimizar el volumen de los desechos.

4.6. Otro aspecto esencial en la reducción al mínimo de los desechos es utilizar la menor cantidad de material radiactivo compatible con el logro del objetivo de la aplicación. Debería prestarse la debida consideración a las opciones para limitar la cantidad de material radiactivo utilizado en cualquier actividad concreta.

4.7. Siempre que sea posible al comprar fuentes selladas, las estipulaciones contractuales deberían permitir el retorno de las fuentes, después de utilizarlas, al fabricante o a un responsable predeterminado de su gestión. Esto es especialmente importante en el caso de las fuentes de gran actividad, que no pueden liberarse del control reglamentario sino después de muchos años de almacenamiento para que decaigan, o de las fuentes que contengan radionucleidos de vida larga.

4.8. Debería considerarse la reutilización y/o el reciclado de los materiales radiactivos como alternativa a la disposición final, si las circunstancias lo permiten. La seguridad de la reutilización y/o el reciclado debería evaluarse antes de comenzar las operaciones y, cuando sea posible que surjan riesgos fuera de la empresa autorizada, deberían obtenerse las aprobaciones requeridas del órgano regulador. El reciclado y la reutilización pueden incluir las siguientes actividades:

- a) La reutilización de fuentes selladas por el propietario o por un nuevo propietario, con las debidas disposiciones legales;
- b) El reciclado de las fuentes por el fabricante;
- c) La descontaminación y/o reutilización de materiales tales como el equipo y la ropa de protección;
- d) El reciclado y la reutilización de materiales que cumplan las condiciones de liberación del control establecidas por el órgano regulador.

4.9. Los riesgos no radiológicos que impliquen los desechos también deberían reducirse al mínimo. Si es posible, debería evitarse la mezcla de desechos radiactivos con materiales tóxicos o peligrosos. Por ejemplo, sería preferible utilizar un termopar para la medición de la temperatura en lugar de un termómetro de vidrio y mercurio, evitando así la posible formación de una corriente de desechos que contengan mercurio contaminado.

Caracterización y clasificación de los desechos

4.10. Un elemento fundamental en todas las etapas de la gestión de desechos, desde que se generan hasta la disposición final, es su caracterización y clasificación. La caracterización puede servir para diferentes fines, tales como percatarse de los riesgos potenciales inherentes a los tipos concretos de desechos, diferenciar los que sean adecuados para almacenarlos hasta que decaigan o especificar una opción especial de procesamiento, almacenamiento o disposición final, y planificar y diseñar las instalaciones de gestión. La clasificación permite seleccionar la opción de gestión de desechos más adecuada y resulta a menudo considerablemente influida por el periodo de semidesintegración radiactiva. Deberían regresarse en primer lugar los desechos que contengan radionucleidos de periodo corto, que pueden ser gestionados mediante almacenamiento seguro hasta su decaimiento a niveles insignificantes. En este sentido deberían tenerse en cuenta las impurezas con periodo de semidesintegración radiactiva largo, que no siempre son detectables al caracterizar inicialmente los desechos de periodo corto. En la referencia [15] se presentan orientaciones sobre la clasificación de los desechos. Los datos resultantes de los procesos de caracterización deberían registrarse y el registro mantenerse durante un periodo de tiempo adecuado.

Interdependencias entre las etapas de gestión de los desechos radiactivos

4.11. Se deberían determinar las interdependencias existentes entre las distintas etapas de gestión de desechos radiactivos, ya que la manera de gestionarlos o tratarlos en una etapa puede tener importante influencia en las etapas subsiguientes. No hacerlo así puede dar lugar a una forma de desecho que incumpla las especificaciones de seguridad relativas a su almacenamiento o disposición final, y reprocesarla para obtener una forma que las cumpla puede ser técnicamente difícil y costoso, o dar lugar a una exposición a la radiación innecesaria. Por ejemplo, procesar desechos radiactivos sin tener en cuenta los requisitos posteriores para aceptarlos con fines de disposición final puede obligar a un nuevo acondicionamiento.

INSTALACIONES GENERADORAS DE DESECHOS RADIATIVOS E INSTALACIONES DE GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

Sistema de gestión directiva

4.12. Una buena gestión directiva es un requisito previo para garantizar la seguridad en la gestión de desechos radiactivos y la protección de la salud humana y el medio ambiente [2]. En el tipo de actividades consideradas en esta Guía de Seguridad, en las que el uso de materiales radiactivos y la gestión de los desechos resultantes tal vez no sean de interés central, la aplicación de buenas prácticas de gestión directiva a esos desechos debería ser objeto de especial atención. La buena gestión directiva y la demostración de calidad en el programa de gestión de desechos deberían lograrse estableciendo un sistema directivo bien estructurado y trabajando en su marco. El esfuerzo dedicado a implantar y garantizar la seguridad en el marco del sistema de gestión directiva debería ser proporcionado a la complejidad de las actividades realizadas, los desechos generados y el programa de gestión de los mismos. En este programa se debería tener en cuenta la estructura directiva, las responsabilidades y las necesidades en cuanto a capacitación, las medidas de control, las normas de calidad de funcionamiento y los métodos de evaluación.

4.13. Los sistemas de gestión directiva deberían ser establecidos y aplicados por los usuarios, los explotadores y el órgano regulador.

4.14. Son elementos importantes de los sistemas de gestión directiva, aunque sin limitarse necesariamente a ellos:

- a) La definición de la estructura y las responsabilidades directivas;
- b) La formulación de los procedimientos oficiales de trabajo;
- c) La capacitación y requisitos de cualificación del personal;
- d) El control del diseño;
- e) La adquisición de materiales y servicios;
- f) El control de la documentación y los registros;
- g) La inspección, los ensayos y el mantenimiento;
- h) El control de desconformidades y las medidas correctoras;
- i) La evaluación (de la eficacia del sistema de gestión directiva — auditoría interna y externa).

Cultura de la seguridad

4.15. Todas las entidades que utilicen materiales radiactivos y generen y gestionen desechos radiactivos, o que se ocupen del control reglamentario, han de esforzarse por conseguir la existencia de una cultura apropiada de la seguridad. El objetivo de estos esfuerzos debería ser una sensibilización a la necesidad imperiosa de gestionar adecuadamente los desechos radiactivos a todos los niveles en las diversas entidades y desincentivar la autocomplacencia en cualquier aspecto de las actividades correspondientes (Ref. [1]; Ref. [13], párr. 2.28; Ref. [16]).

4.16. Todas las partes interesadas deberían cuestionar constantemente la idoneidad y la eficacia de los programas de gestión de desechos radiactivos y procurar en todo momento introducir mejoras en las disposiciones referentes a la seguridad.

Recursos financieros y humanos

4.17. Los usuarios y los explotadores deberían poner a disposición recursos financieros y humanos suficientes que garanticen la ejecución de los programas de gestión de desechos radiactivos en condiciones de seguridad y en conformidad con las condiciones de la autorización.

4.18. El personal responsable de la gestión de los desechos radiactivos debería tener el nivel de capacitación y experiencia apropiado para desempeñar competentemente sus funciones. Debería poseer los adecuados conocimientos científicos y/o técnicos.

Protección radiológica

4.19. Es obligatorio establecer un programa de protección radiológica para garantizar de manera adecuada la seguridad radiológica y el control de accesos a las zonas donde se gestionen desechos radiactivos.

4.20. Deberían adoptarse todas las disposiciones necesarias para mantener las dosis resultantes de exposiciones por debajo de los límites establecidos y optimizar la protección y la seguridad, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales [13], y en la medida en que proceda por la complejidad de las actividades operacionales, seguirse las recomendaciones de las guías de seguridad pertinentes en materia de protección radiológica operacional [17–19].

4.21. Debería llevarse a cabo una monitorización radiológica adecuada de las zonas en que se gestionen desechos y practicarse la dosimetría de los trabajadores que puedan estar expuestos a la radiación durante las actividades de gestión de desechos radiactivos. Deberían monitorizarse adecuadamente los materiales que se retiren de las zonas controladas.

Monitorización radiológica ambiental

4.22. La monitorización radiológica del medio ambiente debería ser una condición para la autorización [13] de toda gran instalación de gestión de desechos radiactivos en la que éstos se generen, pero en las instalaciones menores y menos complejas posiblemente no sea necesaria. Su necesidad debería depender estrechamente de la posibilidad de que el público en general reciba dosis significativas de radiación. Sin embargo a veces puede ser precisa una cierta monitorización con el fin de tranquilizar a los ciudadanos.

4.23. Si se requieren programas de monitorización ambiental, deberían establecerse en función de los riesgos potenciales inherentes a la instalación de gestión de desechos y de las características ecológicas de la zona circundante. El programa debería incluir la toma de muestras del medio ambiente (por ejemplo, de aguas subterráneas, aire y polvo) y la medición de los niveles de radiación y los de contaminación. Cuando esté indicada la monitorización radiológica ambiental, debería llevarse a cabo ya antes de iniciar las operaciones para determinar el nivel de radiación de fondo local y las concentraciones de radionucleidos en las materias ambientales, que pueden variar de un lugar a otro.

Preparación para emergencias

4.24. El usuario o el explotador ha de cuidar de que se haya establecido un plan de respuesta a emergencias radiológicas. El plan debería ser proporcionado a la gravedad potencial de una emergencia que pueda ocurrir en la instalación donde los desechos se generen o gestionen. Debería incluir, como mínimo, la capacitación de personal para que esté en condiciones de reconocer y reaccionar ante una emergencia, la asignación de responsabilidades a las diversas partes que deban intervenir, y las disposiciones y el equipamiento adecuados para garantizar la protección de los trabajadores en la emergencia. En la Ref. [20] se establecen los requisitos relativos a la preparación y respuesta a emergencias.

Seguridad física

4.25. En las instalaciones donde se generen o gestionen desechos radiactivos deberían establecerse medidas de seguridad física que garanticen que los desechos no sean accidental o deliberadamente retirados sin autorización, de su correcta ubicación. Debería prestarse especial atención a los materiales o equipos de valor intrínseco o que pudieran suponer una grave amenaza para la salud humana o el medio ambiente si se perdiera su control [13].

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.26. Es obligatorio realizar una evaluación de la seguridad para demostrar que pueden alcanzarse los objetivos de regularidad de funcionamiento de la instalación de gestión de desechos y los procesos utilizados y que el sistema es aceptable en su totalidad para la concesión de la licencia o la autorización (Ref. [2], párr. 5.3). Los resultados de la evaluación de la seguridad deberían incluir los efectos previstos en los trabajadores, el público y el medio ambiente. Asimismo deberían determinarse y documentarse las cantidades y las concentraciones de material radiactivo o de otros materiales peligrosos que pueda descargar la instalación en condiciones de seguridad. El alcance de la evaluación de la seguridad depende de la propensión al riesgo (la gravedad del daño que pueda ser causado por el peligro y la probabilidad del daño) que presenten las operaciones propuestas en el caso de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

4.27. Debería demostrarse que se ha seguido un enfoque sistemático y estructurado de evaluación, teniendo en cuenta todas las etapas del proceso de gestión de desechos, no solo como fases distintas sino como partes de un sistema integrado de gestión. El proceso de evaluación debería incluir las interdependencias existentes entre las etapas de la gestión de los desechos, y también entre las organizaciones participantes. Deberían considerarse las situaciones normales y anómalas de funcionamiento y proponerse medidas para reducir a un nivel aceptable los riesgos constatados, en conformidad con los requisitos del órgano regulador.

4.28. Para la mayoría de los pequeños usuarios y explotadores, debería bastar un enfoque de evaluación simplificado. En el Apéndice II se presenta un ejemplo de catálogo para detectar fallos en este tipo de evaluación. El propósito del catálogo es descubrir los peligros existentes para los explotadores

y proponer controles tecnológicos, administrativos y relativos a situaciones imprevistas, que den como resultado riesgos aceptables. Los riesgos se deberían categorizar desde una perspectiva tanto radiológica como no radiológica.

4.29. Cuando se trate de operaciones más bien sencillas y de poca amplitud, el sistema integrado de gestión de desechos puede ser un tanto simple y ser tratado con brevedad. El tema central de la evaluación de la seguridad en el caso de los usuarios y explotadores que gestionen pequeñas cantidades de desechos debería ser demostrar la conformidad con los requisitos reglamentarios.

4.30. Los resultados de la evaluación de la seguridad deberían reunirse en un informe. El informe debería abarcar los riesgos radiológicos y no radiológicos que puedan surgir en condiciones normales y anómalas, y las medidas que proceda adoptar para reducir estos riesgos a niveles aceptables. Las disposiciones relativas a tales medidas, en particular los niveles de referencia, las condiciones de trabajo y los procedimientos prácticos y administrativos, deberían ser la base de la documentación que utilicen los usuarios y los explotadores en sus operaciones.

4.31. La evaluación del impacto ambiental no radiológico se realiza generalmente con arreglo a la legislación sobre el medio ambiente y se sale del ámbito de esta Guía de Seguridad.

5. GESTIÓN PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS RADIATIVOS

GENERALIDADES

5.1. La gestión previa a la disposición final de los desechos radiactivos incluye una serie de actividades de procesamiento, que abarcan el pretratamiento, el tratamiento y el acondicionamiento. También incluye diversas operaciones de almacenamiento y manipulación y de transporte a una instalación central de gestión de desechos y/o a una instalación de disposición final. La gestión de pequeñas cantidades de desechos se puede realizar en el lugar de su generación (como un hospital, laboratorio o centro de investigación) y/o en una instalación central.

PROCESAMIENTO DE LOS DESECHOS

5.2. El procesamiento de los desechos radiactivos puede incluir las etapas de pretratamiento, tratamiento y acondicionamiento, que a su vez pueden comprender una serie de operaciones que modifiquen las características de los desechos. El procesamiento puede requerirse por motivos de seguridad, técnicos o financieros. Ahora bien es necesario para eliminar o reducir los riesgos (por ejemplo radiológicos, físicos, químicos y biológicos) que suponen los desechos.

5.3. Los desechos deberían procesarse sólo después de su caracterización exacta. El método de procesamiento seleccionado debería ser garantía de que cumplirán los requisitos de aceptación para su almacenamiento posterior, disposición final y transporte, o para liberarlos del control reglamentario aprobado por el órgano regulador.

5.4. Los métodos de procesamiento deberían seleccionarse en base a las características de los desechos radiactivos. Los desechos generados por la utilización de materiales radiactivos pueden clasificarse generalmente en los siguientes grandes grupos: sólidos, líquidos y gaseosos. Los desechos de cada grupo pueden consistir en materias que contengan radionucleidos que se diferencien por su actividad (emisores alfa, beta-gamma y de neutrones), por su periodo de semidesintegración y por las propiedades físicas, químicas y biológicas de la matriz portadora.

