

Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

Seguridad de los generadores de radiación y de las fuentes radiactivas selladas

Guía de seguridad

No. RS-G-1.10



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

SEGURIDAD DE LOS
GENERADORES DE RADIACIÓN
Y DE LAS FUENTES
RADIATIVAS SELLADAS

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
BANGLADESH	INDIA	POLONIA
BELARÚS	INDONESIA	PORTUGAL
BÉLGICA	IRÁN, REPÚBLICA ISLÁMICA DEL	QATAR
BELICE	IRAQ	REINO UNIDO DE GRAN BRETAÑA E IRLANDA DEL NORTE
BENIN	IRLANDA	REPÚBLICA ÁRABE SIRIA
BOLIVIA	ISLANDIA	REPÚBLICA CENTROAFRICANA
BOSNIA Y HERZEGOVINA	ISLAS MARSHALL	REPÚBLICA CHECA
BOTSWANA	ISRAEL	REPÚBLICA DE MOLDOVA
BRASIL	ITALIA	REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO
BULGARIA	JAMAHIRIYA ÁRABE LIBIA	REPÚBLICA DOMINICANA
BURKINA FASO	JAMAICA	REPÚBLICA UNIDA DE TANZANÍA
CAMERÚN	JAPÓN	RUMANIA
CANADÁ	JORDANIA	SANTA SEDE
CHAD	KAZAJSTÁN	SENEGAL
CHILE	KENYA	SERBIA
CHINA	KIRGUISTÁN	SEYCHELLES
CHIPRE	KUWAIT	SIERRA LEONA
COLOMBIA	LETONIA	SINGAPUR
COREA, REPÚBLICA DE	LÍBANO	SRI LANKA
COSTA RICA	LIBERIA	SUDÁFRICA
CÔTE D'IVOIRE	LIECHTENSTEIN	SUDÁN
CROACIA	LITUANIA	SUECIA
CUBA	LUXEMBURGO	SUIZA
DINAMARCA	MADAGASCAR	TAILANDIA
ECUADOR	MALASIA	TAYIKISTÁN
EGIPTO	MALAWI	TÚNEZ
EL SALVADOR	MALÍ	TURQUÍA
EMIRATOS ÁRABES UNIDOS	MALTA	UCRANIA
ERITREA	MARRUECOS	UGANDA
ESLOVAQUIA	MAURICIO	URUGUAY
ESLOVENIA	MAURITANIA, REPÚBLICA ISLÁMICA DE	UZBEKISTÁN
ESPAÑA	MÉXICO	VENEZUELA, REPÚBLICA BOLIVARIANA DE
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA	MÓNACO	VIET NAM
ESTONIA	MONGOLIA	YEMEN
ETIOPÍA	MONTENEGRO	ZAMBIA
EX REPÚBLICA YUGOSLAVA DE MACEDONIA	MOZAMBIQUE	ZIMBABWE
FEDERACIÓN DE RUSIA	MYANMAR	
	NAMIBIA	
	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° RS-G-1.10

SEGURIDAD DE LOS
GENERADORES DE RADIACIÓN
Y DE LAS FUENTES
RADIATIVAS SELLADAS
GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2009

DERECHOS DE AUTOR

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

Dependencia de Promoción y Venta de Publicaciones
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
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
Junio de 2009

**SEGURIDAD DE LOS GENERADORES DE RADIACIÓN
Y DE LAS FUENTES RADIATIVAS SELLADAS**

OIEA, VIENA, 2009

STI/PUB/1258

ISBN 978-92-0-307409-4

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.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
	Antecedentes (1.1–1.3)	1
	Objetivo (1.4)	2
	Alcance (1.5–1.7)	3
	Estructura (1.8).....	4
2.	INFRAESTRUCTURA REGLAMENTARIA Y RESPONSABILIDADES	5
	Infraestructura de seguridad radiológica (2.1–2.2)	5
	Responsabilidades del órgano regulador (2.3–2.5)	6
	Responsabilidades de las partes principales (2.6–2.17).....	7
3.	EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD.....	11
	Evaluaciones de la seguridad (3.1–3.25)	11
	Interacciones entre la seguridad tecnológica y la seguridad física (3.26–3.27)	20
4.	DISEÑO, FABRICACIÓN Y USO DE LAS FUENTES DE RADIACIÓN Y DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES (4.1–4.2).....	21
	Diseño y fabricación de la fuente (4.3–4.18).....	22
	Utilización de las fuentes y diseño y funcionamiento de las instalaciones (4.19–4.26)	28
	Transporte de las fuentes radiactivas (4.27–4.34)	31
5.	CLAUSURA DE LAS INSTALACIONES Y GESTIÓN DE LAS FUENTES EN DESUSO (5.1–5.17).....	33
	REFERENCIAS	39

ANEXO I: FACTORES RELACIONADOS CON EL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA: EJEMPLO DE UNA UNIDAD DE IRRADIACIÓN INDUSTRIAL DE GRAN TAMAÑO	43
Referencias del anexo I	50
ANEXO II: EVALUACIÓN PROBABILISTA DE LA SEGURIDAD	51
Referencias del anexo II	58
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN	59
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA	61

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. Las fuentes de radiación tienen amplia aplicación en la medicina, la industria, la investigación, la agricultura y la enseñanza. Estas fuentes deben ser gestionadas en condiciones de seguridad tecnológica y física. Si se utilizan incorrectamente o en condiciones inseguras, las fuentes radiactivas pueden causar la muerte, graves lesiones y pérdidas económicas, como ha demostrado la experiencia en muchas zonas del mundo. El OIEA ha publicado varios informes en los que se examinan las consecuencias para la salud humana de los accidentes que entrañan la pérdida de control o el uso indebido de las fuentes [I-14]. También pueden ser grandes las pérdidas económicas, sobre todo como resultado de accidentes que causan una contaminación radiactiva generalizada, como los de Juárez (México) en 1983 [15] y Goiânia (Brasil), en 1987 [1].

1.2. La Junta de Gobernadores del OIEA ha analizado la seguridad tecnológica y física de las fuentes de radiación en varias ocasiones. Además, en la resolución GC(42)/RES/12 relativa a la seguridad tecnológica de las fuentes de radiación y la seguridad física de los materiales radiactivos, aprobada el 25 de septiembre de 1998, la Conferencia General, entre otras cosas, alentó a todos los gobiernos “a que adopten medidas para asegurar que dentro de sus territorios existan sistemas nacionales efectivos de control para garantizar la seguridad de las fuentes de radiación y de los materiales radiactivos”.

1.3. El OIEA ha editado varias publicaciones en las que destaca la necesidad de los sistemas nacionales destinados a garantizar la seguridad de las fuentes en sus Estados Miembros:

- La anterior publicación de Nociones fundamentales de seguridad titulada Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación¹, que ha sido ahora reemplazada [16], recoge los principios de protección radiológica, incluida la necesidad de que los gobiernos establezcan un marco jurídico para el control reglamentario de las actividades relacionadas con fuentes de radiación.

¹ ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 120, OIEA, Viena (1996).

- Las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (las NBS) [17] en las que se exige a las partes responsables, sobre todo los titulares registrados, titulares de licencias y empleadores, que establezcan un sistema de control para las fuentes de radiación con el fin de garantizar su seguridad.
- La publicación de Requisitos de seguridad titulada Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte (los Requisitos relativos a la infraestructura legal y estatal) [18] estipula las responsabilidades legislativas y gubernamentales necesarias para crear una infraestructura reglamentaria nacional.
- El Código de Conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas (el Código de Conducta) [19] exige además a los Estados que lo adopten que tomen medidas apropiadas que garanticen que las fuentes se gestionen en condiciones de seguridad tecnológica y se protejan atendiendo a los requisitos de seguridad física. Según el Código de Conducta, los Estados deberían aplicar un sistema reglamentario nacional eficaz que, entre otras cosas, reduzca al mínimo la probabilidad de la pérdida del control de las fuentes.

La presente guía de seguridad apoya la aplicación de los requisitos de las NBS y los Requisitos relativos a la infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, y está en consonancia con las expectativas asociadas a la seguridad tecnológica y física derivadas del Código de Conducta.

OBJETIVO

1.4. El objetivo de la presente guía de seguridad es ayudar a los Estados Miembros a poner en práctica los requisitos reglamentarios relacionados con las fuentes de radiación para garantizar su seguridad. Con ese fin, esta guía de seguridad proporciona orientación sobre las responsabilidades inherentes a la seguridad dentro de la infraestructura legal y estatal, sobre las metodologías necesarias para realizar las evaluaciones de la seguridad y sobre el diseño específico y las medidas operacionales que deberían adoptarse para garantizar la seguridad durante todo el tiempo de vida de una fuente de radiación.