5.5. La generación de desechos radiactivos secundarios debería tenerse siempre en cuenta al seleccionar el método de procesamiento. Las consecuencias de los desechos secundarios resultantes deberían considerarse al evaluar la seguridad y el impacto ambiental. Esto es de particular interés en el caso de operaciones tales como descontaminación, aserrado o corte, desmenuzado y trituración de desechos sólidos, con fines de reducción de volumen

5.6. Al seleccionar el método de procesamiento de los desechos radiactivos, se ha de tener en cuenta la exposición de los trabajadores en condiciones normales de funcionamiento y en el caso de los posibles accidentes considerados para cada método de procesamiento.

Pretratamiento de los desechos

5.7. El pretratamiento de los desechos radiactivos es la primera etapa de su gestión tras generarlos. Las actividades de pretratamiento incluyen la recogida, la segregación, el ajuste químico y la descontaminación. En esta etapa inicial, las corrientes de desechos deberían segregarse en el origen de su generación y, como requisito previo, debería procederse a su identificación y clasificación conforme al sistema de clasificación establecido. El explotador de una instalación de gestión que reciba desechos radiactivos debería verificar sus características con mediciones sistemáticas o aleatorias o por otros medios, a fin de confirmar la información comunicada por los usuarios y facilitar la selección de las técnicas adecuadas de tratamiento y acondicionamiento. Como parte del sistema de gestión debería mantenerse un registro actualizado de las características de los desechos.

5.8. En general, la recogida y segregación de los diferentes tipos de desechos radiactivos debería llevarse a cabo sobre la base de una estrategia definida y la infraestructura de gestión existente, o de los requisitos de aceptación prescritos por una instalación dedicada a gestionarlos. El objetivo de la segregación de los desechos es minimizar el volumen, el costo, la complejidad y los riesgos que implica la gestión en las etapas posteriores. Debería prestarse atención especial a la segregación de los desechos de alta actividad, en particular en la fase de clausura. Esto facilita el reciclaje dentro del proceso o la disposición final como desechos no radiactivos, cuando las cantidades de radionucleidos presentes en ellos sean lo suficientemente bajas como para que puedan ser retirados de una instalación o una actividad regulada.

5.9. Los contenedores utilizados para la recogida y la segregación de los desechos radiactivos deberían ser física y químicamente compatibles con los mismos, asegurar la adecuada contención del material y ofrecer protección a los trabajadores frente a los riesgos químicos, biológicos, físicos o de otra naturaleza (tales como lesiones por objetos incisivos contaminados). Los materiales utilizados deberían ser robustos y, cuando así proceda, por ejemplo si se trata de desechos biológicos, tener un envase doble o un contenedor externo adecuado. Los contenedores deberían estar correctamente identificados y etiquetados, y distribuidos en lugares de trabajo donde se prevea la generación de desechos radiactivos. Debería tenerse en cuenta su manipulación segura (por ejemplo, suministrando recipientes de residuos con pedales) y su utilización en las siguientes etapas de gestión. El usuario debería registrar la información sobre la naturaleza de los desechos radiactivos

recogidos tan pronto como éstos comiencen a acumularse. Por cada contenedor debería hacerse constar la siguiente información:

- a) Número de identificación;
- b) Radionucleidos presentes;
- c) Actividad (medida o estimada) y fecha de la medición;
- d) Origen (por ejemplo sala y laboratorio);
- e) Riesgos reales y/o potenciales (por ejemplo riesgos químicos y de infección);
- f) Tasa de dosis superficial y fecha de la medición;
- g) Cantidad (masa o volumen);
- h) Persona responsable.

5.10. La segregación de los desechos radiactivos debería realizarse teniendo en cuenta principalmente los siguientes factores:

- a) Actividad y radionucleidos presentes;
- b) Periodo de semidesintegración de los radionucleidos presentes: radionucleidos de periodo corto (por ejemplo, periodos no superiores a 100 días), apropiados para almacenarlos en espera de que decaigan, o radionucleidos de periodo largo (por ejemplo, de más de 30 años);
- c) Forma física y química de los desechos, por ejemplo acuosa, orgánica, combustible o no combustible, comprimible o no comprimible, homogénea o heterogénea (con contenido de lodos o de sólidos en suspensión);
- d) Riesgos no radiológicos (de naturaleza tóxica, patógena, infecciosa, genotóxica, biológica, farmacológica o características mixtas);
- e) Actividades posteriores de procesamiento, almacenamiento o disposición final.

5.11. Debería procederse a descontaminación sólo si hay certeza de que se han evaluado los aspectos siguientes:

- a) La presencia de una capa separable;
- b) El alcance y la naturaleza de la contaminación superficial;
- c) El volumen, la actividad y las características de los desechos radiactivos que se estima se originarán;
- d) Los riesgos potenciales vinculados al método de descontaminación que se utilizará.

5.12. El explotador debería recopilar y registrar de manera sistemática la información relativa a la seguridad en la siguiente etapa de gestión de desechos. Antes de trasladar un contenedor de desechos radiactivos para ulteriores operaciones de gestión deberían adoptarse las precauciones apropiadas (por ejemplo de monitorización radiológica y descontaminación).

Tratamiento de los desechos

5.13. El tratamiento de los desechos radiactivos comprende las operaciones destinadas a obtener seguridad o economías, modificando sus características. Los tratamientos básicos aplicables son la reducción del volumen, la eliminación de radionucleidos y el cambio en la composición.

Desechos radiactivos sólidos

5.14. Hay diversas opciones para el tratamiento de los desechos sólidos (véase el apéndice III). En general, a excepción del acondicionamiento, no son aplicables a las fuentes selladas gastadas y en desuso. Las posibles opciones para el tratamiento de estos desechos y las principales consideraciones de seguridad se enumeran a continuación:

- a) Compactación, que debería llevarse a cabo sólo si es seguro que:
 - No hay en los desechos nada que pueda dañar el bulto que forman;
 - Los desechos peligrosos (como los infecciosos) se han excluido (o se han desinfectado) para evitar liberaciones peligrosas (por ejemplo de microorganismos);
 - Se han excluido los contenedores presurizados para evitar fugas incontroladas de gases o contaminación;
 - Se han excluido los líquidos para evitar fugas del bulto durante la compactación;
 - Se han excluido las fuentes selladas en desuso para evitar altos riesgos de contaminación y de exposición;
 - Se han excluido los polvos activos sueltos para evitar riesgos de contaminación;
 - Se han excluido los materiales químicamente reactivos para evitar reacciones incontroladas.
- b) Incineración, que debería de llevarse a cabo sólo si es seguro que:
 - Se han excluido las fuentes selladas en desuso para evitar altos riesgos de contaminación;
 - Se han excluido los contenedores presurizados para evitar fugas incontroladas de gases y/o contaminantes;

- Se han excluido los materiales tóxicos volátiles, si el incinerador no está diseñado para ellos;
- Se controlan los materiales con alto contenido de humedad para asegurar la combustión completa;
- Habrá una gestión posterior de las cenizas radiactivas;
- Se controlan los materiales congelados para garantizar la combustión completa;
- Se aplica un control activo del polvo, en particular del causado por la manipulación de cenizas;
- Se someten a tratamiento y control los gases de combustión generados y los efluentes gaseosos se descargan con sujeción a los límites de vertido autorizados.

Desechos radiactivos líquidos

5.15. Hay diversas opciones para el tratamiento de los desechos radiactivos líquidos. La selección del proceso de tratamiento óptimo de líquidos depende de consideraciones de seguridad, técnicas y económicas. El tratamiento de los líquidos depende también del pH y el contenido de partículas sólidas, sales y ácidos, y de la posibilidad y facilidad para su eliminación. El proceso de tratamiento debería llevarse a cabo conforme a los criterios derivados de la evaluación de la seguridad y ponerse en práctica con arreglo a instrucciones de funcionamiento oficialmente aprobadas. Debería preverse también la monitorización radiológica adecuada.

5.16. Las corrientes de desechos radiactivos líquidos deberían segregarse si varían mucho químicamente o en el contenido de radionucleidos. Por ejemplo, las disoluciones con diferentes propiedades químicas deberían almacenarse por separado si no es posible su descarga inmediata. Deberían prevenirse las reacciones químicas incontroladas que puedan producir calor, aerosoles o precipitados. Un ejemplo a este respecto es la necesidad de separar las disoluciones ácidas de las alcalinas ya que el cambio de pH o de las condiciones de reducción-oxidación podría dar lugar, por ejemplo, a la emisión de radionucleidos volátiles, como el yodo.

5.17. La combinación de corrientes líquidas sólo debería llevarse a cabo si la evaluación de la seguridad ha probado que el procedimiento es aceptable y si está documentado con arreglo a las instrucciones de funcionamiento aprobadas. En general, la mezcla de corrientes heterogéneas de desechos (por ejemplo acuosos y orgánicos o desechos que contengan radionucleidos de periodo corto y periodo largo) debería evitarse a menos que se realice con un

propósito específico (como la neutralización). De esta forma se minimizan la complejidad y los riesgos potenciales de las corrientes de desechos.

5.18. Para el tratamiento de las corrientes de desechos radiactivos acuosos y orgánicos se pueden aplicar diferentes procesos. Si se trata de pequeñas cantidades de desechos acuosos, el órgano regulador puede autorizar su descarga directa al sistema normal de alcantarillado o a la masa de agua receptora. En la Sección 2 se formulan más orientaciones. Para otros desechos acuosos se aplican procesos de precipitación química, evaporación, intercambio iónico y ultrafiltración.

5.19. En caso de recurrir a la precipitación química, debería tenerse en cuenta la generación de desechos secundarios, la posibilidad de crear corrientes de desechos heterogéneos y la necesidad de acondicionar después el precipitado activo. En cuanto al proceso de evaporación, deberían considerarse los factores siguientes: la generación de desechos secundarios, la integridad del evaporador (respecto de su resistencia a la corrosión), el posible riesgo de incendio si están presentes materiales orgánicos volátiles, y la contención del *spray* radiactivo así como el acondicionamiento posterior de los concentrados activos. Cuando se utilice un proceso de intercambio iónico, los puntos que se han de considerar son la generación de desechos secundarios que requieran acondicionamiento especial, la reactividad de las resinas con oxidantes poderosos (como el ácido nítrico fuerte), la degradación radiolítica de las resinas y el acondicionamiento especial para la resina gastada producida. En el proceso de ultrafiltración es preciso considerar las fugas de los sistemas a alta presión, que posiblemente originen la dispersión fortuita de desechos líquidos, así como la consiguiente necesidad de acondicionamiento de los sólidos o lodos radiactivos.

5.20. En el caso de desechos orgánicos pueden aplicarse procesos de incineración (con excepción de los materiales de bajo punto de inflamación o materiales tóxicos volátiles), de inmovilización y de absorción. Cuando se adopte la incineración, deberían tenerse en cuenta, como mínimo, las posibles repercusiones en el medio ambiente de los gases y materias en forma de partículas así como los componentes radiactivos y no radiactivos. Del mismo modo, debería considerarse la necesidad de reducir al mínimo la generación de materia radiactiva en suspensión en el aire en el interior de la instalación en la que los desechos se generen, sobre todo al manipular las cenizas, así como la gestión posterior de las cenizas contaminadas. En cuanto a la inmovilización y los procesos de absorción, debería evaluarse la estabilidad a largo plazo de la forma final de los desechos.

5.21. Los concentrados resultantes del tratamiento de los desechos radiactivos líquidos (desechos secundarios), deberían inmovilizarse para producir una forma de desecho sólido estable. Las formas de desecho producidas deberían satisfacer los criterios establecidos en base a la evaluación de la seguridad, para lo cual es preciso tener en cuenta los requisitos relativos a transporte, almacenamiento y disposición final.

Descargas a la atmósfera

5.22. Cuando se trata de pequeñas cantidades de efluentes gaseosos, la descarga directa a la atmósfera es generalmente posible con sujeción a las condiciones establecidas para la licencia. En tales casos, es poco probable que sea necesario un tratamiento adicional de los efluentes gaseosos. Así suele suceder en los pequeños laboratorios de medicina y de investigación en los que se usan cantidades de radionucleidos reducidas y los radionucleidos a menudo son de periodo de semidesintegración corto.

5.23. Las corrientes de desechos descargadas a la atmósfera que contengan partículas radiactivas deberían, cuando sea necesario, limpiarse por medio de filtros o por otros medios antes de expulsarlas a la atmósfera. A menos que su contaminación consista sólo en radionucleidos de periodo corto, el filtro u otro medio de limpieza debería tratarse como desecho radiactivo sólido. Si en el filtro u otro medio de limpieza solo se depositan radionucleidos de periodo corto, se puede dejar que decaigan sin necesidad de otro tratamiento y liberarlos después del control reglamentario.

Desechos radiactivos biológicos

5.24. Los desechos radiactivos de naturaleza biológica deberían gestionarse teniendo en cuenta los riesgos radiológicos y no radiológicos que compartan (biológicos y/o infecciosos; riesgos físicos y químicos de inflamación y/o explosión). En el caso de los desechos radiactivos biológicos infecciosos procedentes de aplicaciones médicas, debería llevarse a cabo un pretratamiento para eliminar todos los agentes infecciosos antes de almacenar y/o eliminar los desechos. En el Apéndice IV se presenta un diagrama de flujo que ilustra la gestión de los desechos biológicos.

5.25. Las prácticas de gestión de desechos radiactivos no son por lo general adecuadas o suficientes para el control de los riesgos biológicos. Al mismo tiempo, los desechos biológicos radiactivos no siempre pueden ser tratados con los mismos métodos que los desechos biológicos no radiactivos. Existen una

serie de opciones para el procesamiento de desechos radiactivos biológicos, que consisten en la esterilización por vapor, la desinfección química, el tratamiento con calor seco y la esterilización por irradiación. Para destruir las materias orgánicas y los microorganismos presentes en los desechos se utilizan principalmente medios térmicos como la incineración, el autoclave a vapor, el tratamiento con microondas y el calor seco. Los procesos químicos se aplican para la descontaminación de desechos biológicos por desinfección.

Acondicionamiento de los desechos radiactivos

5.26. El acondicionamiento de los desechos radiactivos consiste en someterlos a operaciones que los conviertan en una forma adecuada para la manipulación, el transporte, el almacenamiento y la disposición final. Esas operaciones pueden ser, entre otras, la inmovilización de los desechos en una matriz, su introducción en un contenedor y la utilización de un embalaje adicional. En muchos casos, el pretratamiento, el tratamiento y el acondicionamiento tienen lugar en estrecha conjunción. El acondicionamiento de los desechos radiactivos debería garantizar la máxima compatibilidad entre los desechos, la matriz y el contenedor, la máxima homogeneidad de la forma de desecho, el mínimo de espacios libres en el contenedor y baja posibilidad de lixiviación, así como el control sobre los agentes complejantes y los compuestos orgánicos. Las operaciones pueden incluir la inmovilización de los desechos en una matriz. Los requisitos y criterios de aceptación pertinentes deberían ser aprobados por el órgano regulador.

5.27. Al evaluar la seguridad deberían tenerse en cuenta los materiales que se vayan a acondicionar y los requisitos y/o los criterios de aceptación aplicables para el almacenamiento y la disposición final de los desechos. Este almacenamiento y la disposición final deberían ser autorizados por el órgano regulador.

5.28. Al llevar a cabo la evaluación, es útil considerar los bultos de desechos radiactivos constituidos por dos componentes principales, es decir, la forma de desecho y el contenedor. La naturaleza de la forma de desecho introducida en el contenedor tiene un efecto significativo sobre las propiedades de todo el bulto de desechos y puede influir en el comportamiento del bulto con respecto a los criterios de aceptación pertinentes.

5.29. Cada bulto de desechos debería llevar una etiqueta duradera con el número de identificación, y debería mantenerse en el marco del sistema de gestión un registro adecuado de cada bulto. Todos los registros deberían

guardarse de manera segura, con fácil acceso y recuperación durante un periodo prolongado. La información relativa a cada uno de los bultos debería incluir como mínimo lo siguiente:

- a) Origen del desecho;
- b) Número de identificación del bulto;
- c) Tipo y detalles de diseño del bulto y documentación sobre su descarga;
- d) Peso del bulto;
- e) Dimensiones externas y/o volumen del bulto;
- f) Tasa de dosis máxima al contacto y a 1 m (índice de transporte) y fecha de la medición;
- g) Resultados de la medición de la contaminación superficial;
- h) Contenido de radionucleidos y actividad;
- i) Contenido de material fisiónable (por ejemplo fuentes de ^{239}Pu -Be);
- j) Naturaleza física;
- k) Existencia de riesgos potenciales de tipo patógeno, químico u otro.

MANIPULACIÓN EN EL EMPLAZAMIENTO

5.30. La manipulación de los desechos radiactivos en el emplazamiento incluye todas las operaciones de traslado (movimiento) desde el origen de generación al lugar de procesamiento, almacenamiento y/o disposición final. Tales operaciones pueden comprender la manipulación física, el flujo en procesos o el transporte en el emplazamiento (inclusive la carga y descarga de bultos de los medios de transporte). La manipulación debería llevarse a cabo:

- a) En contenedores o con sobreenvases que se descontaminen fácilmente;
- b) Bajo un adecuado control de protección radiológica operacional;
- c) Con un etiquetado adecuado de los bultos de desechos radiactivos y los vehículos;
- d) En conformidad con el programa de protección radiológica del emplazamiento, los procedimientos de seguridad, los requisitos de transporte seguro y los planes de emergencia, así como las normas establecidas por la legislación nacional.

5.31. Debería realizarse un examen de la contaminación no fija superficial antes de manipular el bulto. Esto es útil para proteger a los trabajadores que manipulen el bulto, ayuda a prevenir la propagación accidental de la contaminación y permite una comprobación independiente del sistema de mantenimiento de registros. Además, debería también haberse definido, como

parte de los requisitos de aceptación de los bultos para el almacenamiento, una tasa de dosis de radiación máxima admisible en la superficie de cada uno de ellos, o a una distancia especificada de la superficie.

5.32. La presencia imprevista de contaminación radiactiva en un bulto de desechos radiactivos puede indicar que el propio bulto o uno próximo ha sufrido rotura o daño físico. Deberían existir procedimientos establecidos de antemano y documentados para aplicarlos en tal caso. Como mínimo, se debería delimitar la zona situada alrededor los bultos sospechosos, avisar a la persona responsable de la seguridad los desechos y aplicar procedimientos para descubrir la fuente de la contaminación y asegurarse de su contención. El medio más simple de contener la fuente de la contaminación es introducirla, si es posible, en un sobreenvase o contenedor secundario.

ALMACENAMIENTO DE LOS DESECHOS RADIATIVOS

5.33. El almacenamiento de los desechos radiactivos puede ser necesario:

- a) Para que decaigan antes de liberarlos del control reglamentario;
- b) Antes del pretratamiento, tratamiento y acondicionamiento;
- c) Antes de la disposición final o el traslado a otra instalación autorizada.

5.34. Los desechos radiactivos deberían almacenarse de modo que garantice su aislamiento y la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente, y que permita su movimiento, manipulación, transporte o disposición final posteriores. Durante las diferentes fases de almacenamiento, debería mantenerse la plena posibilidad de trazabilidad de los bultos de desechos por medio de registros y de un etiquetado adecuado.

5.35. En cualquier actividad de gestión de desechos radiactivos debería garantizarse la seguridad de las disposiciones de almacenamiento. Los desechos pueden almacenarse en el emplazamiento para que su actividad decaiga hasta niveles que permitan liberarlos del control. El almacenamiento también puede ser necesario por motivos operacionales (por ejemplo, en el caso de desechos no acondicionados, hasta que se acondicionen o se trasladen fuera del emplazamiento). En general, el periodo de almacenamiento en el emplazamiento debería reducirse al mínimo que sea factible para garantizar la seguridad de los desechos a largo plazo. Tal es el caso en particular cuando los desechos hayan de trasladarse a una instalación central de almacenamiento y cuando se generen en una instalación que carezca de capacidad óptima de almacenamiento a largo

plazo. Las instalaciones de almacenamiento pueden también ser necesarias para los desechos radiactivos no tratados, tratados y acondicionados. Debería prestarse especial atención al almacenamiento de los desechos radiactivos no acondicionados, con el fin de limitar las fugas en los bultos.

5.36. Al considerar las disposiciones para el almacenamiento de los desechos radiactivos deberían analizarse detalladamente los siguientes puntos:

- a) El tipo y las características de los desechos radiactivos;
- b) La integridad inicial de los bultos de desechos y los niveles potenciales de contaminación superficial;
- c) El cierre y/o sellado de los bultos y la persistencia de su integridad en las condiciones de almacenamiento;
- d) El periodo previsto de almacenamiento y la posibilidad de prórroga;
- e) La capacidad de cumplir los requisitos de manipulación, almacenamiento y seguridad;
- f) La necesidad y el tipo de monitorización radiológica, por ejemplo de sustancias radiactivas suspendidas en el aire en la instalación de almacenamiento;
- g) La posibilidad de detección de posibles daños en los bultos de desechos y la facilitación de las medidas correctoras.

Almacenamiento de los desechos radiactivos antes de su descarga o liberación del control reglamentario

5.37. Muchos radionucleidos, en particular los que se utilizan en investigación y aplicaciones médicas, tienen periodos de semidesintegración que van desde unas pocas horas a unos meses. Un periodo de almacenamiento con fines de decaimiento, que dure diez periodos de semidesintegración, reduce la actividad inicial a menos de una milésima parte de la original. La experiencia práctica demuestra que el almacenamiento con fines de decaimiento suele ser adecuado para todos los tipos de desechos radiactivos, sólidos, líquidos y gaseosos, que contengan radionucleidos con periodos de semidesintegración no superiores a unos 100 días. Pero también hay desechos con largos periodos de semidesintegración que pueden almacenarse en condiciones seguras para su decaimiento a niveles insignificantes, por lo que su almacenamiento debería estudiarse atendiendo a cada caso particular.

5.38. Cuando proceda, el almacenamiento con fines de decaimiento es la opción de gestión preferente por razones tanto de seguridad como técnicas y económicas. Los desechos radiactivos que estén contaminados con

radionucleidos de periodo corto y cuyo contenido de actividad o cuya concentración de actividad sean adecuados, debieran ser recogidos y almacenados en condiciones de seguridad por tiempo suficiente hasta que cumplan los criterios reglamentarios para poderlos retirar de las instalaciones y actividades reguladas o para su descarga autorizada. Puede haber algunas excepciones, como los cadáveres contaminados de animales, que tal vez hayan de ser eliminados en prevención de riesgos patológicos o infecciosos.

5.39. El almacenamiento de los desechos radiactivos con fines de decaimiento y posterior liberación del control reglamentario exige rigurosas medidas administrativas de control. La actividad debería medirse cuidadosamente y los desechos deberían segregarse, tanto en el punto de generación como al final del periodo de almacenamiento para su decaimiento. Antes de levantar el control sobre cada lote deberían realizarse mediciones representativas o tomarse muestras y analizarlas. Al tomar las muestras debería tenerse en cuenta la protección de los trabajadores contra los riesgos radiológicos y no radiológicos.

Almacenamiento de los desechos radiactivos antes de procesarlos

5.40. Durante el almacenamiento se debería hacer un rastreo de cada bulto para facilitar su recuperación a efectos de procesamiento posterior. Deberían aplicarse controles adecuados de protección radiológica y de seguridad, y debería limitarse el periodo de almacenamiento de los desechos que no estén acondicionados, pues los desechos radiactivos no acondicionados pueden presentar riesgos imprevistos. Los desechos se deberían almacenar de manera que se garantice:

- a) El depósito de los bultos en zonas o locales, especialmente designados, o en instalaciones especialmente construidas (en el emplazamiento o en instalaciones centrales);
- b) El cumplimiento de los criterios de aceptación para el almacenamiento de desechos;
- c) El control de los bultos al recibirlos (por ejemplo comprobación de su integridad, de la contaminación superficial y de la conformidad con la documentación de apoyo);
- d) El almacenamiento por separado de diferentes tipos de desechos (incluidos los mixtos) en función de la presencia de desechos de tipo patógeno, orgánico, tóxico u otros tipos;
- e) El etiquetado fiable de los bultos;
- f) El seguimiento de la situación de los desechos en los distintos momentos y la disponibilidad de documentación de apoyo.

Almacenamiento de los desechos radiactivos antes de su disposición final

5.41. Los desechos radiactivos tratados y acondicionados deberían almacenarse por separado de los desechos no acondicionados, materias primas inactivas y materiales de mantenimiento. Los bultos deberían almacenarse por ejemplo en recipientes, estantes, palés o plataformas rodantes. Los lugares de almacenamiento deberían planificarse de modo que se reduzcan al mínimo la manipulación y el transporte.

5.42. Los desechos radiactivos acondicionados deberían almacenarse en un lugar seguro en todos los aspectos, incluso en el de la seguridad física, después de procesarlos previamente a su traslado a una instalación de disposición final.

5.43. Las propuestas de almacenamiento deberían ser analizadas al efectuar la evaluación de la seguridad y la del impacto ambiental, para demostrar la aceptabilidad de la concepción del diseño y las condiciones operacionales propuestas. Los objetivos de seguridad durante el almacenamiento deberían ser tales que garanticen la persistencia de la contención adecuada de los desechos almacenados, que existe un blindaje correcto contra la radiación que emitan, y que los bultos almacenados no se degradarán ni darán lugar a problemas de manipulación y de disposición final.

5.44. En algunos casos, las instalaciones destinadas al almacenamiento o la disposición final aún no existen. Aunque siguen siendo necesarias las actividades de radioterapia y otras actividades médicas, industriales y de investigación, la disposición definitiva de los desechos que conllevan no es aún factible. En estos casos, es posible que en esas operaciones no se puedan cumplir plenamente todas las recomendaciones formuladas en esta sección. El propósito de estas orientaciones es ayudar a los responsables de la seguridad a diseñar un programa de gestión de desechos radiactivos que asegure la protección de la salud y el medio ambiente en la medida en que sea practicable.

INSTALACIONES DE GESTIÓN DE DESECHOS PREVIA A LA DISPOSICIÓN FINAL

5.45. La seguridad de las instalaciones de gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos debería garantizarse mediante el uso de prácticas satisfactorias de ingeniería y de gestión. En particular, debería adoptarse el principio de defensa en profundidad, que ofrece múltiples niveles de

protección frente a fallos por causas técnicas o debidos a errores humanos. Esta defensa debería incluir:

- a) Sistemas multibarrera, es decir, con varias barreras físicas en las vías de migración de los radionucleidos al medio ambiente;
- b) Medios técnicos y organizativos para la protección de la integridad y la eficacia de las barreras;
- c) Medidas para la protección del público y el medio ambiente en caso de fallo o daño de las barreras.

5.46. En todas las etapas de la vida de las instalaciones de gestión de desechos radiactivos (selección del emplazamiento, diseño, puesta en servicio, funcionamiento y cierre o clausura) deberían preverse medios técnicos y organizativos para aplicar el principio defensa en profundidad con respecto a los tres aspectos siguientes:

- a) Medidas para prevenir la desviación respecto del funcionamiento normal;
- b) Medidas para prevenir accidentes y mitigar las consecuencias;
- c) Medidas relativas a los planes de emergencia.

Diseño de instalaciones de procesamiento y almacenamiento de desechos

5.47. En el diseño de instalaciones de procesamiento de desechos radiactivos se deberían considerar los siguientes puntos:

- a) Separación de los sistemas de procesamiento de desechos radiactivos y de los demás sistemas, así como de los locales e instalaciones donde se almacenen otros materiales potencialmente peligrosos;
- b) Previsión de los sistemas auxiliares requeridos, por ejemplo, para toma de muestras o descontaminación;
- c) Previsión del control radiológico necesario en todas las etapas, incluso el control sobre la recepción de los desechos y los elementos que afecten a la protección del personal y la del entorno de trabajo;
- d) Previsión de la contención adecuada (por ejemplo vitrinas de gases, bandejas de goteo, poyatas de trabajo selladas y esmaltadas y blindajes (por ejemplo de plomo o de bloques de hormigón)
- e) Previsión, cuando así proceda, de medios para demarcar los locales de trabajo con arreglo a su clasificación (por ejemplo etiquetas, cordones u otras barreras) en lo que respecta a las zonas y el personal.
- f) Previsión del control radiológico (medición de las tasas de dosis y la contaminación superficial);

- g) Previsión del control tecnológico requerido, tal como el registro de las características de los desechos en bruto y el control de las características del producto final (la forma de desecho radiactivo);
- h) Ordenación de la ubicación y distribución horizontal de los equipos y sistemas de forma que proporcione facilidad de acceso para las operaciones normales, el mantenimiento y el control;
- i) Previsión de medidas para la manipulación segura de los desechos mediante el equipo de manipulación adecuado y la selección de rutas cortas y sin complicaciones;
- j) Previsión de superficies de fácil descontaminación;
- k) Previsión de desagües y sistemas de ventilación adecuados (por ejemplo mediante filtración del aire, presiones del aire diferentes y consideraciones relativas al flujo);
- l) Previsión de suministro eléctrico normal y de emergencia;
- m) Previsión de los locales requeridos para los equipos de emergencia;
- n) Previsión de sistemas de protección contra incendios;
- o) Previsión de las medidas de seguridad física.

5.48. Según sean las cantidades de desechos radiactivos que se hayan de procesar y/o almacenar, las disposiciones de seguridad pueden variar desde el almacenamiento en un armario blindado hasta la utilización de dependencias o instalaciones específicas. Las disposiciones concretas dependerán en gran medida de la actividad y de otras características químicas y físicas de los desechos radiactivos y de las cantidades de que se trate, así como de las tecnologías disponibles. El requisito de optimizar la protección radiológica y la preferencia por mantener las zonas de trabajo libres de desechos radiactivos de largo periodo de semidesintegración significa que debería considerarse prever una pequeña dependencia aislada donde los desechos se puedan almacenar en forma ordenada. Sin embargo, cuando sólo se produzcan cantidades muy pequeñas de desechos radiactivos durante muchos días de trabajo, puede ser preferible el uso de una alacena o armario local cercano al lugar de trabajo.