ALCANCE

1.5. La presente guía de seguridad está destinada a los órganos reguladores² y usuarios³, con objeto de brindarles orientación acerca de la seguridad tecnológica de los generadores de radiación y las fuentes radiactivas selladas. Se aplica a todas las prácticas, salvo a aquéllas que reúnen las condiciones para la exención de los requisitos de las NBS (Ref. [17], párrafos 2.17 y 2.18). Las orientaciones se aplican en general a las medidas que deberán adoptarse y a las cuestiones que habrán de examinar las personas jurídicas autorizadas⁴ durante todo el tiempo de vida de una fuente de radiación⁵.

1.6. Todas las instalaciones en que las fuentes de radiación deben gestionarse con seguridad se examinan en esta guía de seguridad, incluso las que contienen las fuentes⁶ mencionadas en el cuadro 1 de la sección 3. Las medidas de seguridad recomendadas también son aplicables a las fuentes radiactivas en las instalaciones nucleares o las instalaciones de disposición final de desechos radiactivos, aunque se reconoce que estas instalaciones deberían en cualquier caso proporcionar un alto grado de seguridad para las fuentes.

² El término “órgano regulador” se utiliza para abarcar todos los tipos de infraestructura reglamentaria, incluso los sistemas que tienen facultades únicas o múltiples a nivel nacional solamente y los sistemas en que la autoridad está distribuida en todas las jurisdicciones regionales, provinciales o estatales pertinentes. “Órgano regulador” es sinónimo del término “autoridad reguladora” que fue empleado en algunas publicaciones anteriores del OIEA, como las NBS.

³ En la presente guía de seguridad, el término “usuario” se utiliza a veces como alternativa de “parte principal” (véase párrafo 2.6) para evitar la torpeza de la expresión. “Parte principal” siempre se emplea cuando es objeto de una recomendación (una declaración basada en el empleo de la palabra “debería”).

⁴ “Persona jurídica” es una persona u organización reconocida como entidad para los fines jurídicos (véanse las NBS [17]).

⁵ Cuando la palabra “fuente” se utiliza en la presente guía de seguridad sin calificativo, o en el término “fuente de radiación”, debe interpretarse que significa un generador de radiación o una fuente radiactiva, según el contexto.

⁶ Las fuentes de radiación suelen construirse en dispositivos que dirigen, filtran, y dispersan la radiación emitida o la afectan de otra manera. Esta guía de seguridad abarca tales dispositivos en la medida en que la fuente forma parte integrante de un dispositivo; la seguridad de los dispositivos se aborda en forma más general en otras publicaciones del OIEA. A este respecto, en la presente guía de seguridad por “fuente” se entiende “fuente y dispositivo”, según corresponda.

1.7. Las orientaciones sobre cuestiones de seguridad física relacionadas con la prevención y detección de actos dolosos, y la respuesta a ellos, rebasan el marco de la presente guía de seguridad y se tratan en otras publicaciones del OIEA (véanse por ejemplo, Refs. [19, 20]⁷). Con todo, la necesidad de mantener las fuentes en condiciones de seguridad física para garantizar la seguridad tecnológica resulta indispensable, y esta guía de seguridad se refiere a los requisitos de las NBS vinculados a la seguridad física de las fuentes en este contexto, en particular para prevenir el acceso no autorizado a las fuentes y su utilización⁸. La seguridad tecnológica y la seguridad física de los materiales nucleares⁹, el control de las exposiciones médicas, la recuperación del control de las fuentes huérfanas¹⁰ y los procedimientos aplicados a raíz de un accidente también trascienden el ámbito de la presente guía de seguridad.

ESTRUCTURA

1.8. En la presente guía de seguridad se formulan orientaciones sobre las infraestructuras y responsabilidades nacionales. Las orientaciones sobre la ejecución de una evaluación de la seguridad se encuentran en la sección 3, y en la sección 4 figuran orientaciones sobre el diseño, fabricación y uso de las fuentes de radiación y el diseño y funcionamiento de las instalaciones. Algunas de las recomendaciones de esta guía de seguridad se aplican a la manipulación en condiciones de seguridad tecnológica y física de las fuentes de radiación en las diversas etapas de su tiempo de vida, y en la sección 5 se presenta algún otro examen de las cuestiones que surgen en las etapas finales de su tiempo de vida.

⁷ La referencia [20] sólo contiene orientaciones provisionales. En la Colección de Seguridad Física Nuclear figuran otras publicaciones vinculadas a cuestiones de seguridad física nuclear.

⁸ La frase “seguridad física en favor de la seguridad tecnológica” se utiliza en la presente guía de seguridad para transmitir este significado limitado.

⁹ El término “materiales nucleares” se define en la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares [21] como “el plutonio, excepto aquél cuyo contenido en el isótopo plutonio 238 exceda del 80%, el uranio 233, el uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233, el uranio que contenga la mezcla de isótopos presentes en su estado natural, pero no en forma de mineral o de residuos de mineral, y cualquier material que contenga uno o varios de los materiales citados”.

¹⁰ El término ‘fuente huérfana’ se refiere a una fuente radiactiva que no está sometida a control reglamentario, ya sea porque nunca lo ha estado o porque ha sido abandonada, perdida, mal colocada, robada o trasladada de otro modo sin la debida autorización.

En el anexo I figura un ejemplo de los factores que deberían considerarse al establecer un sistema de seguridad de las fuentes, y en el anexo II se presenta una descripción de algunas técnicas de evaluación probabilista de la seguridad.

2. INFRAESTRUCTURA REGLAMENTARIA Y RESPONSABILIDADES

INFRAESTRUCTURA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

2.1. En las NBS [17] y en los Requisitos relativos a la infraestructura legal y estatal [18] se considera que los elementos de una infraestructura nacional son los siguientes: la legislación y los reglamentos; un órgano regulador facultado para autorizar e inspeccionar las actividades reguladas y poner en vigor la legislación y los reglamentos; y suficientes recursos y un número adecuado de personas capacitadas para aplicar el sistema reglamentario. El órgano regulador debería estar dotado de las facultades y los recursos necesarios para cumplir estas funciones y ser efectivamente independiente de los departamentos y organismos estatales encargados de la promoción y el desarrollo de las prácticas reguladas. El órgano regulador también debería ser independiente de los titulares registrados, titulares de licencias, diseñadores y constructores de las fuentes de radiación utilizadas en las prácticas.

2.2. La legislación y los reglamentos deberían comprender los requisitos estipulados en las NBS [17]. Las NBS (en el párrafo 2.13 c)) disponen que las personas que soliciten una autorización hagan una evaluación de la naturaleza, magnitud y probabilidad de las exposiciones atribuidas a la fuente y adopten todas las medidas necesarias para la protección y seguridad de los trabajadores y del público. Las NBS (en el párrafo 2.13 d)) también estipulan que si el potencial de una exposición es superior a cualquier nivel especificado por la autoridad reguladora, se efectuará y presentará a esta autoridad una evaluación de la seguridad como parte componente de la solicitud. Las NBS (Ref. [17], párrafo 2.37) exigen además que deberán realizarse evaluaciones de la seguridad relativas a las medidas de protección y seguridad aplicables a las fuentes adscritas a las prácticas en fases diferentes, en particular en las de selección del emplazamiento, diseño, fabricación, construcción, montaje, puesta en servicio, explotación, mantenimiento y clausura. En el apéndice IV de las NBS pueden consultarse requisitos detallados asociados a los aspectos

prácticos de la seguridad de las fuentes de radiación, y en publicaciones complementarias de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA se formulan otras orientaciones; por ejemplo, en la guía de seguridad sobre el control reglamentario de las fuentes de radiación [22].

RESPONSABILIDADES DEL ÓRGANO REGULADOR

2.3. En los Requisitos relativos a la infraestructura legal y estatal [18] se establecen los requisitos referentes a las responsabilidades de los gobiernos en la creación de un marco reglamentario nacional para el control de las fuentes de radiación. Las responsabilidades del órgano regulador se explican de manera pormenorizada en las NBS [17] y en la Ref. [22]. El órgano regulador debería adoptar un enfoque graduado en relación con la reglamentación de la seguridad para garantizar la utilización eficiente y eficaz de los recursos: cuanto mayor sea el riesgo asociado con la fuente, más estrictos deberían ser los requisitos reglamentarios aplicables a esa fuente. Algunas fuentes y equipos pueden quedar exentos de los requisitos de las NBS (incluidos los requisitos de notificación, registro y concesión de licencias) si cumplen los criterios de exención que figuran en la Adenda 1.

2.4. El órgano regulador debería exigir que quienes traten de poseer y utilizar fuentes de radiación soliciten una autorización, y debería exigir, según proceda, a la persona que procure la autorización que realice una evaluación de la seguridad. La sección 3 contiene más orientaciones sobre la evaluación de la seguridad.