5.49. En general, los contenedores deberían ser adecuados para la gestión segura de los desechos específicos a que concretamente se destinen, y deberían seleccionarse en función de las características químicas y radiológicas de los desechos, su volumen, y las especificaciones de manipulación y almacenamiento. Debería evitarse la formación de presiones en los contenedores originada por la dilatación de líquidos o la generación de gases y vapores (lo que es sobretodo importante al manipular fluidos orgánicos).

5.50. El diseño de las instalaciones de almacenamiento debería permitir la inspección periódica, incluido el control de la radiación (tasa de dosis y contaminación de superficies) y el examen visual de los bultos de desechos con el fin de obtener una pronta indicación de cualquier tipo de deterioro físico o de fugas. La vida útil de los materiales de construcción debería corresponder al periodo de almacenamiento previsto y garantizar unas condiciones de permanencia que mantengan las características de los bultos de desechos durante el periodo que se proyecte almacenarlos. El diseño de la instalación de almacenamiento debería ser tal que garantice la posibilidad de retirar los desechos radiactivos de la instalación para su posterior procesamiento o disposición final, así como de ampliar la instalación en el futuro si es necesario.

Clausura de las instalaciones de procesamiento y almacenamiento de desechos

5.51. El explotador debería prestar atención a los aspectos de clausura de la instalación en todas las etapas de la vida de la misma. Esto es de particular interés en lo que respecta al diseño de la instalación y cualquier modificación ulterior. Asimismo, al comienzo de las operaciones de clausura se debería cuidar de que los controles administrativos y de gestión necesarios permanezcan vigentes o se modifiquen para adaptarlos a las nuevas circunstancias. En principio, el desmantelamiento de las instalaciones de procesamiento o de almacenamiento sólo debería comenzarse después de:

- a) Haberse retirado los desechos radiactivos y otros materiales potencialmente peligrosos;
- b) Haberse descontaminado los sistemas y componentes que se vayan a desmantelar.

Ahora bien, cabe concebir casos aceptables con respecto a la seguridad en los que no todos los desechos se hayan retirado antes de la descontaminación y el desmantelamiento.

5.52. Al prever las disposiciones para el desmantelamiento deberían considerarse seis etapas:

- Etapa 1: estudio de justificación y viabilidad para definir el objetivo de clausura y determinar si implica la retirada de todos los materiales radiactivos;
- Etapa 2: retirada de las fuentes, que consiste en retirar los desechos radiactivos y las fuentes de material radiactivo contenidos en la instalación;

- Etapa 3: descontaminación, que incluye la retirada o la reducción de la contaminación de materiales, componentes, edificios y zonas de la instalación;
- Etapa 4: desmantelamiento, esencialmente la reducción del tamaño de los objetos y componentes de la instalación para facilitar su gestión (descontaminación, manipulación) y su posterior retirada del emplazamiento;
- Etapa 5: examen final de la radiación, una exploración radiológica sistemática de la instalación clausurada para cerciorarse de que se han cumplido los objetivos de protección radiológica;
- Etapa 6: según cuál sea la finalidad de la clausura, la instalación puede quedar en condiciones de uso no irrestricto o bien de uso con restricciones y/o requisitos de vigilancia.

5.53. Se debería tener en cuenta que puede ser necesario un almacenamiento prolongado de los residuos derivados de las actividades de clausura. Las actividades de clausura podrían desarrollarse de manera combinada en función del tipo y la amplitud de la instalación de procesamiento o almacenamiento, el tipo de desechos radiactivos, y la estrategia nacional así como de la disponibilidad de instalaciones centrales de almacenamiento y de disposición final. En la Ref. [12] se presentan recomendaciones y orientación.

TRANSPORTE DE LOS DESECHOS FUERA DEL EMPLAZAMIENTO

5.54. El transporte de los desechos radiactivos está sujeto a las normativas nacionales y al Reglamento de Transporte del OIEA [9, 10].

5.55. Antes de transportar bultos de desechos radiactivos desde los emplazamientos donde se generen, debería obtenerse la necesaria confirmación de que esos desechos se aceptarán en su destino previsto. El explotador de la instalación a la cual los desechos se vayan a transportar debería especificar claramente al usuario la información relacionada con la seguridad y la documentación oficial necesaria para la aceptación.

5.56. La información que ha de facilitarse cuando se trasladen desechos debería contener como mínimo por cada uno de los bultos:

- a) Los datos completos de identificación del usuario;
- b) El número de identificación del bulto;
- c) El tipo y los detalles de diseño del bulto y la documentación sobre la descarga;

- d) La masa del bulto;
- e) Las dimensiones exteriores y/o el volumen del bulto;
- f) La tasa de dosis máxima al contacto y a un 1m (índice de transporte) y la fecha de la medición;
- g) Los resultados de las mediciones de la contaminación superficial;
- h) Los radionucleidos contenidos y la actividad contenida;
- i) El contenido en material fisiónable (por ejemplo fuentes de ^{239}Pu -Be), en su caso;
- j) La naturaleza física;
- k) El origen del desecho;
- l) Los posibles riesgos de origen patógeno, químico y otros;
- m) El número total de bidones o de contenedores de la remesa;
- n) La masa total de la remesa.

5.57. Toda la documentación correspondiente a un bulto de desechos debería ser verificada por una persona designada al efecto antes de transportarlos, para garantizar el cumplimiento de los requisitos de aceptación de los residuos y del Reglamento de Transporte del OIEA [9, 10] así como de toda reglamentación nacional de transporte.

5.58. En el caso de las fuentes selladas, el blindaje forma por lo general parte del bulto original de almacenamiento y/o transporte. Las dimensiones y el tipo de blindaje dependen de la actividad y de los radionucleidos que se vayan a transportar. Si es posible, debería utilizarse el embalaje original del fabricante para transportar las fuentes selladas gastadas o en desuso. Ahora bien, debería examinarse si el diseño del embalaje original cumple el Reglamento de Transporte del OIEA y si el bulto sigue ajustándose a sus normas de diseño. Si el bulto original ya no está disponible, la fuente sellada gastada o en desuso debería ser embalada de nuevo en conformidad con el Reglamento de Transporte del OIEA [9, 10].

ASPECTOS ESPECÍFICOS

Fuentes selladas gastadas o en desuso

5.59. Las fuentes radiactivas selladas tienen una amplia variedad de actividades, según el uso al que se destinaban originalmente: desde unos pocos megabecquerels, en el caso de las fuentes de calibración, a muchos terabecquerels, en el de las fuentes médicas de teleterapia. Si bien las fuentes selladas gastadas o en desuso pueden constituir una pequeña fracción en

comparación con el volumen de los desechos radiactivos generados por un determinado operador, es posible que tengan importancia predominante por el contenido de actividad de los desechos radiactivos que se generen. Es fundamental tener en cuenta que, aunque la potencia de salida de las fuentes de teleterapia y otras grandes fuentes de radiación en desuso puede haber descendido por debajo de los niveles útiles para sus fines iniciales, sus posibilidades de causar radiolesiones siguen siendo considerables. Cabe señalar que las fuentes de teleterapia de ^{137}Cs pueden contener compuestos de cesio en forma dispersable y que éstos pueden suponer un peligro muy importante si se rompe su contención primaria.

5.60. En relación con la gestión segura de las fuentes selladas gastadas o en desuso deberían considerarse los siguientes aspectos (véase también el apéndice V):

- a) La utilización posterior de una fuente en desuso autorizada por alguna otra entidad facultada para ello;
- b) El retorno de la fuente al proveedor;
- c) El almacenamiento temporal en su blindaje original (por ejemplo en el caso de radionucleidos de periodos de semidesintegración menores que 100 días);
- d) El acondicionamiento (por ejemplo con sobreembalaje);
- e) El almacenamiento a largo plazo (por ejemplo en una instalación de almacenamiento especial);
- f) La disposición final.

5.61. La mejor opción en cuanto a la sostenibilidad en la gestión de fuentes selladas en desuso es reciclarlas para su posterior utilización. Si esto no es posible, la opción preferente en la gestión de dichas fuentes, siempre en el caso de las que estén gastadas, es retornarlas a quien las suministró. Sin embargo, esta opción no siempre puede adoptarse con muchas fuentes antiguas, pues el suministrador inicial tal vez se desconozca o ya no exista. Para las fuentes selladas gastadas o en desuso, con periodos de semidesintegración cortos, que no excedan de unos 100 días, y de alta actividad (por ejemplo las de ^{192}Ir utilizadas en aplicaciones médicas y en gammagrafía), la opción preferente puede ser almacenarlas en condiciones de seguridad para que decaigan.

5.62. Todas las fuentes selladas gastadas o en desuso deberían acondicionarse a menos que el periodo de semidesintegración de los radionucleidos que contengan sea lo suficientemente corto como para permitir liberarlas del control reglamentario en un periodo de alrededor de dos a tres años. Las

fuentes de periodo largo se acondicionan por lo general encapsulándolas en recipientes de acero soldado para facilitar su futura gestión. Los métodos de acondicionamiento deberían ser los aprobados por el órgano regulador.

5.63. En los casos en que el explotador no disponga de instalaciones ni de conocimientos técnicos para acondicionar por encapsulación las fuentes selladas gastadas o en desuso, ni de instalaciones de almacenamiento adecuadas, debería adoptar medidas para enviar las fuentes a otra entidad que cuente con la debida licencia y con instalaciones apropiadas y adecuadas. En el caso de las fuentes selladas gastadas o en desuso que contengan ^{226}Ra , ^{241}Am y otros radionucleidos de periodo largo, deberían establecerse instalaciones centrales que se encarguen de su almacenamiento seguro a largo plazo.

5.64. La gestión de fuentes selladas en desuso puede entrañar serios peligros potenciales. Las fuentes selladas no deberían ser sometidas a compactación, desmenuzado o incineración. Como principio general, la necesidad primordial de seguridad implica que esas fuentes no deberían ser sacadas de sus contenedores primarios, ni los contenedores ser modificados físicamente. Los componentes periféricos de grandes equipos de irradiación (los que no estén directamente unidos a la fuente) deberían ser separados, someterse a monitorización radiológica y ser objeto de disposición final apropiada. Antes de emprender cualquier operación debería llevarse a cabo una evaluación de la seguridad y del impacto ambiental. En el caso de las fuentes (como las fuentes de radio gastadas) con potencial de fugas, deberían tomarse también precauciones radiológicas especiales durante la manipulación y el almacenamiento. Debería prestarse especial atención a la monitorización radiológica de las superficies y la contaminación en el aire. Estas fuentes deberían almacenarse en una zona especial con ventilación y equipamiento adecuados (véase el apéndice VI).

5.65. La consideración más importante en la gestión de fuentes selladas, una vez que carecen de utilidad, es el mantenimiento de la continuidad del control. El explotador y el órgano regulador deberían adoptar disposiciones para mantener y examinar periódicamente el estado de control de esos aparatos y materiales.

Fuentes huérfanas

5.66. Se han dado muchos casos de fuentes selladas que se adquirieron con fines específicos (como el control de procesos industriales) y de las que posteriormente se perdió la pista por haber cesado la entidad explotadora en

sus operaciones y desaparecido el control sobre las fuentes. Muchos aparatos portátiles de radiografía contienen metales pesados valiosos y resultan interesantes como chatarra. Estas son a veces las razones por las que desaparece el control reglamentario de las fuentes selladas gastadas y/o en desuso. Los Estados deberían establecer y aplicar estrategias adecuadas para estas fuentes “huérfanas”. En el apéndice VII se presenta un ejemplo de estrategia para identificar y localizar fuentes selladas gastadas y/o en desuso.

5.67. En todos los casos la estrategia debería servir para garantizar que, siempre que se descubra una fuente huérfana, se tomarán las medidas de recuperación apropiadas. Estas medidas deberían incluir la identificación de las entidades responsables y la asignación de fondos estatales para recuperar, manejar, acondicionar, almacenar y, en caso necesario, llevar a cabo la disposición final de la fuente.

Generación accidental de desechos radiactivos

5.68. La pérdida y el uso indebido de material radiactivo (como las fuentes selladas) puede dar lugar a accidentes que ocasionen la exposición a la radiación de trabajadores y miembros del público y la contaminación de locales de trabajo y tierras. Esto puede conducir a la generación imprevista y accidental de desechos radiactivos. Tanto los usuarios como los explotadores deberían tomar medidas para garantizar la existencia de los medios técnicos y organizativos, incluidas las disposiciones necesarias para imprevistos, que requieran el procesamiento y almacenamiento de este tipo de desechos radiactivos generados accidentalmente.

6. ACEPTACIÓN DE LOS DESECHOS RADIATIVOS EN LAS INSTALACIONES DE DISPOSICIÓN FINAL

6.1. La disposición final de desechos radiactivos sólo debería efectuarse en las instalaciones con licencia para aceptar el tipo de desechos en cuestión. La designación de las instalaciones nacionales de disposición final de desechos radiactivos debería efectuarse como parte de la estrategia nacional de gestión de tales desechos.

6.2. El explotador de una instalación de disposición final de desechos debería establecer requisitos y procedimientos de aceptación específicos, sujetos a la aprobación del órgano regulador, para los diferentes tipos de desechos radiactivos y bultos y debería ponerlos en conocimiento de los usuarios. Los desechos radiactivos deberían cumplir los requisitos de aceptación relativos a los siguientes puntos:

- a) Grado de procesamiento de los desechos (forma estable y resistencia del contenedor);
- b) Contenido máximo de líquido (por lo general, hasta el 1% del volumen total;
- c) Estabilidad mecánica, química, estructural, radiológica y biológica de la forma de desecho;
- d) Limitaciones de la actividad (por ejemplo, actividad por bulto);
- e) Ausencia de un potencial de criticidad;
- f) Grado en que los desechos deberían ser no pirofóricos, no explosivos y no reactivos;
- g) Posibilidad de generación de gases tóxicos;
- h) Limitación de la generación de calor.

6.3. El explotador de la instalación de disposición final también debería indicar claramente la documentación que ha de presentar quien aporte los desechos, así como los registros correspondientes de los bultos de desechos. Se debería proceder con precaución en la recepción de todos los bultos, ya que pueden no estar en conformidad con las especificaciones convenidas y la documentación conexas. La inspección debería incluir la verificación de:

- a) La cantidad de bultos y sus datos de identificación;
- b) La integridad física de los bultos;
- c) Los niveles de contaminación superficial;
- d) La tasa de dosis externa por cada bulto;
- e) La integridad de la documentación.

6.4. Cuando se reciban los bultos debería confirmarse plenamente el contenido de cada uno sin poner en peligro su integridad. Deberían registrarse la información recibida del usuario y los datos obtenidos como parte del control de recepción.

7. MANTENIMIENTO DE REGISTROS Y PRESENTACIÓN DE INFORMES

7.1. Debería establecerse un sistema adecuado y amplio de registros en las actividades de gestión de desechos radiactivos. La información sobre los inventarios de desechos debería ser correctamente registrada, actualizada (por ejemplo, si varían las características de los desechos durante el procesamiento), transmitida (entre las distintas etapas de gestión o a otra entidad responsable) y conservarse de forma que garantice el acceso futuro a la información que interese si es necesario. El usuario o el explotador responsable de la seguridad en la gestión de desechos radiactivos deberían examinar periódicamente el buen funcionamiento del sistema de registros. Deberían incluirse en el inventario los detalles relativos a la seguridad del historial de las fuentes selladas en desuso consideradas como desechos. El sistema de registros debería permitir la posibilidad de rastrear los desechos desde el punto de su recogida hasta el almacenamiento a largo plazo y/o disposición final.

7.2. Los usuarios y los explotadores deberían cuidar de que se mantengan adecuadamente los registros de datos sobre las principales características de los desechos radiactivos referentes a:

- a) La fuente de origen;
- b) La cantidad (volumen y/o masa);
- c) Las propiedades radiológicas;
- d) Las propiedades físicas y químicas;
- e) La clasificación con arreglo al sistema nacional de clasificación de desechos;
- f) Las propiedades térmicas, cuando proceda;
- g) Cualquier riesgo no radiológico de tipo químico, patógeno u otra índole que impliquen desechos, así como la concentración de los materiales peligrosos.

Los operadores deberían, en los casos en que sea necesario, proporcionar medios y cuidar de que se mantengan los documentos de proyecto del emplazamiento, los planos de ingeniería, las especificaciones y las descripciones de los procesos, así como los procedimientos operacionales y las instrucciones de operación relativas a la seguridad. También deberían documentarse satisfactoriamente los resultados de las actividades del programa de gestión cuyo fin sea prever y garantizar sistemas de seguridad, así como las actividades de explotación.

7.3. El usuario y el explotador también deberían mantener registros de la información relativa a la seguridad de la instalación en la gestión de desechos radiactivos previa a la disposición final durante las fases de puesta en servicio, funcionamiento, realización de mejoras o clausura.

7.4. El órgano regulador podrá requerir la presentación de informes periódicos. Los informes pueden incluir:

- a) Datos detallados sobre el material que se haya liberado del control reglamentario o que se haya descargado al medio ambiente;
- b) Datos detallados de las fuentes selladas gastadas y/o en desuso devueltas a los suministradores;
- c) El inventario actual de desechos radiactivos, incluso datos de identificación, origen, ubicación, características físicas y químicas y, en su caso, una relación de los desechos radiactivos retirados de la instalación;
- d) Los métodos seguidos en la evaluación de la seguridad;
- e) Los resultados de la evaluación de la seguridad;
- f) Los resultados de la monitorización radiológica de los efluentes y del medio ambiente;
- g) Los resultados de las auditorías internas y otras constataciones referentes a la seguridad en la gestión de desechos radiactivos;
- h) En su caso, las emergencias surgidas durante el procesamiento de los desechos, los métodos adoptados para hacerles frente y las enseñanzas deducidas.

7.5. Cuando se haya perdido, haya sido robado o haya desaparecido algún desecho radiactivo, o se hayan descargado efluentes por encima de los límites establecidos, el usuario y/o el explotador deberían informar sin demora al órgano regulador y presentar un informe escrito sobre la cuestión y las medidas adoptadas.

7.6. El órgano regulador podrá exigir, además, al usuario o al explotador que presente periódicamente un resumen de la situación de la generación y la gestión de desechos. En las Refs. [2, 14] se establecen los requisitos pertinentes.

8. SISTEMAS DE GESTIÓN DIRECTIVA

8.1. Los usuarios y los explotadores deberían establecer y aplicar un sistema de gestión directiva que garantice:

- a) La organización eficaz de todas las actividades relacionadas con la gestión de desechos radiactivos y el funcionamiento, mantenimiento y control de los sistemas, en conformidad con las características de diseño;
- b) El mantenimiento de los registros y el control y tramitación de los registros de la documentación relativa a la gestión de desechos radiactivos y las instalaciones conexas;
- c) El control de las actividades en materia de gestión de desechos relativos al cumplimiento de los requisitos de protección radiológica y seguridad;
- d) La elaboración y la aplicación de procedimientos, instrucciones y programas internos de gestión de desechos radiactivos para garantizar el cumplimiento de los requisitos de protección radiológica y seguridad.

8.2. La gestión directiva satisfactoria y la demostración de la calidad se consiguen estableciendo y trabajando con arreglo a un sistema directivo estructurado, ajustado a los requisitos de garantía de calidad pertinentes aprobados por el órgano regulador. Los requisitos de garantía de calidad deberían estar en consonancia con la complejidad de las actividades realizadas y con el programa de gestión de desechos. Deberían especificar la estructura directiva y sus responsabilidades, así como la capacitación necesaria, las medidas de control, las normas de actuación profesional y los métodos de evaluación. El sistema de gestión directiva debería ser tal que asegure la conformidad de las actividades de gestión de desechos radiactivos con las condiciones de la autorización y facilite el suministro de información al órgano regulador.

8.3. En la Ref. [21]² se ofrecen orientaciones sobre la composición detallada de los sistemas de gestión directiva.

² EL OIEA procede actualmente a revisar las normas en materia de gestión de la calidad publicadas en la Colección Seguridad No. 50-C/SG-Q (1996). Habrá una publicación revisada de Requisitos de Seguridad que tratará de los sistemas de gestión directiva para la protección y la seguridad en todas las instalaciones y actividades. En estas publicaciones revisadas se ha adoptado el término “sistema de gestión directiva”. Con ello se refleja la evolución del enfoque de las cuestiones de garantía de calidad y se engloban todos los aspectos de la gestión de las instalaciones. Se agrupan en un solo sistema coherente los objetivos de seguridad tecnológica, salud, medio ambiente, seguridad física, calidad y económicos. La publicación de Requisitos de Seguridad se complementará con una serie de guías de seguridad, entre ellas las que contendrán orientación temática sobre sistemas de gestión directiva, sistemas de gestión directiva para la seguridad en el tratamiento, manipulación y almacenamiento de los desechos radiactivos, y sistemas de gestión directiva para la seguridad en la disposición final de tales desechos.

8.4. Los usuarios y los explotadores deberían realizar con regularidad auditorías sobre la actuación en la práctica del sistema de gestión directiva de sus entidades. Cuando se descubran desviaciones, deberían proponerse, tomarse y registrarse las medidas correctoras apropiadas.

8.5. La auditoría debería incluir la revisión de los procedimientos para eliminar cualquier complejidad injustificada que no contribuya a la seguridad en la actividad autorizada.

Apéndice I

FUENTES TÍPICAS DE RADIACIÓN UTILIZADAS EN MEDICINA, INDUSTRIA, AGRICULTURA, INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN Y DESECHOS RADIACTIVOS QUE CONLLEVAN

GENERALIDADES

I.1. Las fuentes de radiación ionizante se producen para una amplia gama de aplicaciones en medicina, industria, agricultura, investigación, educación y otras esferas. Como resultado de la producción inicial de materiales radiactivos y sus diversos usos se generan desechos radiactivos en diversas formas. En general, este tipo de desechos comprende los materiales radiactivos que ya no son útiles y, por tanto, se consideran desechos, los objetos contaminados, como papel, guantes y fundas de plástico, tubos de recuento, utensilios de vidrio, líquidos de lavado y excreciones de pacientes a los que se han administrado radionucleidos. Además de esos desechos normales, también pueden producirse desechos de composición variable a causa de incidentes o accidentes con material radiactivo. Los riesgos inherentes a los desechos y, por tanto, las precauciones que deberían tomarse varían ampliamente en función de la aplicación, los radionucleidos y sus cantidades.

I.2. Los materiales radiactivos se utilizan en dos formas diferentes. Las fuentes selladas se usan en una forma en la que la probabilidad de dispersión del contenido radiactivo es muy baja. Las fuentes no selladas se pueden dispersar aunque el material esté combinado con un medio químico. En los cuadros 1 y 2 se presenta información sobre los principales tipos de fuentes selladas y sin sellar utilizadas en la industria y la investigación.

PRODUCCIÓN DE RADIONUCLEIDOS

I.3. Para producir radionucleidos se utilizan aceleradores de partículas y reactores nucleares, lo cual causa la generación de desechos. Los radionucleidos generados en aceleradores de partículas y en reactores se producen en materiales usados como blanco y en cápsulas, que se retiran de las instalaciones para su procesamiento y purificación. Se generan pequeños volúmenes de desechos líquidos de actividad relativamente alta y grandes volúmenes de desechos sólidos secos de baja actividad.

APLICACIONES MÉDICAS

I.4. Los materiales radiactivos se utilizan en medicina con fines de diagnóstico, terapia e investigación, en particular para:

- a) Radioensayos in vitro para el diagnóstico y la investigación clínicos con fuentes no selladas que contienen radionucleidos;
- b) Aplicaciones in vivo de radiofármacos para diagnóstico clínico, terapia e investigación médica con fuentes no selladas que contienen radionucleidos;
- c) Radioterapia con fuentes selladas que se implantan en el paciente o se introducen en un dispositivo externo.

I.5. Para el radioensayo in vitro se utilizan conjuntos o *kits* comercialmente disponibles que contienen sólo cantidades de radionucleidos del orden de kilobecquerels. El ^{125}I es el principal radionucleido, cada ensayo requiere por lo general una actividad muy reducida. Después de cada ensayo y después de la fecha de caducidad del *kit*, el material radiactivo y los artículos contaminados se consideran normalmente como desechos.

I.6. En las principales aplicaciones in vivo, el tipo de radiofármaco que se utiliza y la cantidad que se administra al paciente dependen del órgano concreto que se ha de estudiar o tratar. De los radionucleidos empleados para el trabajo con imágenes, el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es el más común, con un periodo de semidesintegración de 6 h. Se extrae normalmente en un ambiente estéril, de un generador que contiene un núcleo de ^{99}Mo , suministrado comercialmente. Dado que la vida media del ^{99}Mo es de 66 h, los generadores deben ser sustituidos aproximadamente a intervalos semanales. Los desechos resultantes de la preparación de los agentes marcadores con $^{99\text{m}}\text{Tc}$, como viales descartados, jeringas y torundas, pueden estar contaminados por el radionucleido. Sin embargo, su radiactividad decae rápidamente debido al corto periodo de semidesintegración, por lo que pueden ser liberados del control reglamentario y eliminados como no radiactivos.

I.7. Los radionucleidos como el ^{131}I , ^{32}P , ^{90}Y y ^{89}Sr se administran a los pacientes con fines terapéuticos en actividades que van de 200 MBq a 11 GBq. En las aplicaciones terapéuticas, debería prestarse la adecuada atención a los contaminantes radiactivos contenidos en los desechos originados por los pacientes, como las excreciones y la ropa sucia.

I.8. En el tratamiento de pacientes se utilizan fuentes selladas que contienen otros radionucleidos, por ejemplo ^{60}Co , ^{192}Ir y ^{137}Cs : como implantes temporales, para terapia con haz externo y para la irradiación de productos sanguíneos.

CUADRO 1. RADIONUCLEIDOS TÍPICOS SIN SELLAR UTILIZADOS EN MEDICINA E INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA

Radio-nucleido	Periodo de semides-integración	Aplicación principal	Actividad típica por aplicación	Características del desecho
^3H	12,3 a	Marcaje radiactivo, investigación biológica, síntesis orgánica	Hasta 50 GBq	Solventes, sólido, líquido
^{11}C	20,4 m	Tomografía por emisión de positrones estudios de ventilación pulmonar	Hasta 2 GBq	Sólido, líquido
^{14}C	5730 a	Diagnóstico médico Investigación biológica Marcaje	Menos de 1 MBq Hasta 50 GBq Hasta 50 GBq	(CO ₂ exhalado) Sólido, líquido Solvente
^{15}O	122 s	Tomografía por emisión de positrones estudios de ventilación pulmonar	Hasta 2 GBq	Sólido, líquido
^{18}F	1,8 h	Tomografía por emisión de positrones	Hasta 500 MBq	Sólido, líquido
^{24}Na	15,0 h	Investigación biológica	Hasta 5 GBq	Líquido
^{32}P	14,3 d	Medicina nuclear terapéutica	Hasta 200 MBq	Sólido, líquido
^{33}P	25,4 d	Investigación biológica	Hasta 50 MBq	
^{35}S	87,4 d	Investigación médica y biológica	Hasta 5 GBq	Sólido, líquido
^{36}Cl	$3,01 \times 10^5$ a	Investigación biológica	Hasta 5 MBq	Gaseoso, sólido, líquido
^{45}Ca	163 d	Investigación biológica	Hasta 100 MBq	Principalmente sólido, algún líquido
^{46}Sc	83,8 d	Investigación médica y biológica	Hasta 500 MBq	Sólido, líquido
^{51}Cr	27,7 d	Medicina nuclear diagnóstica, investigación biológica	Hasta 5 MBq Hasta 100 MBq	Sólido Principalmente efluente líquido
^{57}Co	271,7 d	Medicina nuclear diagnóstica, investigación biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, efluente líquido
^{58}Co	70,8 d		—	
^{59}Fe	44,5 d	Medicina nuclear diagnóstica, investigación biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, principalmente líquido
^{67}Ga	3,3 d	Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 200 MBq	Sólido, líquido

CUADRO 1. RADIONUCLEIDOS TÍPICOS SIN SELLAR UTILIZADOS EN MEDICINA E INVESTIGACIÓN BIOLÓGICA (cont.)