2.5. El órgano regulador:

- a) Debería mantener registros apropiados de los titulares de autorizaciones para poseer o utilizar fuentes de radiación, con una clara indicación de los tipos de fuentes que hayan sido autorizados a poseer o utilizar.
- b) Debería mantener un registro actualizado de cada una de las fuentes — como mínimo de las fuentes radiactivas de las categorías 1 y 2 (véase el cuadro 1) — incluso registros apropiados de la transferencia y disposición final de las fuentes al terminar una autorización.
- c) Debería establecer sistemas para asegurar, cuando sea factible, que las fuentes radiactivas sean identificables y localizables. Cuando no sea posible una continua identificación, como puede suceder, por ejemplo, en el caso de algunas fuentes separables o segmentables, como las fuentes en forma de cables utilizadas en la braquiterapia, el órgano regulador

debería velar por que se establezcan procesos para identificar y localizar el historial de uso y la situación de las fuentes.

- d) Debería garantizar que los principios y criterios reglamentarios sigan siendo adecuados y válidos y se tengan en cuenta la experiencia operacional y las normas y recomendaciones internacionalmente aprobadas, según proceda.
- e) Debería aplicar un programa de inspección para verificar el mantenimiento de las instalaciones y programas con el fin de gestionar debidamente las fuentes de radiación.

RESPONSABILIDADES DE LAS PARTES PRINCIPALES

2.6. Los titulares registrados y los titulares de licencias son las partes principales¹¹ a quienes incumbe la responsabilidad de establecer y aplicar las medidas técnicas y normativas necesarias para garantizar la seguridad de las fuentes para las cuales han recibido autorización. Estas disposiciones relacionadas con la seguridad y la protección deberían estar documentadas. Los titulares registrados y los titulares de licencias pueden nombrar a otras personas para que realicen acciones y tareas asociadas a estas responsabilidades, pero en ellos sigue recayendo la responsabilidad de las acciones y tareas. Deberían especificar las personas encargadas de asegurar que las fuentes se empleen de conformidad con las recomendaciones formuladas en la presente guía de seguridad y en los requisitos de las NBS, o con los reglamentos nacionales.

2.7. Las partes principales deberían garantizar que:

- a) Las fuentes se utilicen con arreglo a las autorizaciones recibidas a ese efecto.
- b) El acceso a las fuentes se controle con medidas administrativas y técnicas apropiadas para la categoría de fuente. Tales medidas incluyen barreras físicas y cierres y desenganches de los que sólo tengan llave las personas autorizadas.
- c) Cuando las fuentes no se estén utilizando, se almacenen rápidamente en la forma aprobada. En particular, deberían evitarse disposiciones temporales cuando una fuente no vaya a utilizarse por algún tiempo. El

¹¹ En las NBS [17] se indica (párrafo 1.6) que: “Las partes principales fundamentalmente responsables de la aplicación de las Normas deberán ser: a) los titulares registrados o los titulares licenciados; y b) los empleadores.”

almacenamiento debería estar en conformidad con los requisitos establecidos para la categoría de la fuente.

- d) Cualquier transferencia de fuentes a otra persona se documente y que esa persona sea autorizada con arreglo a los requisitos reglamentarios aplicables para recibir la fuente transferida.
- e) Se establezcan disposiciones financieras en consonancia con los requisitos reglamentarios para la gestión segura de las fuentes en desuso.
- f) Las fuentes se expidan y reciban con arreglo a los requisitos reglamentarios.

2.8. Las partes principales y las personas autorizadas designadas por las partes principales deberían estar dispuestas a ayudar a las autoridades estatales o las autoridades locales encargadas de hacer cumplir la ley a recuperar las fuentes perdidas o robadas que sean propiedad del titular registrado o el titular de la licencia.

Personas con responsabilidades asignadas en relación con las fuentes

2.9. Una persona a quien la parte principal haya asignado responsabilidades debería tener los conocimientos especializados y las facultades para garantizar que se cumplan las medidas de seguridad de las fuentes recomendadas en la presente guía de seguridad.

2.10. La persona responsable debería garantizar que todo el personal que utilice las fuentes o tenga acceso a ellas esté autorizado y reciba la capacitación correcta en la manipulación de esas fuentes en consonancia con sus obligaciones.

Seguridad física en favor de la seguridad tecnológica

2.11. Las NBS (Ref. [17], párrafo 2.34) exigen específicamente que se adopten medidas para prevenir daños a las fuentes de radiación o su posesión no autorizada velando por que su control no se ceda o se transfiera indebidamente y por que se realicen inventarios periódicos de las fuentes móviles.

“Las fuentes se deberán guardar en condiciones de seguridad que impidan su robo o deterioro y que impidan a toda persona jurídica no autorizada realizar alguna de las acciones especificadas en las ‘Obligaciones generales’ relativas a las prácticas, estipuladas por las Normas (véanse los párrafos 2.7 a 2.9), velándose por que:

- a) no se ceda el control de una fuente sin dar cumplimiento a todos los requisitos aplicables especificados en la inscripción en registro o la licencia y sin cursar una comunicación inmediata a la autoridad reguladora, y cuando proceda a la Organización patrocinadora competente, informando sobre toda fuente descontrolada, perdida, robada o desaparecida;
- b) no se efectúe la transferencia de una fuente a no ser que el destinatario posea una autorización válida;
- c) se haga un inventario periódico de las fuentes movibles, a intervalos apropiados, para cerciorarse de que permanecen en los lugares asignados y en condiciones de seguridad.”

2.12. Las medidas de “seguridad física en favor de la seguridad tecnológica” deberían, como mínimo, servir de control para la protección contra daños, pérdida o robo. Debería procurarse asesoramiento de expertos en seguridad física para aplicar medidas que sean apropiadas para cada fuente y estén en conformidad con los requisitos de las autoridades encargadas de la seguridad física. En otras publicaciones del OIEA se pueden obtener más orientaciones (p. ej., Refs. [19, 20]).

Responsabilidad con respecto a las fuentes — inventarios y registros

2.13. Se deberían conservar registros de todas las fuentes. Los inventarios deberían actualizarse periódicamente en consonancia con la categorización de las fuentes o con otros requisitos reglamentarios aplicables. Los registros deberían mantenerse en lugares seguros.

2.14. Además del mantenimiento y actualización sistemáticos, los registros de las fuentes deberían actualizarse siempre que haya un cambio (p. ej., de lugar) y, en particular, cuando se transfieran las fuentes. Los registros de fuentes radiactivas deberían incluir los siguientes particulares:

- a) Número de serie o identificador único;
- b) Número y referencia del tipo de fabricante en que pueden encontrarse los detalles de construcción;
- c) Radionucleido (símbolo elemental y número isotópico);
- d) Actividad en una fecha especificada;
- e) Forma física;
- f) Propiedades físicas y químicas, incluso las emisiones principales (α , β , γ , n);
- g) Ubicación de la fuente;

- h) Cuando no se desprenda de otro modo de los registros anteriores, detalles del dispositivo o equipo con que se utiliza la fuente, si resulta indispensable para la seguridad;
- i) Cuando corresponda, un historial de uso de la fuente (p. ej., un diario de operaciones de manipulación de la fuente);
- j) Detalles de la recepción o transferencia o disposición final de la fuente.

Con respecto a los generadores de rayos X, los descriptores de fuentes c), d), e) y f) *supra* deberían ser sustituidos con detalles del potencial máximo del tubo (en kVp) y de la corriente máxima nominal del haz (en mA). En cuanto a los aceleradores de partículas, todos los parámetros importantes para la seguridad deberían registrarse, según las disposiciones establecidas por el órgano regulador.

Situación y sistema de notificación de sucesos

2.15. La parte principal debería velar por que se aplique un procedimiento para comunicar periódicamente al órgano regulador los detalles de la situación de la fuente y la información que debe notificarse.

2.16. Además de los requisitos de notificación normales relacionados con las cuestiones de seguridad, los informes de sucesos insólitos que puedan afectar a la seguridad deberían elaborarse con prontitud, y los sucesos deberían investigarse. La legislación nacional debería estipular que se realicen y comuniquen esas investigaciones, y que el órgano regulador posea facultades para efectuar una investigación de los sucesos importantes que tengan consecuencias para la seguridad. Los sucesos insólitos que han de comunicarse al órgano regulador, y según proceda, a las autoridades de seguridad física, pueden ser, entre otros, los siguientes:

- a) Pérdida de control de una fuente de radiación, incluido robo;
- b) Exposiciones imprevistas a una fuente;
- c) Acceso no autorizado a una fuente o uso no autorizado de ella;
- d) Fallos de equipos que contienen fuentes que puedan tener consecuencias para la seguridad tecnológica o la seguridad física;
- e) Descubrimiento de una fuente no contabilizada.

2.17. Estos informes deberían permitir al órgano regulador localizar las fuentes, así como deberían ayudar a identificar y recuperar las fuentes perdidas.

3. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

EVALUACIONES DE LA SEGURIDAD

3.1. Los titulares registrados o los titulares de licencias deberían llevar a cabo evaluaciones de la seguridad de las fuentes de las que se encargan. La evaluación inicial de la seguridad es el instrumento primordial para determinar las medidas de protección que deberían establecerse, y deberían considerarse todos los parámetros relacionados con la protección radiológica y la seguridad de las fuentes. Para confirmar que las medidas de seguridad siguen cumpliendo las normas fijadas e indicar la necesidad de mejoras cuando sea necesario se realizan evaluaciones subsiguientes de la seguridad. En las NBS (Ref. [17], párrafo 2.37) se expone que:

“Deberán efectuarse evaluaciones de la seguridad relativas a las medidas de protección y seguridad aplicables a las fuentes adscritas a las prácticas en fases diferentes, en particular en las de selección del emplazamiento, diseño, fabricación, construcción, montaje, puesta en servicio, explotación, mantenimiento y clausura, según corresponda, a fin de:

- a) determinar en qué formas podrían producirse exposiciones normales y potenciales, teniendo en cuenta los efectos de sucesos externos a las fuentes así como los sucesos que afecten directamente a las fuentes y al equipo conexo;
- b) determinar la magnitud prevista de las exposiciones normales y, en la medida que sea razonable y práctico, estimar la probabilidad y la magnitud de las exposiciones potenciales;
- c) evaluar la calidad y la amplitud de las disposiciones en materia de protección y seguridad.”

3.2. El objetivo primordial de la evaluación es valorar la idoneidad de las medidas previstas o existentes para la protección y seguridad y determinar las medidas suplementarias que deberían adoptarse. Por consiguiente, conviene tener en cuenta tanto el uso ordinario de la fuente como la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales derivadas de los accidentes o incidentes. Cuando la evaluación indique que hay una posibilidad objetiva de un accidente que afecte a los trabajadores o los miembros del público o que tenga consecuencias para el medio ambiente, el titular registrado o el titular de la licencia debería preparar un plan de emergencia adecuado.

3.3. Las NBS (Ref. [17], párrafo 2.13 c)) exigen que la persona jurídica (parte principal) que solicite la autorización de un órgano regulador haga “una evaluación de la naturaleza, magnitud y probabilidad de las exposiciones atribuidas a la fuente y adopte todas las medidas necesarias para la protección y seguridad de los trabajadores y del público”. Esa evaluación debería realizarla siempre la parte principal, incluso al examinar la seguridad de las fuentes en las categorías de menor riesgo y en aplicaciones cotidianas. Las evaluaciones de la seguridad pueden ser específicas o genéricas. Las evaluaciones genéricas de la seguridad no son específicas de una instalación en particular, pero abarcan todas las fuentes y/o dispositivos de un diseño en particular. Pueden utilizarse para tipos de fuentes con un alto grado de uniformidad en el diseño y el titular registrado o el titular de la licencia pueden obtenerlas del fabricante o suministrador (en la sección 4 figuran otras orientaciones sobre la fabricación). Este tipo de evaluación probablemente se ponga a disposición, por ejemplo, para un diseño de calibrador industrial en especial. No obstante, es probable que la evaluación genérica de la seguridad deba complementarse con una evaluación de la seguridad específica del emplazamiento que comprenda, por ejemplo, la ubicación de la fuente y la idoneidad del blindaje local. En las circunstancias en que no se cuente con ninguna evaluación genérica de la seguridad, debería efectuarse una evaluación específica completa de la seguridad.

3.4. La parte principal también puede realizar una evaluación genérica aprovechando la experiencia anterior en el uso de fuentes similares. Este enfoque sería apropiado cuando la parte principal ya tuviera la autorización para varias fuentes semejantes situadas en el emplazamiento, pero aún así tal vez debería complementarse con información adicional sobre cuestiones concretas relativas a la ubicación.

3.5. Las NBS (Ref. [17], párrafo 2.13 d)) estipulan además que “si el potencial de una exposición es superior a cualquier nivel especificado [por la autoridad reguladora],... se efectuará y presentará [a esta autoridad] [una evaluación de la seguridad] como parte componente de la solicitud [de una autorización]”. Este requisito permite que el órgano regulador especifique las situaciones en que se exige una evaluación documentada de la seguridad como parte del proceso de examen de una solicitud de autorización. En tal caso, la parte principal debería efectuar una evaluación específica para las circunstancias especiales aplicables. Las solicitudes de autorización que probablemente exijan la presentación de una evaluación de la seguridad al órgano regulador son, entre otras, las relativas a instalaciones de irradiación industrial, instalaciones de radiografía industrial e instalaciones de oncología radiológica.

3.6. Debería realizarse una evaluación de la seguridad antes de que la fuente se reciba por primera vez en el emplazamiento, o se ponga en uso ordinario, con el fin de que pueda disponerse de tiempo suficiente para establecer las medidas necesarias de protección y seguridad. No se necesita una nueva evaluación de la seguridad para el reemplazo o recarga de una fuente, pero el proceso de reemplazo quizás deba ser evaluado.

Metodología para la evaluación de la seguridad

3.7. Las NBS (Ref. [17], apéndice IV, párrafos IV.3 a IV.7) disponen lo siguiente para llevar a cabo una evaluación de la seguridad:

“IV.4. La evaluación de la seguridad deberá incluir, según proceda, un examen crítico sistemático de:

- a) la naturaleza y magnitud de las exposiciones potenciales y su probabilidad;
- b) los límites y condiciones técnicas de funcionamiento de la fuente;
- c) las posibles modalidades de fallo de las estructuras, sistemas, componentes y procedimientos relacionados con la protección o seguridad, aisladamente o en combinación, o de otras causas de exposiciones potenciales, y las consecuencias de tales fallos;
- d) las posibilidades de alteración de la protección o seguridad a causa de cambios en el medio ambiente;
- e) las posibilidades de error en los procedimientos operacionales relacionados con la protección o seguridad, y las consecuencias de tales errores;
- f) las consecuencias, en lo que atañe a la protección y seguridad, de toda modificación propuesta.

“IV.5. El titular registrado o el titular licenciado deberá tener en cuenta, según corresponda, en la evaluación de la seguridad:

- a) los factores que pudieran conducir a una emisión considerable de una sustancia radiactiva y las medidas aplicables para evitar o controlar esa emisión, así como la actividad máxima de cualquier sustancia radiactiva que pudiera ser emitida a la atmósfera en caso de un gran fallo de la contención;
- b) los factores que pudieran conducir a una emisión menor pero continua de una sustancia radiactiva y las medidas aplicables para evitar o controlar tal emisión;

- c) los factores que pudieran originar el funcionamiento fortuito de un haz de radiación, así como las medidas aplicables para prevenir, detectar y controlar tales sucesos;
- d) la medida en que los dispositivos de seguridad redundantes y diversos, independientes entre sí de modo que el fallo de uno no cause el fallo de ningún otro, son apropiados para restringir la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.

“IV.6. La evaluación de la seguridad deberá apoyarse con documentos y, si procede, ser objeto de examen independiente en el marco del programa pertinente de garantía de calidad. Deberán efectuarse los exámenes suplementarios que se precisen para cerciorarse de que continúan satisfaciéndose las especificaciones técnicas o las condiciones de uso siempre que:

- a) se contemplen modificaciones significativas de una fuente o su instalación conexa, o bien de los procedimientos para su explotación o mantenimiento;
- b) la experiencia de funcionamiento, u otra información sobre accidentes, fallos, errores u otros sucesos que pudieran conducir a exposiciones potenciales, indique la posibilidad de que la evaluación vigente no sea válida;
- c) se contemplen o se hayan introducido modificaciones significativas en las actividades, o modificaciones importantes de directrices o normas.

“IV.7. Si como resultado de una evaluación de la seguridad, o por cualquier otra razón, parecen existir y ser deseables oportunidades de mejorar las medidas de protección o seguridad relacionadas con una fuente adscrita a una práctica, toda modificación que se introduzca en consecuencia deberá efectuarse de manera prudente y solo tras una evaluación favorable de todas las repercusiones en la protección y seguridad, y si esas mejoras no puedan todas hacerse realidad, o no todas a la vez, deberá establecerse entre ellas un orden de prioridad cuyo resultado sea una mejora óptima de la protección o seguridad.”

3.8. Cabe destacar que se ha visto en la práctica que los factores humanos, como la falta de capacitación y el incumplimiento de las normas operacionales y las condiciones de la licencia, son factores importantes que contribuyen a accidentes y sucesos de sobreexposición. En consecuencia, en las evaluaciones de la seguridad debería prestarse especial atención a la posibilidad de errores humanos y sus consecuencias.

Enfoque graduado

3.9. La profundidad y el grado de detalle necesarios en una evaluación de la seguridad dependen muchísimo de la práctica de que se trate. La magnitud de la tarea dependerá de la importancia para la seguridad de las actividades evaluadas y de la madurez y complejidad de la tecnología del caso y su historial de seguridad. El aspecto fundamental que debe tenerse en cuenta es que la evaluación de la seguridad debería ser apropiada y suficiente para determinar adecuadamente las medidas de protección y seguridad necesarias para una práctica en particular¹².