Radio-nucleido	Periodo de semides-integración	Aplicación principal	Actividad típica por aplicación	Características del desecho
⁶⁸ Ga	68,2 m	Tomografía por emisión de positrones	Hasta 2 GBq	Sólido, líquido
⁷⁵ Se	120 d	Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 10 MBq	Sólido, líquido
^{81m} Kr	13,3 s	Estudios de ventilación pulmonar	Hasta 6 GBq	Gaseoso
⁸⁵ Sr	64,8 d	Investigación biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, líquido
⁸⁶ Rb	18,7 d	Investigación médica y biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, líquido
^{82m} Rb	6,2 h	Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 50 MBq	Sólido, líquido
⁸⁹ Sr	50,5 d	Medicina nuclear terapéutica	Hasta 300 MBq	Sólido, líquido
⁹⁰ Y	2,7 d	Medicina nuclear terapéutica, investigación médica y biológica	Hasta 300 MBq	Sólido, líquido
⁹⁵ Nb	35,0 d	Investigación médica y biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, líquido
^{99m} Tc	6,0 h	Medicina nuclear diagnóstica, investigación biológica, generadores de nucleidos	Hasta 100 GBq	Sólido, líquido
¹¹¹ In	2,8 d	Mediciones clínicas, investigación biológica	Hasta 50 MBq	Sólido, líquido
¹²³ I	13,2 h	Investigación médica y biológica, medicina nuclear diagnóstica	Hasta 500 MBq	Sólido, líquido, ocasionalmente vapor
¹²⁵ I	60,1 d			
¹³¹ I	8,0 d	Medicina nuclear terapéutica	Hasta 11 GBq	
¹¹³ Sn	155,0 d	Investigación médica y biológica	Hasta 50 GBq	Sólido, líquido
¹³³ Xe	5,3 d	Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 400 MBq	Gaseoso, sólido
¹⁵³ Sm	1,9 d	Medicina nuclear terapéutica	Hasta 8 GBq	Sólido, líquido
¹⁶⁹ Er	9,3 d	Medicina nuclear terapéutica, medicina nuclear diagnóstica	Hasta 500 MBq	Sólido, líquido
¹⁹⁸ Au	2,7 d	Medicina nuclear terapéutica, medicina nuclear diagnóstica	Hasta 500 MB	Sólido, líquido
²⁰¹ Tl	3,0 d	Medicina nuclear diagnóstica	Hasta 200 MBq	Sólido, líquido
²⁰³ Hg	46,6 d	Investigación biológica	Hasta 5 MBq	Sólido, líquido

CUADRO 2. FUENTES SELLADAS UTILIZADAS EN MEDICINA, INDUSTRIA E INVESTIGACIÓN

Aplicación	Radionucleido	Periodo de semidesintegración	Actividad de la fuente	Observaciones
Densitometría ósea	²⁴¹ Am	433,0 a	1–10 GBq	Unidades móviles
	¹⁵³ Gd	244,0 d	1–40 GBq	
	¹²⁵ I	60,1 d	1–10 GBq	
	²³⁹ Pu–Be	2,41 × 10 ⁴ a		
Braquiterapia manual	¹⁹⁸ Au	2,7 d	50–500 MBq	Pequeñas fuentes portátiles; supresión progresiva
	¹³⁷ Cs	30,0 a	30–300 MBq	
	²²⁶ Ra	1600 a	50–500 MBq	
	³² P	14,3 d		
	⁶⁰ Co	5,3 a	50–1500 MBq	
	⁹⁰ Sr	29,1 a	50–1500 MBq	
	¹⁰³ Pd	17,0 a	50–1500 MBq	
	¹²⁵ I	60,1 d	200–1500 MBq	
	¹⁹² Ir	74,0 d		
	¹⁰⁶ Ru	1,01 a		
Carga diferida remota braquiterapia	¹³⁷ Cs	30,0 a	0,03–10 MBq	Unidades móviles
	¹⁹² Ir	74,0 d	200 TBq	
Teleterapia	⁶⁰ Co	5,3 a	50–1000 TBq	Instalaciones fijas; supresión progresiva, algunas unidades almacenadas en espera de disposición final
	¹³⁷ Cs	30,0 a	500 TBq	
Irradiación total de la sangre	⁶⁰ Co	5,3 a	50–1000 TBq	Instalaciones fijas
	¹³⁷ Cs	30,0 a	2–100 TBq	
Investigación	⁶⁰ Co	5,3 a	Hasta 750 TBq	Instalaciones fijas
	¹³⁷ Cs	30,0 a	Hasta 13 TBq	
Esterilización	⁶⁰ Co	5,3 a	Hasta 40 PBq	Instalaciones fijas
Fuentes de calibración, marcadores anatómicos, fuentes utilizadas como patrones en instrumentación	⁶³ Ni	100 a	<4MBq	Instalaciones fijas en instrumentación o fuentes móviles
	¹³⁷ Cs	30,0 a	<4MBq	
	⁵⁷ Co	271,7 d	Hasta 400 MBq	
	²²⁶ Ra	1600 a	<10 MBq	
	¹⁴⁷ Pm	2,62 a	<4 MBq	
	³⁶ Cl	3,01 x 10 ⁵ a	<4 MBq	
	¹²⁹ I	1,57 x 10 ⁷ a	<4 MBq	

CUADRO 2. FUENTES SELLADAS UTILIZADAS EN MEDICINA, INDUSTRIA E INVESTIGACIÓN (cont.)

Aplicación	Radionucleido	Periodo de semidesintegración	Actividad de la fuente	Observaciones
Medición de espesores, medición de densidades, perfiles de pozos, detectores de humedad, fluorescencia de rayos X	²² Na	2,6 a		Equipo móvil
	⁵⁵ Fe	2,6 a	Hasta 5 GBq	
	⁸⁵ Kr	10,7 a	Hasta 100 GBq	
	⁹⁰ Sr	28,1 a	Hasta 10 GBq	Fijo en el equipo
	¹⁰⁹ Cd	1,27 a		
	¹³⁴ Cs	2,1 a	Hasta 20 GBq	
	¹³⁷ Cs	30,0 a	Hasta 10 GBq	
	¹⁴⁷ Pm	2,62 a	Hasta 2 GBq	
	²⁴¹ Am-Be	433 a	Hasta 500 GBq	
Eliminación estática	²³⁸ Pu	87,7 a	Hasta 5 GBq	
	²⁵² Cf	2,6 a	Hasta 10 GBq	
Eliminación estática	²¹⁰ Po	138 d	Hasta 20 GBq	Equipo móvil
Detectores de captura electrónica	³ H	12,3 a	Hasta 10 TBq	Equipo móvil
	⁶³ Ni	100 a	Hasta 50 GBq	
Radiografía industrial	¹⁶⁹ Yb	32 d	Hasta 1 TBq	Equipo móvil
	¹⁶⁰ Tm	128,6 d	Hasta 1 TBq	
	⁶⁰ Co	5,3 a	Hasta 15 TBq	
	⁷⁵ Se	120 d	Hasta 2 TBq	
	¹⁹² Ir	74,0 d	Hasta 5 TBq	

APLICACIONES EN INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

I.9. La investigación con ayuda de radionucleidos puede abarcar las actividades siguientes:

- a) La producción y el marcaje de compuestos que originan desechos que contienen actividades del orden de megabecquerels de radionucleidos como el ³H, ¹²⁵I, ¹⁴C ó ³²P. La serie de radionucleidos suele ser bastante reducida y el contenido de actividad de los compuestos marcados es bajo.
- b) El estudio de las vías metabólicas, toxicológicas o ambientales que sigue una amplia gama de compuestos como medicamentos, pesticidas, fertilizantes y minerales. El trabajo puede guardar relación con temas como la fabricación de nuevos medicamentos, la producción agrícola y estudios ambientales. También puede incluir animales, lo que origina excreciones, cadáveres y mullidos de camas radiactivos. Los radionucleidos más comúnmente empleados en los estudios de toxicología de muchos

compuestos químicos y sus vías metabólicas son el ^{14}C y el tritio, ya que pueden ser fácilmente incorporados en moléculas complejas, mientras que el ^{33}P es ampliamente utilizado como trazador en genética.

- c) El desarrollo de procesos y aplicaciones clínicos de compuestos preparados (por ejemplo productos farmacéuticos) para estudios relativos a seres humanos así como a animales.
- d) Investigaciones sobre el ciclo del combustible nuclear que no se llevan a cabo en una instalación del ciclo de dicho combustible. Las investigaciones por lo general se realizan en laboratorios, con el empleo de una pequeña cantidad de material fisiónable (uranio y plutonio) y productos de fisión de periodo relativamente largo, principalmente ^{137}Cs y ^{90}Sr . Los desechos sólidos generados incluyen materiales y líquidos que contienen productos de fisión y material fisiónable.
- e) La investigación básica en los campos de la física, la ciencia de los materiales y la biología.

APLICACIONES INDUSTRIALES Y DE OTROS TIPOS

I.10. Las fuentes de radiación selladas se utilizan ampliamente para diversas aplicaciones industriales, entre ellas ensayos no destructivos (radiografías y mediciones) y la esterilización de alimentos y otros productos. Las fuentes selladas también se utilizan para el control de procesos y para la calibración de equipos de laboratorio. El radionucleido dominante está presente en forma muy concentrada; la actividad total depende de la aplicación y la naturaleza de la emisión de las fuentes. Las fuentes selladas se consideran desecho cuando han decaído hasta el punto de que ya no son útiles para su fin original, porque el aparato en el que están alojadas se haya quedado obsoleto, o porque las comprobaciones acostumbradas indiquen que la fuente tiene fugas.

I.11. Un ejemplo de la utilización industrial de fuentes no selladas como trazadores es el estudio del desgaste y la corrosión de componentes esenciales en instalaciones y maquinaria, tales como el desgaste de componentes de motores, del recubrimiento de hornos y de superficies metálicas. Las fuentes no selladas también tienen aplicaciones en el control de las depuradoras de aguas residuales y el estudio del comportamiento de los emplazamientos de los vertederos de basuras, el movimiento de las aguas subterráneas y la dispersión y dilución de aguas de enfriamiento o de los efluentes gaseosos. En la mayoría de los casos se utilizan trazadores radiactivos de periodo corto. Las aplicaciones industriales con técnicas de trazadores radioisotópicos son generalmente de mayor magnitud que las aplicaciones en laboratorio.

I.12. También se usan fuentes selladas y no selladas en la enseñanza y en la instrucción para la planificación frente a emergencias y la defensa civil. Todas estas aplicaciones generan desechos cuya actividad es normalmente muy baja.

TIPOS DE DESECHOS

I.13. Los desechos radiactivos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. Los líquidos pueden subdividirse en acuosos y orgánicos, y los sólidos en compresibles o no compresibles y combustibles o no combustibles.

Desechos radiactivos acuosos

I.14. En las instalaciones de producción de radioisótopos, los desechos acuosos son el resultado del tratamiento químico, que consiste principalmente en un ataque con ácidos y la disolución de los materiales del blanco. Los desechos, que son de pequeño volumen, están normalmente contaminados con impurezas de radionucleidos. Según los procesos químicos adoptados, los residuos acuosos pueden ser químicamente muy reactivos.

I.15. En los hospitales, los tipos de desechos acuosos dependen de las técnicas utilizadas en medicina nuclear terapéutica y de diagnóstico. La mayoría de los radionucleidos usados con fines diagnósticos son de periodo muy corto (periodo de semidesintegración inferior a 10 días).

I.16. Los estudios de las vías metabólicas pueden comprender animales de laboratorio. Éstos pueden utilizarse en distintas etapas del trabajo, dando lugar a excreciones, sangre, cadáveres y mullidos de camas radiactivos. Algunas de estas materias pueden pasar a formar parte de la corriente de desechos acuosos, creando así un riesgo biológico potencial. En algunos casos, se utilizan radionucleidos de periodo más bien largo para marcar microesferas en estos estudios. Las microesferas son sólidas pero pueden quedar fácilmente suspendidas en desechos líquidos. Los cadáveres de animales pequeños también pueden ser macerados a una forma líquida, adecuada para su descarga como desecho de base acuosa

I.17. Los desechos acuosos se originan también en análisis radioquímicos por activación neutrónica. La composición química de estos desechos puede ser sumamente variable pero los radionucleidos son a menudo de periodo relativamente corto. En los pequeños centros de investigación nuclear, los desechos líquidos pueden estar contaminados tanto con radionucleidos de

periodo corto como con radionucleidos de periodo largo como el ^{14}C y el tritio. No es probable que el volumen de desechos líquidos producidos por los distintos usuarios sea elevado. Sin embargo, los desechos resultantes de los procesos de radiomarcaje pueden tener una concentración de actividad relativamente alta y en general deberían mantenerse apartados de las soluciones de lavado con actividad inferior. Es poco probable que se utilicen radionucleidos emisores alfa (salvo compuestos de uranio y de torio) o emisores gamma de periodo relativamente largo como el ^{137}Cs y ^{60}Co .

I.18. Sea cual sea la esfera de trabajo, puede ser necesario limpiar, descontaminar y/o desinfectar los equipos y las instalaciones contaminados, lo que genera desechos radiactivos acuosos que pueden entrañar riesgos biológicos. Estos desechos pueden contener grandes cantidades de agentes complejantes utilizados para solubilizar los contaminantes radiactivos.

Desechos radiactivos líquidos orgánicos

I.19. Los desechos radiactivos líquidos orgánicos consisten por lo general en aceites de bombas de vacío, aceites lubricantes y fluidos hidráulicos, soluciones de centelleo de laboratorios analíticos, solventes procedentes de la investigación sobre extracción por solventes y refinado de uranio, así como diversos solventes orgánicos. La mayoría de los desechos de este tipo proviene de trabajos en centros de investigación nuclear. Según sea su origen, los desechos contienen cantidades relativamente pequeñas de radionucleidos emisores beta y gamma. El volumen de los desechos líquidos orgánicos producidos a consecuencia de las aplicaciones nucleares de radionucleidos es en general pequeño comparado con el de los desechos radiactivos de otras clases.

I.20. Los líquidos orgánicos de centelleo son normalmente resultado de mediciones de emisores de baja energía beta y gamma en materiales consistentes en compuestos orgánicos aromáticos y la muestra que se investiga. Los radionucleidos más comunes contenidos en los desechos son el tritio y el ^{14}C , siendo menos corrientes el ^{125}I y ^{35}S .

I.21. En distintas operaciones pueden producirse una serie de solventes orgánicos no miscibles en agua, entre ellos tetracloruro de carbono, tricloroetano y percloroetileno. Cuando se utilizan pequeñas cantidades de solventes orgánicos miscibles en agua (como la acetona o el alcohol), se tratan normalmente como si fueran desechos acuosos.

I.22. En los centros de investigación nuclear, el solvente más comúnmente usado para la extracción de uranio y plutonio es el fosfato de tributilo. Para el proceso de extracción el fosfato de tributilo se diluye, por lo general con un líquido como la parafina. Pueden emplearse otros compuestos orgánicos, entre ellos compuestos tri- y amino-terciarios, para la extracción de metales pesados, aunque los volúmenes son generalmente muy pequeños en comparación con el volumen de fosfato de tributilo.

Desechos radiactivos sólidos

I.23. La mayoría de los desechos sólidos producidos en los laboratorios médicos y de investigación pertenecen a la categoría de desechos combustibles. Este grupo incluye tejidos, torundas, papel, cartón, plásticos, guantes de goma, ropa protectora y máscaras, cadáveres de animales y material biológico.

I.24. Entre los desechos no combustibles figuran utensilios de vidrio, chatarra y desechos procedentes de la clausura de instalaciones en que se usaron radionucleidos.

I.25. Cabe señalar que estas categorías no se excluyen mutuamente. Esta clasificación, que debería aplicarse para la segregación de los desechos sólidos, se basa en el grado de reducción del volumen que cabe razonablemente prever se logrará por compactación o incineración. Los desechos generados en las actividades médicas, industriales, de investigación y de enseñanza son predominantemente combustibles y también pueden catalogarse como compresibles, siempre que no haya riesgo biológico.

I.26. El componente de los desechos sólidos consistente en basura comprende ropa de protección, láminas y bolsas de plástico, guantes y esteras de goma, cubrezapatos, trapos de limpieza y toallas. Gran parte de este material está sólo ligeramente contaminado. Es posible que no presente una contaminación medible pero se clasifica en principio como desecho radiactivo por la mera razón de haberse producido en zonas controladas. Tal vez sea posible liberarlo del control y eliminarlo como desecho industrial [11]. Sin embargo, algunos componentes pueden estar considerablemente contaminados, en particular si han sido afectados directamente por procesos o experimentos realizados con fuentes radiactivas no selladas de alta actividad.

I.27. La actividad de las fuentes selladas en desuso puede variar mucho, lo que depende de su uso inicial: oscila entre unos pocos kilobecquerels en las fuentes empleadas para comprobaciones y muchos terabecquerels en las empleadas

para teleterapia. Si bien las fuentes selladas en desuso son generalmente una pequeña fracción del volumen de los desechos radiactivos generados por un explotador determinado, pueden ser predominantes en cuanto al contenido de actividad de los desechos generados. Cabe señalar que, aunque la potencia de la radiación emitida por las fuentes de teleterapia y otras grandes fuentes puede haber caído por debajo de los niveles de utilidad, su potencial de causar lesiones sigue siendo considerable. Conviene destacar en particular, que las fuentes de teleterapia de ^{137}Cs suelen contener compuestos de cesio en forma dispersable y representan un grave peligro en caso de romperse su contención primaria.

I.28. Tanto en las actividades médicas como en las de investigación pueden generarse materiales y equipos contaminados consistentes en componentes de dispositivos experimentales desmantelados, o en implantes quirúrgicos. Pueden ser de vidrio, metal o plástico, y su actividad varía ampliamente en función de su uso (véanse los cuadros I y II)

I.29. Los materiales activados pueden ser, entre otros, materiales de blindaje y envases de isótopos provenientes de la producción de éstos o del ensayo de materiales en los reactores de investigación. Es de suponer que en su actividad predomine la del ^{60}Co y otras impurezas activadas en el acero. En el caso de la producción con ciclotrón el nucleido preponderante es el ^{65}Zn , producido a partir del cobre. La actividad es función tanto de la irradiación como del periodo de decaimiento. Es improbable que tales objetos sean combustibles o comprimibles.

I.30. Los cadáveres de animales presentan concentraciones de actividad que varían con la especie de animal y los procedimientos experimentales. Los cadáveres pueden originar riesgos biológicos y químicos si se permite su descomposición en grado significativo antes de la disposición final. Los cadáveres contaminados con radionucleidos de periodo largo requieren una consideración particularmente minuciosa, especialmente cuando no sea posible la incineración como opción de disposición final.

I.31. La clausura de instalaciones de gestión preparatorias de desechos para su disposición final puede dar lugar a desechos sólidos que incluyan materiales de construcción, componentes de equipos y tierra. Las características principales típicas de los desechos de desmantelamiento son el tamaño relativamente grande de los objetos desechados y la presencia de radionucleidos de periodo largo.

Desechos radiactivos gaseosos o suspendidos en el aire

I.32. Pueden generarse desechos radiactivos gaseosos o suspendidos en el aire como resultado de una amplia gama de aplicaciones nucleares. Una aplicación médica concreta es la consistente en el uso de gases radiactivos como el ^{133}Xe , $^{81\text{m}}\text{Kr}$ o $^{99\text{m}}\text{Tc}$ y emisores de positrones de periodo corto como el ^{18}F y ^{11}C para estudios de la ventilación pulmonar.

Apéndice II

CATÁLOGO PARA DETECTAR FALLOS EN LAS EVALUACIONES DE LA SEGURIDAD Y DEL IMPACTO AMBIENTAL

CUADRO 3. CATÁLOGO PARA DETECTAR FALLOS QUE DELINEA UN PLAN SIMPLIFICADO PARA EVALUAR LA SEGURIDAD Y EL IMPACTO AMBIENTAL	
Etapas del proceso	Detallar todas las etapas y las interfaces del proceso de desechos
Riesgos	Determinar los riesgos de cada fase e interfaz en condiciones normales o anormales
Medidas de control	
Tecnológicas	Aportar información sobre las medidas de control tecnológicas. Como ejemplos, aunque sin carácter limitativo, cabe citar: dispositivos de protección, contención, blindaje, aislamiento térmico y/o eléctrico, dispositivos y/o sistemas de seguridad
Administrativas	Aportar información sobre las medidas de control administrativo. Como ejemplos, aunque sin carácter limitativo, cabe citar: instrucciones de funcionamiento, procedimientos, límites, condiciones, requisitos
Riesgo mitigado	Cuantificar el riesgo mitigado (controlado) para cada fase en condiciones normales y anormales, cuenta habida de las medidas de control
Disposiciones para casos imprevistos	Aportar información sobre las disposiciones para casos imprevistos. Como ejemplos, aunque sin carácter limitativo, cabe citar: equipo de protección radiológica y personal, dispositivos de corte de corriente eléctrica, disposiciones de seguridad externas pero coadyuvantes

Apéndice III

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIACTIVOS SÓLIDOS

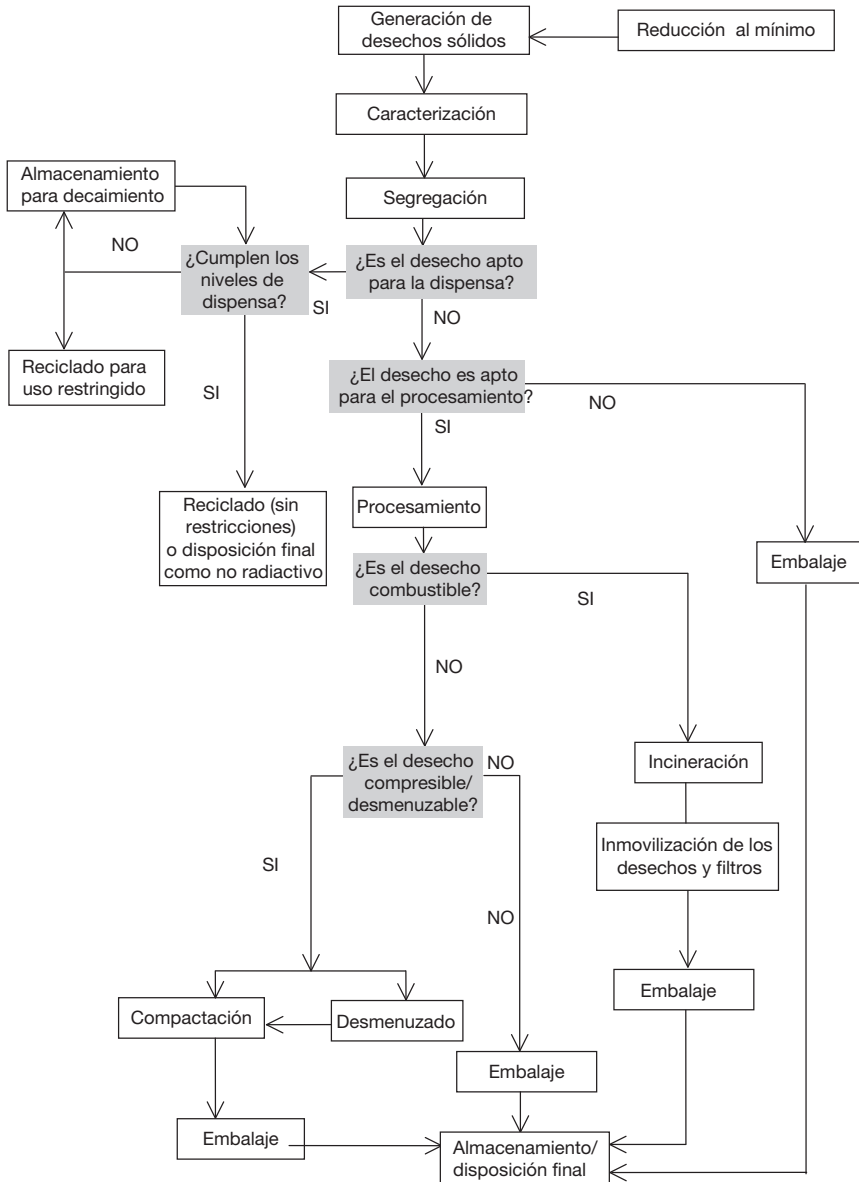


FIG. 1. Diagrama de operaciones que representa las etapas de la gestión de desechos radiactivos sólidos

Apéndice IV

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS BIOLÓGICOS

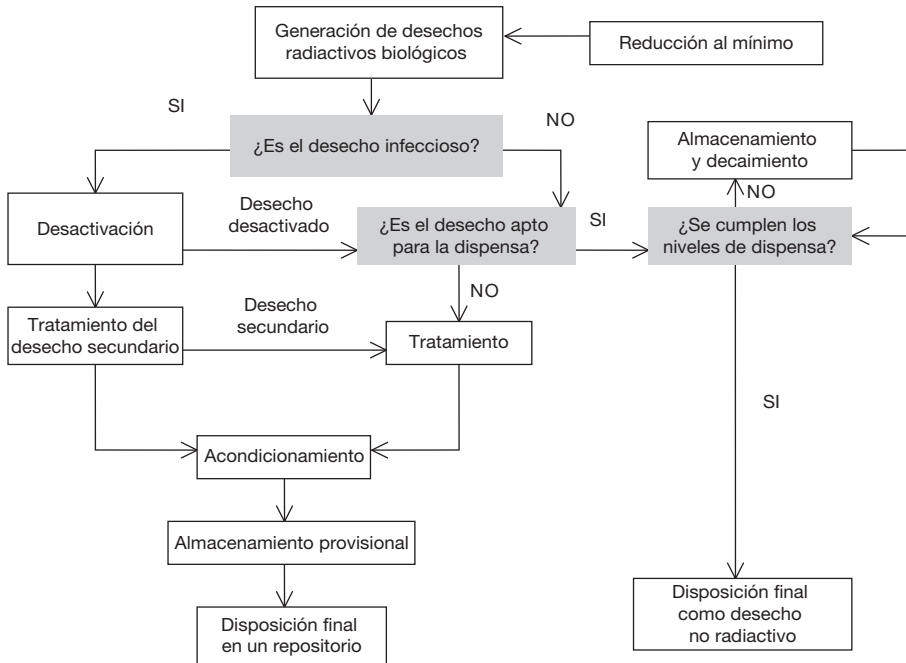


FIG. 2. Diagrama de operaciones que representa las etapas principales de la gestión de desechos radiactivos biológicos

Apéndice V

DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA GESTIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS EN DESUSO

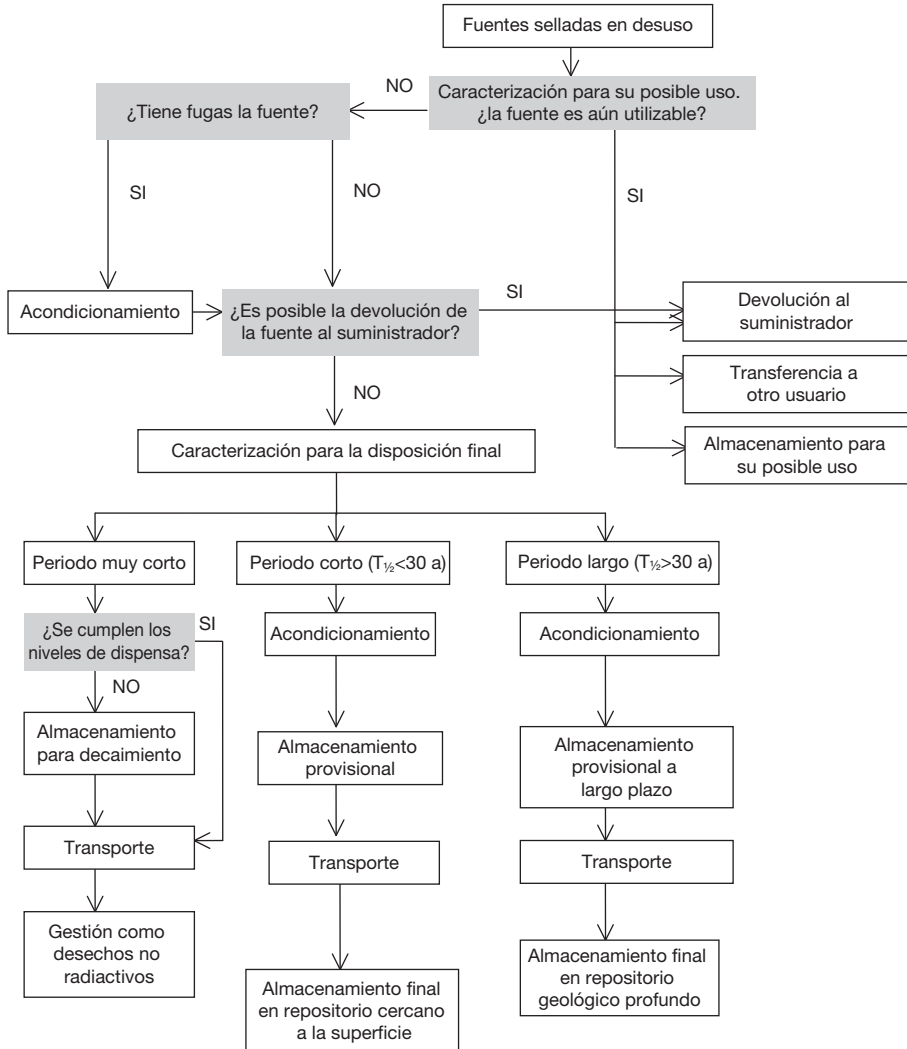


FIG. 3. Diagrama de operaciones que representa las etapas principales de la gestión de fuentes selladas en desuso

Apéndice VI

FUENTES DE RADIACIÓN EN DESUSO Y GASTADAS
E INDICACIÓN DE TÉCNICAS PARA SU GESTIÓN

CUADRO 4. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO FRECUENTES Y DE LAS TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA SU GESTIÓN SEGURA

Fuentes		Categorías		Equipo de manejo	Monitori- zación	Embalaje	Contenedor de almace- namiento
Isótopo		Periodo de semidesin- tegración	Aplicaciones				
α	Baja actividad						
^{241}Am	432,2 a	Detectores de humo	Pararrayos	Eliminadores de electricidad estática	Cajas de guantes	Guantes de látex	Detección α Bidón interior de acero inoxidable con hormigón
^{210}Po	138,38 d	Eliminadores de electricidad estática				Guantes de látex	
^{238}Pu	87,74 a	Analizadores de fluorescencia de rayos X			Cajas de guantes		Detección α Contenedor hermético Bidón con hormigón
^{239}Pu	24 181 a	Detectores de humo			Cajas de guantes		Contenedor hermético

CUADRO 4. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO FRECUENTES Y DE LAS TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA SU GESTIÓN SEGURA (cont.)