3.10. El OIEA ha creado un sistema de categorización para las fuentes radiactivas empleadas en las prácticas corrientes [23], como se observa en el cuadro 1. Según este sistema, las fuentes deberían asignarse a una de cinco categorías, según la magnitud del peligro asociado con ellas. Las fuentes de la categoría 1 son posiblemente las más peligrosas y las fuentes de la categoría 5 probablemente las menos peligrosas. Las fuentes de las categorías 1 a 3 en general son capaces, si no se controlan debidamente, de provocar una exposición suficiente para causar graves efectos deterministas¹³.

3.11. En el caso de las fuentes radiactivas, este sistema de categorización puede utilizarse como punto de partida para determinar la magnitud de la evaluación de la seguridad necesaria para una práctica en particular. La evaluación de la seguridad con respecto a las fuentes radiactivas de uso corriente de la categoría 4 o 5 en general será relativamente sencilla y en ella se puede incorporar información genérica del suministrador sobre las dosis y los sistemas de seguridad. En la evaluación también deberían tenerse en cuenta las características locales (p. ej., acceso, blindaje, frecuencia de uso).

3.12. Para los generadores de rayos X y aceleradores de partículas no hay un sistema internacional de categorización estructurado en relación con el peligro. Los generadores de rayos X tienen una protección inherente contra el uso indebido en la medida en que no producen rayos X cuando se desconectan (véase, empero, la nota 15). El principal uso indebido que quizás deba tratarse en una evaluación de la seguridad probablemente sea la activación no

¹² Se está preparando una publicación de Requisitos de seguridad del OIEA que abarca la evaluación y la verificación de la seguridad.

¹³ Un efecto determinista grave es aquél que causa o puede causar la muerte o producir una lesión permanente que merma la calidad de vida [23].

CUADRO 1. CATEGORÍAS RECOMENDADAS PARA FUENTES RADIATIVAS UTILIZADAS EN PRÁCTICAS CORRIENTES

Categoría	Fuente y práctica	Relación de actividad (A/D) ^a
1	Generadores termoelectrónicos de radioisótopos Irradiadores Fuentes de teleterapia fijas de haces múltiples (cuchillo gamma)	$A/D \geq 1\,000$
2	Fuentes industriales de radiografía gamma Fuentes de braquiterapia de tasa de dosis alta/media	$1\,000 > A/D \geq 10$
3	Calibradores industriales fijos que tienen incorporadas fuentes de actividad alta Sondas de diagrafía de pozos	$10 > A/D \geq 1$
4	Fuentes de braquiterapia de tasa de dosis baja (salvo placas oculares e implantes permanentes) Calibradores industriales que no tienen incorporadas fuentes de actividad alta Densitómetros óseos Eliminadores estáticos	$1 > A/D \geq 0,01$
5	Placas oculares e implantes permanentes de braquiterapia de tasa de dosis baja Dispositivos de fluorescencia X Dispositivos de captura de electrones Fuentes de espectrometría Mossbauer Fuentes de comprobación de tomografía por emisión de positrones (PET)	$0,01 > A/D$ y $A > exentas^b$

^a El sistema de categorización se basa en el concepto de la “fuente peligrosa”, que se cuantifica en función de valores *D*. El valor *D* es la actividad específica del radio-nucleido de una fuente que, si no se halla bajo control, puede causar efectos deterministas graves con respecto a una diversidad de escenarios. Véase en la Ref. [23] más información sobre la determinación de valores *A/D*.

^b En la Adenda I de las NBS se indican las cantidades exentas [17].

autorizada de un generador que haya quedado desatendido por el operador. La adhesión al empleo de diseños de generadores y procedimientos de seguridad aprobados que incluyan cierres y códigos cifrados para el acceso y activación debería minimizar la posibilidad de daños. Sin embargo, hay una amplia variación en los sistemas de potencia y control de los generadores, y en la

evaluación de la seguridad debería tenerse en cuenta la magnitud de los peligros según las circunstancias.

3.13. En la evaluación de la seguridad para determinar el funcionamiento normal debería tenerse en cuenta la información sobre todas las medidas administrativas y técnicas previstas o incorporadas en la instalación para mantener bajas las dosis individuales. En particular, debería demostrarse que las medidas protectoras adoptadas, como el blindaje o los procedimientos de mantenimiento necesarios, satisfacen los requisitos para la optimización de la protección.

3.14. Debería realizarse una evaluación exhaustiva de la seguridad de las fuentes que producen campos de radiación altos, como las fuentes de radiografía industrial, otras fuentes de la categoría 1, 2 y 3 y los aceleradores de partículas, ya que estas fuentes tienen un alto potencial de exposiciones altas con consecuencias graves o mortales. La evaluación debería incluir un examen de los escenarios postulados de exposición con objeto de garantizar que sean adecuados elementos de seguridad como las barreras y los enclavamientos. El enfoque y los instrumentos utilizados para la evaluación de la seguridad pueden variar desde evaluaciones cualitativas sencillas hasta el uso de evaluaciones deterministas y probabilistas. El grado de detalle y rigor aplicados a una evaluación de la seguridad de una fuente deberían estar en proporción con el peligro potencial que plantee la fuente. Las evaluaciones probabilistas u otras evaluaciones para determinar la probabilidad de fallos del equipo deberían complementarse con una evaluación apropiada de la probabilidad de error humano.

3.15. En el anexo II se brindan algunas orientaciones sobre los métodos de la evaluación probabilista de la seguridad. Este tipo de evaluación quizás deba realizarse si es alto el potencial de consecuencias radiológicas del fallo del equipo. Estas evaluaciones deberían tener por objetivo revelar el grado de seguridad que puede alcanzarse para la instalación y la posible necesidad de mejoras. Una evaluación probabilista de la seguridad debería ser capaz de responder estas tres preguntas:

- a) ¿Qué podría fallar?
- b) ¿Cuán probable sería?
- c) ¿Cuáles serían las consecuencias para la seguridad?

A partir de las respuestas, la evaluación debería ser capaz de proporcionar la información necesaria para ayudar en el diseño y utilización de un sistema de seguridad eficaz para la fuente.

Exámenes de la evaluación de la seguridad

3.16. La evaluación de la seguridad debería documentarse y examinarse siempre que:

- a) La seguridad pueda verse en peligro o afectada como resultado de modificaciones de las instalaciones o los procedimientos;
- b) La experiencia operacional o la investigación de accidentes o errores indique la necesidad de un examen; o
- c) Se hayan hecho o se prevean cambios significativos en las directrices o normas pertinentes.

Las modificaciones hechas en consecuencia deberían efectuarse con cautela y sólo después de una evaluación adecuada de todas las repercusiones para la protección y la seguridad.

3.17. También deberían realizarse auditorías periódicas de las disposiciones para la protección radiológica y la seguridad de la fuente, preferiblemente como parte del programa de gestión de la calidad establecido en la instalación. Los resultados de estas auditorías pueden asimismo desembocar en la enmienda de las disposiciones para la evaluación de la seguridad y la protección radiológica.

3.18. El órgano regulador puede pedir una auditoría independiente de una evaluación de la seguridad si se considera esto necesario, o el órgano regulador puede efectuar su propio examen.

Utilización de evaluaciones genéricas de la seguridad por el órgano regulador

3.19. Los órganos reguladores deberían tener buen conocimiento de las exposiciones potenciales asociadas con diversas prácticas tanto para determinar los aspectos que requieren la máxima atención como para analizar las solicitudes de autorización. Este conocimiento puede conseguirse de varios modos. El órgano regulador, en el caso de solicitudes concretas, debería exigir a los solicitantes que presenten una evaluación de la seguridad con su solicitud de autorización. Este proceso proporciona información útil para el examen por parte del órgano regulador. Otra solución es que el órgano regulador realice

evaluaciones genéricas de la seguridad para sus propios fines. Este enfoque permitirá al órgano regulador crear una buena base de conocimientos en una amplia gama de prácticas. Otra posibilidad aún es que el órgano regulador emita un dictamen en cuanto a la idoneidad de la solicitud en función de una evaluación de la seguridad que haga otra parte, como otro órgano regulador o el fabricante de la fuente. No obstante, en lo que se refiere a las prácticas específicas, la responsabilidad de efectuar una evaluación de la seguridad recae en el titular registrado o el titular de la licencia más que en el órgano regulador. Además, sólo el titular registrado o el titular de la licencia está en condiciones de incorporar en una evaluación la información específica del emplazamiento.

3.20. Para aprovechar al máximo los recursos, el órgano regulador debería establecer prioridades para sus actividades con el fin de cerciorarse de que los mayores esfuerzos se centren en las fuentes de radiación que plantean los mayores peligros de radiación. Las evaluaciones de la seguridad genéricas de los peligros de radiación resultantes de varias prácticas facilitará la información necesaria para determinar las prácticas que deberían recibir mayor atención. La categorización de fuentes del cuadro 1 constituye una clasificación inicial útil para este fin.

3.21. Una evaluación de la seguridad genérica de la radiación debería abarcar las cuestiones de seguridad tecnológica y las interacciones con la seguridad física que pueden surgir en cada etapa del tiempo de vida de la fuente, incluso distribución, instalación, puesta en servicio, uso, mantenimiento y disposición final. El examen debería determinar la posibilidad de que los accidentes causen graves lesiones o contaminación radiactiva, y la probabilidad de que ocurran esos accidentes y sus consecuencias. El comportamiento anterior en el cumplimiento de las medidas y la información sobre accidentes anteriores deberían examinarse como parte del proceso de establecimiento de prioridades.

3.22. Entre los elementos que deberían tenerse en cuenta al realizar una evaluación inicial de las fuentes de radiación a los efectos de clasificar sus peligros relativos de radiación se cuentan los siguientes:

- a) En relación con una fuente sellada, los factores intrínsecos de la fuente, como la cantidad de material radiactivo y la radiación emitida, el período de semidesintegración radiactiva, la capacidad de dispersión del material radiactivo, las propiedades físicas y químicas de la fuente sellada;
- b) En cuanto a los generadores de radiación, la intensidad de la radiación emitida;

- c) Las cuestiones relacionadas con las prácticas, como el blindaje, los dispositivos y las condiciones de uso (p. ej., si la fuente de radiación se mantiene dentro de un contenedor blindado o se extrae de un contenedor blindado cuando se halla en uso), y las características del emplazamiento (p. ej., el uso sobre el terreno o el uso en una instalación fija).

Autorización

3.23. El OIEA ha editado varias publicaciones que suministran información específica de prácticas en relación con el uso de las fuentes de radiación en condiciones de seguridad tecnológica y física [19, 20, 24 a 32]. Estas publicaciones deberían consultarse al preparar una evaluación de la seguridad o establecer un sistema de protección radiológica. Otras publicaciones del OIEA contienen listas de comprobación específicas de prácticas con elementos que deben tenerse en cuenta en la autorización de las solicitudes y en la ejecución de las inspecciones por el órgano regulador [33, 34].

3.24. Una autorización emitida por el órgano regulador debería basarse en los resultados de la evaluación de la seguridad de una fuente, ya sea una evaluación genérica presentada por el solicitante o realizada por el órgano regulador, o una evaluación específica presentada por el solicitante. La autorización debería ser aplicable, según proceda, a cada etapa del tiempo de vida de la fuente, con el fin de garantizar una protección radiológica adecuada durante todo ese tiempo. En todos los casos, el órgano regulador debería tener presente las cuestiones relacionadas con el fin del tiempo de vida cuando pueda haber la posibilidad de que se pierda el control reglamentario de las fuentes si no se mantiene la obligación de rendir cuentas. En particular, deberían definirse las opciones para la gestión de las fuentes en desuso antes de que se confiera una autorización.

3.25. Las prácticas para las cuales puede realizarse una evaluación genérica de la seguridad pueden ser adecuadas para la autorización mediante la inscripción en registro. Otras prácticas deberían ser autorizadas mediante la concesión de licencias (Ref. [17], párrafos 2.11 y 2.12).

INTERACCIONES ENTRE LA SEGURIDAD TECNOLÓGICA Y LA SEGURIDAD FÍSICA

3.26. En las evaluaciones de la seguridad debería prestarse atención tanto a la seguridad tecnológica como a la seguridad física. Algunas medidas destinadas a

proporcionar seguridad tecnológica, como el uso de enclavamientos y detectores de radiación, también darán un grado de seguridad física contra la pérdida de una fuente o intentos de obtener el control de una fuente. Asimismo, las medidas destinadas a prevenir el acceso no autorizado a fuentes contribuirán a su seguridad tecnológica al reducir la probabilidad de uso indebido. En cambio, puede haber situaciones en que, por ejemplo, las medidas encaminadas a restringir el acceso podrían afectar negativamente al uso seguro de una fuente. Estos aspectos de la seguridad tecnológica y la seguridad física deberían considerarse en conjunto para evitar la posibilidad de que uno vaya en detrimento del otro.

3.27. Las evaluaciones de la seguridad son necesarias para aplicar las medidas orientadas a prevenir el acceso de las personas que traten deliberadamente de causar exposiciones o daños con fines dolosos. Este aspecto de la seguridad física de las fuentes rebasa el marco de la presente guía de seguridad; en otras publicaciones del OIEA se ofrecen más orientaciones (p. ej., Refs. [19, 20]).

4. DISEÑO, FABRICACIÓN Y USO DE LAS FUENTES DE RADIACIÓN Y DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

4.1. Las cuestiones de la seguridad radiológica y la seguridad física de las fuentes de radiación pueden surgir en cada etapa del tiempo de vida de una fuente, incluso su distribución, instalación, uso, mantenimiento y disposición final. En la figura 1 se recogen las etapas fundamentales de todo este tiempo de vida. La magnitud de las mediciones de seguridad debería estar en proporción con la práctica específica para la cual se utiliza la fuente y los peligros potenciales que determinen las evaluaciones de la seguridad.

4.2. El transporte de una fuente de radiación puede tener lugar entre las fases del tiempo de vida o durante cualquiera de ellas y, aunque esto no se indique concretamente en el diagrama, deberían seguirse las recomendaciones que figuran en los párrafos 4.27 a 4.34.

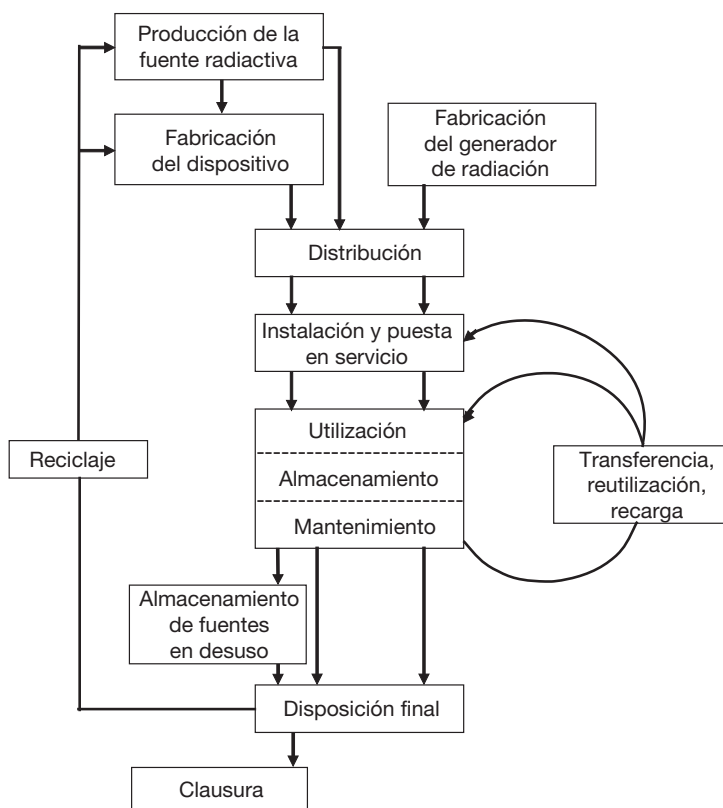


FIG. 1. Tiempo de vida de una fuente de radiación. La distribución puede entrañar la importación y la exportación.

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA FUENTE

4.3. Un buen diseño y una alta calidad de fabricación de las fuentes de radiación son factores fundamentales para lograr la óptima seguridad. En el apéndice IV de las NBS [17] se manifiesta lo siguiente:

“IV.8. Los titulares registrados y los titulares licenciados, en cooperación específica con los suministradores, deberán velar por que se cumplan las siguientes responsabilidades, cuando proceda:

- a) contar con una fuente bien diseñada y construida que:
 - i) ofrezca condiciones de protección y seguridad que estén en conformidad con las Normas;
 - ii) se ajuste a las especificaciones técnicas, de comportamiento y de funcionamiento;
 - iii) satisfaga normas de calidad que estén en consonancia con la significación de los componentes y sistemas para la protección y la seguridad;
- b) hacer que las fuentes se ensayen para demostrar su conformidad con las especificaciones correspondientes;
- c) facilitar, en un idioma de uso internacional, aceptable para el usuario, información sobre la instalación y el uso correctos de la fuente y sobre los riesgos de ella derivados.

“IV.9. Además, cuando proceda, los titulares registrados y los titulares licenciados deberán concertar con los suministradores de las fuentes disposiciones adecuadas para:

- a) establecer y mantener mecanismos para que los suministradores obtengan de dichos titulares o de otros usuarios información sobre el empleo, mantenimiento, experiencia de funcionamiento, desmantelamiento y evacuación de las fuentes, y sobre todas las condiciones particulares de funcionamiento, normales o anormales, que puedan ser importantes para la protección de las personas o la seguridad de la fuente;
- b) establecer y mantener un mecanismo para transmitir a los titulares registrados y los titulares licenciados retroinformación que pueda tener consecuencias para la protección o seguridad que afecten a otros titulares registrados o titulares licenciados, o que pueda tener consecuencias para la mejora futura de la protección o seguridad en el diseño de los productos.