Categorías			Equipo de manejo	Monitori- zación	Embalaje	Contenedor de almace- namiento
Fuentes	Isótopo	Periodo de semidesin- tegración	Aplicaciones			
β , γ	Baja actividad	Largo o corto periodo de semidesin-tegración				
	^{241}Am	432,2 a	Calibradores	Analizadores de fluorescen- cia de rayos X	Densitometría	Pinzas
	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	28,2 a	Calibradores	Braquiterapia		Guantes de goma
	^{147}Pm	2,6 a	Calibradores			Guantes de goma
	^{63}Ni	100 a	Detectores de captura electrónica			Guantes de goma
	^{109}Cd	462,6 d	Analizadores de fluorescencia de rayos X			Guantes de goma
	^{60}Co	5,3 a	Calibradores	Calibración	Pantalla blindada	Pinzas
				Detección β , γ	Recipiente blindado con plomo	Bidón con hormigón y plomo

CUADRO 4. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO FRECUENTES Y DE LAS TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA SU GESTIÓN SEGURA (cont.)

		Categorías		Equipo de manejo		Monitori- zación		Embalaje		Contenedor de almace- namiento	
Fuentes	Isótopo	Periodo de semidesin- tegración		Aplicaciones							
		30,2 a	Calibradores	Calibración	Pantalla blindada	Pinzas	Recipiente blindado con plomo	Bidón con hormigón y plomo			
β, γ	¹³⁷ Cs	Alta actividad	Corto periodo de semides- integración								
	¹⁹² Ir	73,8 d	Gammagrafía	Celda caliente de plomo	Manipula- dores	Detección β, γ	Recipiente blindado con plomo	Bidón con hormigón y plomo			
	¹⁷⁰ Tm	134 d	Gammagrafía	Pantalla blindada	Pinzas		Cesta de acero inoxidable				
	¹⁶⁹ Yb	32 d	Gammagrafía	Pantalla blindada	Pinzas						
	⁷⁵ Se	120 d	Gammagrafía	Pantalla blindada	Pinzas						

CUADRO 4. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO FRECUENTES Y DE LAS TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA SU GESTIÓN SEGURA (cont.)

Fuentes		Isótopo	Periodo de semidesintegración	Categorías	Aplicaciones	Equipo de manejo	Monitorización	Embalaje	Contenedor de almacenamiento	
β, γ	Alta actividad	⁶⁰ Co	5,3 a	Largo periodo de semidesintegración	Gammaografía	Celda caliente de plomo	Manipuladores	Detección β, γ	Contenedor de plomo	Bidón de 400 l con hormigón
						Celda caliente de hormigón	Manipuladores		Contenedor de plomo	o contenedor de hormigón
						Celda caliente de hormigón	Manipuladores		Específico, ha de definirse	Específico, ha de definirse
						Celda caliente de hormigón	Manipuladores		Específico, ha de definirse	Específico, ha de definirse
Especiales	¹³⁷ Cs	30,2 a	Irradiadores	Eliminadores de electricidad estática	Pararrayos	Cajas de guantes	Pinzas	Detección γ	Contenedor hermético	Contenedor con blindaje de plomo

CUADRO 4. EJEMPLOS DE FUENTES SELLADAS EN DESUSO FRECUENTES Y DE LAS TÉCNICAS Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA SU GESTIÓN SEGURA (cont.)

Fuentes		Categorías		Equipo de manejo		Monitorización		Embalaje		Contenedor de almacenamiento	
		Periodo de semidesintegración		Aplicaciones							
De neutrones	⁸⁵ Kr	10,7 a	Calibradores	Pararrayos	Cajas de guantes	Pinzas	Control del aire				
	³ H	12,3 a	Detectores de captura electrónica	Analizadores de fluorescencia de rayos X	Cajas de guantes	Pinzas	Control del ³ H	Bidón interior de acero inoxidable			
De neutrones	²⁴¹ Am/ ^{Be}	432,2 a	Detectores de humedad	Perfiles de pozos de petróleo	Protección contra neutrones		Detección de neutrones				Protección contra neutrones
	²⁵² Cf	2,65 a	Detectores de humedad	Perfiles de pozos de petróleo	Braquiterapia	Protección contra neutrones					
	²²⁶ Ra/ ^{Be}	1600 a	Detectores de humedad	Perfiles de pozos de petróleo		Protección contra neutrones					
De neutrones	²³⁸ Pu/ ^{Be}	87,74 a	Detectores de humedad	Instrumentos de calibración	Protección contra neutrones						

Apéndice VII

ESTRATEGIA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE RADIACIÓN SELLADAS GASTADAS Y/O EN DESUSO

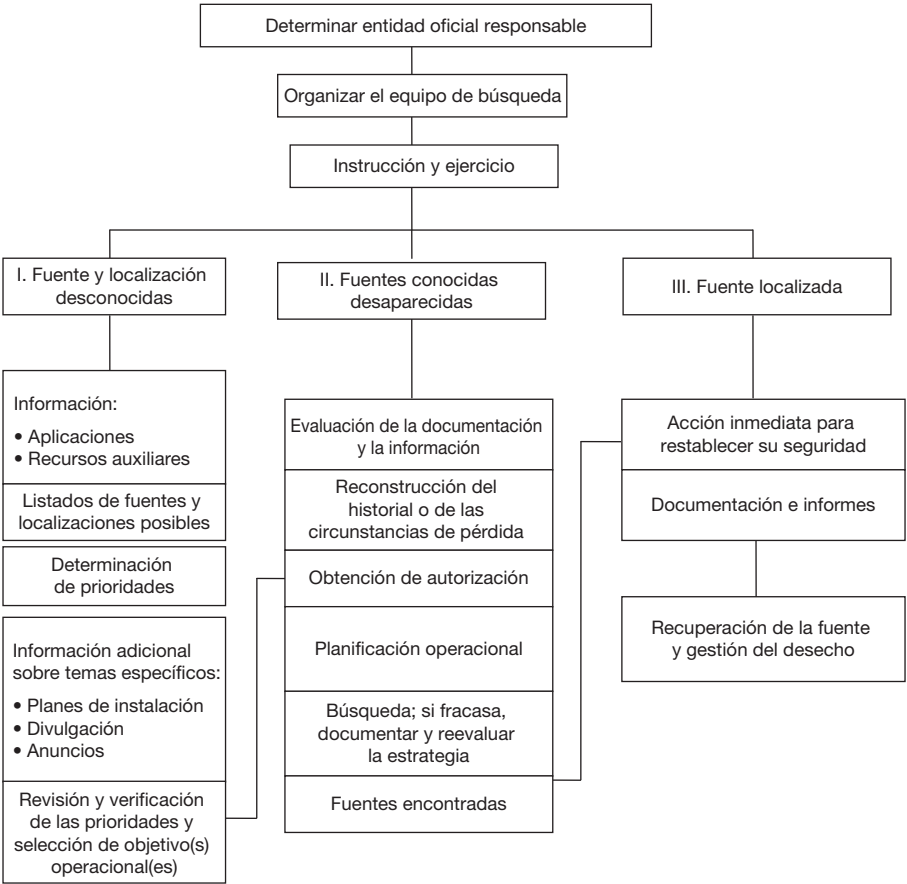


FIG. 4. Ejemplo de estrategia para la identificación y localización de fuentes radiactivas selladas gastadas y/o en desuso

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios para la gestión de desechos radiactivos, Colección Seguridad N° 111-F, OIEA, Viena (1996).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, incluida la clausura, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Tammiku, OIEA, Viena (1998).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1988).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, OIEA, Viena (1996).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Predisposal Management of Low and Intermediate Level Radioactive Waste, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.5, OIEA, Viena (2003).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-1.2, OIEA, Viena (2002).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 1996 Edition (As amended 2003), Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual Explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-G-1.1 (ST-2), OIEA, Viena (2008).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control reglamentario de las descargas radiactivas al medio ambiente, Colección Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.3, OIEA, Viena (2000).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.2, OIEA, Viena, (1999).
- [13] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).

- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Classification of Radioactive Waste, Colección Seguridad N° 111-G-1.1, OIEA, Viena (1994).
- [16] GRUPO INTERNACIONAL ASESOR EN SEGURIDAD NUCLEAR, Cultura de la Seguridad, Colección INSAG N° 4, OIEA, Viena (1999).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.2, OIEA, Viena (2004).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [20] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and other Nuclear Installations: Code and Safety Guides Q1-Q14, Colección Seguridad N° 50-C/SG-Q, OIEA, Viena (1996).

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y LA REVISIÓN

Abe, M.	Instituto Japonés de Investigaciones sobre la Energía Atómica (Japón)
Batandjieva, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Burcl, R.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Carlsson, S.	Hospital de Uddevalla (Suecia)
Conlon, P.	Comisión de Control de la Energía Atómica (Canadá)
De Pahissa, M.	Comisión Nacional de Energía Atómica (Argentina)
El-Sourougy, M.	Organismo de Energía Atómica (Egipto)
Fitzpatrick, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Griffiths, C.	Hospital Royal Hallamshire (Reino Unido)
Holub, J.	Instituto de Investigación, Producción y Aplicación de Radioisótopos (República Checa)
Linsley, G.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Martens, B. R.	Oficina Federal de Protección Radiológica (Alemania)
Metcalf, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Miaw, S. T. W.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Ojovan, M.	Asociación Científica e Industrial 'Radon' (Federación de Rusia)
Piccone, J. M.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Risoluti, P.	Ente para las Nuevas Tecnologías, la Energía y el Medio Ambiente (Italia)

Roberts, P.	AEA Technology plc (Reino Unido)
Sjöblom, K. L.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Tsyplenkov, V. S.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Weedon, C.J.	Agencia de Medio Ambiente (Reino Unido)

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

El asterisco () indica que se trata de un miembro corresponsal. Los miembros corresponsales reciben los proyectos de documento para que formulen sus observaciones, además de otros documentos, pero por lo general no participan en las reuniones.*

Comisión sobre Normas de Seguridad

Alemania: Majer, D.; *Argentina:* Oliveira, A.; *Australia:* Loy, J.; *Brasil:* Souza de Assis, A.; *Canadá:* Pereira, J. K.; *China:* Li, G.; *Corea, República de:* Eun, Y.-S.; *Dinamarca:* Ulbak, K.; *Egipto:* Abdel-Hamid, S.B.; *España:* Azuara, J.A.; *Estados Unidos de América:* Virgilio, M.; *Federación de Rusia:* Malyshev, A.B.; *Francia:* Lacoste, A.-C.; *India:* Sukhatme, S. P.; *Japón:* Abe, K.; *Pakistán:* Hashimi, J.; *Reino Unido:* Williams, L. G. (Presidente); *República Checa:* Drabova, D.; *Suecia:* Holm, L.-E.; *Suiza:* Schmocker, U.; *Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE:* Shimomura, K.; *Comisión Europea:* Waeterloos, C.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica:* Holm, L.-E.; *OIEA:* Karbassioun, A.

Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

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

Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

Alemania: Landfermann, H.; *Argentina:* Rojkind, R. H. A.; *Australia:* Melbourne, A.; **Belarús:* Rydleviski, L.; *Bélgica:* Smeesters, P.; *Brasil:* Amaral, E.; *Canadá:* Bundy, K.; *China:* Yang, H.; *Corea, República de:* Kim, C. W.; *Cuba:* Betancourt Hernández, A.; *Dinamarca:* Ulbak, K.; **Egipto:* Hanna, M.; *Eslovaquia:* Jurina, V.; *España:* Amor, I.; *Estados Unidos de América:* Paperiello, C.; *Federación de Rusia:* Kutkov, V.; *Finlandia:* Markkanen, M.; *Francia:* Piechowski, J.; *Hungría:* Koblinger, L.; *India:* Sharma, D. N.; *Irlanda:* Colgan, T.; *Israel:* Laichter, Y.; *Italia:* Sgrilli, E.; *Japón:* Yamaguchi, J.; **Madagascar:* Andriambololona, R.; **México:* Delgado Guardado, J. L.; *Noruega:* Saxebol, G.; **Países Bajos:* Zuur, C.; **Perú:* Medina Gironzini, E.; *Polonia:* Merta, A.; *Reino Unido:* Robinson, I. (Presidente); *República Checa:* Drabova, D.; *Sudáfrica:* Olivier, J. H. I.; *Suecia:* Hofvander, P.; *Moberg, L.*; *Suiza:* Pfeiffer, H. J.; **Tailandia:* Pongpat, P.; *Turquía:* Uslu, I.; *Ucrania:* Likhtarev, I. A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Lazo, T.; *Asociación Internacional de Protección Radiológica:* Webb, G.; *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:* Gentner, N.; *Oficina Internacional del Trabajo:* Niu, S.; *OIEA:* Boal, T. (Coordinador); *Organización Internacional de Normalización:* Perrin, M.; *Organización Mundial de la Salud:* Carr, Z.; *Organización Panamericana de la Salud:* Jimenez, P.

Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

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

(Coordinador); *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, P.; *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.

Comité sobre Normas de Seguridad en los Desechos

Alemania: von Dobschütz, P.; *Argentina*: Siraky, G.; *Australia*: Williams, G.; *Bélgica*: Baekelandt, L. (Presidente); **Belarús*: Rozdyalovskaya, L.; *Brasil*: Xavier, A.; **Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Ferch, R.; *China*: Fan, Z.; *Corea*, *Republica de*: Song, W.; *Cuba*: Benitez, J.; **Dinamarca*: Øhlenschlaeger, M.; **Egipto*: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; *Eslovaquia*: Konecny, L.; *España*: López de la Higuera, J.; Ruiz López, C.; *Estados Unidos de América*: Greeves, J.; Wallo, A.; *Federación de Rusia*: Poluektov, P. P.; *Finlandia*: Ruokola, E.; *Francia*: Averous, J.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Raj, K.; *Irlanda*: Pollard, D.; *Israel*: Avraham, D.; *Italia*: Dionisi, M.; *Japón*: Irie, K.; **Madagascar*: Andriambololona, R.; *México*: Aguirre Gómez, J.; Delgado Guardado, J.; **Noruega*: Sorlie, A.; *Países Bajos*: Selling, H.; *Pakistán*: Hussain, M.; **Perú*: Gutierrez, M.; *Reino Unido*: Wilson, C.; *Sudáfrica*: Pather, T.; *Suecia*: Wingefors, S.; *Suiza*: Zurkinden, A.; **Tailandia*: Wangcharoenroong, B.; *Turquía*: Osmanlioglu, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Comisión Europea*: Taylor, D.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinador); *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.

Seguridad mediante las normas internacionales

“Las normas del OIEA se han convertido en un elemento clave del régimen mundial de seguridad destinado a facilitar los usos beneficiosos de las tecnologías nucleares o relacionadas con las radiaciones.

Las normas de seguridad del OIEA se están aplicando en la producción de energía nucleoelectrica, así como en la medicina, la industria, la agricultura, las investigaciones y la educación para asegurar la protección adecuada de las personas y el medio ambiente.”

Mohamed ElBaradei
Director General del OIEA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA

ISBN 92-0-300706-7
ISSN 1020-5837