“IV.10. Los sistemas y componentes de las fuentes que estén relacionados con la protección o seguridad deberán diseñarse, construirse, manejarse y mantenerse de forma que se eviten, en la medida factible, los accidentes y, en general, se restrinjan la magnitud y la probabilidad de la exposición de los trabajadores y los miembros del público a los niveles más bajos que puedan razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta las consideraciones sociales y económicas.”

Fabricación y producción — generalidades

4.4. Los productores y suministradores de generadores de radiación y fuentes radiactivas tienen responsabilidades relacionadas con su utilización segura, en particular en el diseño y fabricación de las fuentes. Durante la fabricación deberían adoptarse medidas de control para conseguir que las fuentes se mantengan en condiciones físicamente seguras y garantizar su producción y expedición seguras. En lo que atañe a las fuentes radiactivas, el proceso de producción consiste normalmente en la irradiación del material del blanco y el procesamiento ulterior y la expedición al fabricante de la fuente. Los generadores de radiación por lo general no plantean un peligro de radiación hasta que se aplica potencia a la unidad. Los suministradores deberían iniciar la cadena de documentación que desemboca en la identificación efectiva de las fuentes y los dispositivos durante todo su tiempo de vida. Los fabricantes también deberían proporcionar documentación apropiada para la utilización segura de la fuente por el usuario final.

4.5. Las fuentes selladas, los dispositivos de contención y las fuentes de radiación por lo general se diseñan y fabrican de conformidad con normas nacionales o internacionales que especifican, entre otras cosas, la índole del encapsulamiento y las características de funcionamiento [35, 36]. Estas normas incluyen requisitos de funcionamiento y seguridad destinados a garantizar operaciones seguras y eficaces.

4.6. La fabricación de fuentes selladas, dispositivos y generadores de radiación debería también estar sujeta a los requisitos de los sistemas de gestión de la calidad como la norma ISO 9001 [37 a 39]. La aplicación eficaz de los procedimientos de gestión de la calidad garantiza que los elementos de seguridad diseñados se reproduzcan sistemáticamente durante la producción.

4.7. Algunas fuentes se diseñan y fabrican de modo que el contenedor de la fuente también sirva de contenedor (bulto) para el transporte. Las fuentes en forma especial de este tipo se diseñan para que no puedan dispersarse en situaciones derivadas de posibles accidentes de transporte, y sus contenedores están sujetos a rigurosas pruebas térmicas y de choque. Para las prácticas que exigen el transporte frecuente de las fuentes, como la radiografía sobre el terreno, deberían cumplirse los requisitos para las fuentes en forma especial a fin de asegurar la compatibilidad con el Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA (Reglamento de Transporte) [40].

4.8. Algunos fabricantes también especifican una vida útil recomendada para las fuentes, que es el período en el cual se espera que la fuente mantenga su integridad. Al especificar la vida útil recomendada, se tiene en cuenta la naturaleza del material radiactivo, su período de semidesintegración y el encapsulamiento de la fuente. La fuente que haya superado su vida útil recomendada debería ser inspeccionada por el fabricante u otro órgano apropiado para garantizar que se ha mantenido su integridad. El órgano regulador puede permitir que las fuentes que hayan superado su vida útil recomendada continúen en servicio a reserva de la confirmación de que se mantiene su integridad.

Fabricación y producción de fuentes radiactivas

4.9. Las disposiciones para la fabricación segura de las fuentes selladas y para la confirmación de que éstas siguen siendo físicamente seguras deberían, como mínimo, incluir los elementos siguientes, según proceda:

- a) Sistemas que proporcionen blindaje para posibilitar el procesamiento seguro del material radiactivo y que incluyan medidas para prevenir el acceso accidental a los materiales. La integridad de las barreras debería estar en proporción con la categoría de la fuente sellada. En la fabricación de las fuentes de actividad alta, la aplicación de la defensa en profundidad, incluido el uso de sistemas redundantes, debería tenerse en cuenta, y por lo general se necesitará para el proceso de fabricación.
- b) Medidas para determinar la presencia de materiales radiactivos. Normalmente incluyen avisos y señales de alerta fuera de la zona o sala en que se utilizará la fuente [41].
- c) Medidas para almacenar los materiales que se estén procesando y los productos acabados para que sólo puedan tener acceso a ellos personas autorizadas a hacerlo.
- d) Verificación periódica del inventario de materiales.

4.10. La identificación única de las fuentes selladas es fundamental para su localización. Las fuentes selladas acabadas deberían marcarse de manera permanente. Quizás ello sea difícil en el caso de las fuentes pequeñas, en que el espacio tal vez no permita incluir mucha información, pero las marcas o etiquetas deberían incluir al menos un número de serie único. La información suministrada debería cumplir las normas internacionales reconocidas. Por ejemplo, la ISO 2919 [35] especifica una jerarquía de requisitos de etiquetado que comienzan con la palabra “radiactivo” o el símbolo del trébol, a lo que sigue la identidad del fabricante, el número de serie de la fuente, el número de masa y

el símbolo químico del radionucleido y, para las fuentes de neutrones, el elemento del blanco.

4.11. El fabricante debería verificar que la fuente radiactiva es estanca y libre de contaminación realizando ensayos que estén de conformidad con normas como la ISO 9978 [36]. La certificación de la actividad y la estanqueidad de la fuente y las fechas de la determinación deberían facilitarse al comprador de la fuente y deberían servir para localizar la fuente.

4.12. El fabricante debería establecer y mantener procedimientos que garanticen que la fuente sellada tenga la contención o el embalaje correctos y que su transporte se ajuste a los requisitos que rigen el transporte de materiales radiactivos. Ello debería incluir controles para cerciorarse de que el contenido esté en consonancia con la información suministrada en los documentos de expedición.

4.13. El suministrador debería establecer y mantener procedimientos para el control de los registros relativos al contenido, la identificación y el comprador original de la fuente. Estos procedimientos deberían comprender una descripción de los registros y métodos aplicables para la indización, el almacenamiento, el mantenimiento y la disposición final.

Fabricación y producción de dispositivos que tienen incorporadas fuentes radiactivas

4.14. Los dispositivos que contienen fuentes selladas incluyen normalmente blindaje para limitar la exposición a la radiación. Las características de diseño para el empleo seguro y la seguridad física de estos dispositivos debería, como mínimo¹⁴, incluir los siguientes elementos, según proceda:

- a) Medidas para controlar el acceso a la fuente que contiene el dispositivo. Ejemplos de estas medidas son, entre otros, cierres, enclavamientos y mecanismos de obturadores. Debería prestarse especial atención a la retención segura de la fuente dentro de su contención.

¹⁴ En otras publicaciones del OIEA que se están elaborando en la actualidad se formularán nuevas orientaciones sobre la seguridad de los dispositivos, y están previstas orientaciones independientes sobre el diseño y la fabricación de las fuentes para atender a los objetivos de seguridad física.

- b) Medidas para determinar adecuadamente la presencia de materiales radiactivos, normalmente mediante etiquetas, avisos y señales de alerta [41].
- c) Medidas para definir adecuadamente un dispositivo vacío que tenga incorporado un blindaje hecho de uranio empobrecido y controlar el acceso a éste.
- d) Verificación periódica del inventario de materiales.
- e) Ensayos periódicos de fugas.

4.15. Los dispositivos deberían diseñarse con arreglo a normas nacionales e internacionales como la ISO 3999 para la radiografía gamma industrial [42]. Éstas por lo general incluyen requisitos para la prevención de la exposición accidental a la fuente mediante cierres, enclavamientos y fijadores a prueba de manipulación. En otras publicaciones del OIEA y la ISO, como la ISO 7205 para sondas marcadas con radionucleidos [43], figuran más orientaciones sobre dispositivos utilizados en determinadas prácticas.

4.16. Los dispositivos acabados deberían marcarse de manera permanente de conformidad con las normas nacionales e internacionales. Un requisito sería marcar el dispositivo con un número de serie único y proporcionar la identificación del radionucleido contenido y su actividad, así como la fecha de la determinación. Pueden mencionarse como ejemplos las placas de identificación que están fijadas permanentemente al dispositivo y las etiquetas de identificación de la fuente que se intercambian durante la recarga de la fuente. Las etiquetas deberían ser adecuadas para que el usuario pueda localizar el dispositivo y las fuentes que éste contiene durante su uso y mantenimiento.

Fabricación y producción de los generadores de radiación

4.17. Los generadores de radiación suelen tener blindaje para limitar la exposición a la radiación y no presentan riesgos de radiación hasta que se ensamblan y se llega al punto en que puede conectarse la potencia. Una vez que la unidad puede generar radiación¹⁵, las disposiciones para la utilización en condiciones de seguridad deberían comprender, según proceda:

¹⁵ También debería prestarse atención a la posibilidad de una “corriente oscura” (cuando la potencia de la fuente de electrones está apagada pero se mantiene un alto voltaje en el ánodo) y de la activación de los componentes del acelerador en el caso de aceleradores de partículas de muy alta energía.

- a) Medidas para controlar el acceso al generador y los controles, como un sistema de claves, con el fin de impedir que el dispositivo sea operado accidentalmente o por una persona no autorizada;
- b) Medidas para determinar la presencia de una fuente de radiación, normalmente mediante avisos;
- c) Señales de alerta (visuales y sonoras) para indicar cuándo se activa el dispositivo;
- d) Verificación periódica del inventario de generadores.

4.18. El fabricante de generadores de radiación debería establecer un sistema que garantice la identificación positiva del generador. Los generadores deberían marcarse de manera permanente con un modelo y número de serie únicos y deberían diseñarse en consonancia con las normas nacionales e internacionales.

UTILIZACIÓN DE LAS FUENTES Y DISEÑO Y FUNCIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES

4.19. De conformidad con los requisitos de gestión y los requisitos técnicos de las NBS [17] (en particular los párrafos 2.36 y 2.37) y con los requisitos específicos relativos a la Exposición potencial: seguridad de las fuentes (Apéndice IV), los titulares registrados y los titulares de licencias deberían asegurarse de que las instalaciones se diseñen y las fuentes se utilicen de manera que se optimice la protección. Como parte de la evaluación de la seguridad, los titulares registrados y los titulares de licencias deberían evaluar la posibilidad de que las fuentes originen exposiciones superiores a las diseñadas o excedan de los niveles especificados por el órgano regulador, y deberían evaluar la magnitud y las consecuencias de esas exposiciones. Conviene que estén preparados para adoptar cualquier medida necesaria para dar respuesta a cualquier accidente relacionado con una fuente. En varios Informes de Seguridad del OIEA se han descrito los tipos de accidentes y una evaluación de las situaciones que los originaron. Las referencias [2 a 4] se relacionan con instalaciones de irradiación industrial, las referencias [8, 9], con la radiografía industrial y las referencias [1, 6], con las fuentes de radioterapia. Los accidentes que tienen que ver con fuentes de radioterapia y la administración de dosis de radiación incorrectas a los pacientes pueden deberse a fallos del equipo o a errores humanos. La naturaleza de estos accidentes difiere de la de aquéllos que han sido resultado de la pérdida de control de las fuentes.

4.20. Las personas que trabajan con fuentes de radiación o cerca de ellas deberían recibir capacitación apropiada en relación con los requisitos de seguridad radiológica y de seguridad física de la fuente de radiación o la instalación de irradiación. El nivel de capacitación debería estar en proporción con la categoría de la fuente de radiación y las obligaciones y actividades conexas de la persona. Los usuarios deberían recibir capacitación hasta un nivel que satisfaga los requisitos del órgano regulador con respecto a la capacitación en materia de seguridad radiológica para la práctica o la esfera de utilización [44, 45].

Controles técnicos

4.21. Deberían emplearse controles de acceso para prevenir el acceso accidental o no autorizado a las fuentes. Los controles de acceso pueden incluir una combinación de medidas físicas y procedimientos administrativos¹⁶. En muchos casos (sobre todo en relación con las fuentes de radiación de la categoría 1 o 2), no es posible o viable emplear sólo uno de estos métodos. En la adopción de medidas para garantizar la seguridad de las fuentes de radiación debería darse preferencia, cuando proceda, a los controles técnicos por encima de los controles administrativos y el equipo de protección del personal (Ref. [17], párrafo I.29).

4.22. Las medidas para garantizar que las fuentes sigan siendo físicamente seguras deberían comprender, como mínimo, controles de acceso que constituyan una barrera física para la fuente sellada o el dispositivo (p. ej., puertas, cercas, paredes, jaulas, cierres y enclavamientos y contenedores blindados). Los sistemas deberían ser a prueba de averías; por ejemplo, los fallos en dispositivos de alerta, como lámparas, deberían hacer que el dispositivo se mantenga en su estado blindado o inactivo o vuelva a ese estado, impidiendo así la exposición de la fuente.

4.23. El diseño e integridad de barreras físicas como las paredes de blindaje deberían estar en proporción con la categoría de la fuente de radiación, y en ellos conviene tomar en cuenta los principios de defensa en profundidad. Las fuentes radiactivas de la categoría I deberían tener en general barreras físicas múltiples de alta integridad con mecanismos de acceso resistentes (blindaje y barreras adecuados). Por el contrario, las fuentes de las categorías 4 y 5 quizás

¹⁶ En otras publicaciones del OIEA se impartirán orientaciones sobre los controles técnicos para la seguridad física de las fuentes.

sólo requieran una barrera física única, o el acceso puede ser controlado por completo con medidas administrativas. Los dispositivos suelen construirse con barreras físicas inherentes a la fuente radiactiva que contienen (p. ej., blindaje, obturadores, mecanismos de encendido/apagado) y que sólo pueden anularse desmantelando el dispositivo. En este tipo de dispositivos, tal vez sean necesarias otras barreras físicas que controlen el acceso al dispositivo para la prevención de su retirada accidental o no autorizada.

Controles administrativos y conservación de registros

4.24. Los controles administrativos pueden complementar los controles técnicos y deberían estar en proporción con la categoría de la fuente de radiación. He aquí algunos ejemplos de controles administrativos:

- a) Procedimientos para conceder acceso autorizado, como la distribución de claves o códigos de acceso;
- b) Procedimientos para el uso autorizado de la fuente, incluidas prohibiciones sobre acciones indebidas como la modificación no autorizadas de la fuente;
- c) Promulgación de las normas locales que deben cumplirse en las zonas controladas;
- d) Mantenimiento de registros de usuarios autorizados.

Los controles administrativos forman parte del sistema de protección radiológica de una instalación. En el anexo I figuran ejemplos de factores relacionados con el establecimiento de un sistema de seguridad radiológica para una instalación de irradiación industrial.

4.25. En cuanto a los controles administrativos, el usuario debería mantener un registro escrito de todos los materiales y dispositivos que posee. El inventario debería incluir lo siguiente:

- a) La identificación única de cada fuente de radiación (normalmente el número de modelo y el número de serie);
- b) La ubicación de la fuente (lugar de instalación o lugar de uso autorizado);
- c) El tipo y actividad de los materiales radiactivos presentes en cada fuente sellada o dispositivo;
- d) El potencial máximo del tubo (en kVp) y la corriente máxima nominal del haz (en mA) para cada generador;

- e) Las fechas en que el material o dispositivo se recibe en el inventario y se retira de él;
- f) Un registro del lugar del que se recibió la fuente o al que ésta se trasladó.

4.26. Deberían utilizarse medios para controlar y verificar el uso de las fuentes. En el caso de las fuentes de radiación utilizadas en operaciones móviles, debería mantenerse un registro escrito de sus usos. El registro debería conservarse en consonancia con los datos del inventario y debería contener la información que figura a continuación para cada ocasión en que la fuente sellada o el dispositivo se extraigan del lugar de almacenamiento para ser utilizados:

- a) Identificación de la fuente de radiación por su identificador único.
- b) Fecha y momentos de uso (cuando la fuente se extraiga y devuelva); también puede indicarse el tiempo previsto de devolución de la fuente.
- c) Identificación de cualquier persona que extraiga y utilice la fuente de radiación.
- d) Lugar de uso de la fuente.

TRANSPORTE DE LAS FUENTES RADIATIVAS

4.27. Las medidas de seguridad durante el transporte de materiales radiactivos por todas las modalidades terrestres (carretera, ferrocarril y aguas interiores), marítimas o aéreas debe estar en consonancia con los requisitos del Reglamento de Transporte del OIEA [40]. El Reglamento de Transporte abarca todas las operaciones y condiciones asociadas con el movimiento de materiales radiactivos, incluso la preparación, la consignación, el embalaje, la carga, el transporte, incluido el almacenamiento en tránsito, la descarga y la recepción en el destino final. El Reglamento de Transporte ha sido plenamente incorporado en documentos reglamentarios de las organizaciones internacionales relacionadas con el transporte y sirve de base para los reglamentos internos de transporte de los Estados.

Remitente

4.28. En virtud del Reglamento de Transporte, el remitente debe asegurarse de que se cumplan los requisitos relativos a la preparación de los bultos que se especifican en él. Ello incluye la correcta identificación de los bultos, el uso apropiado de etiquetas y marcas en los bultos, y el suministro de los debidos documentos de expedición.

4.29. Asimismo, como parte de la preparación para el transporte, el remitente debe velar por que se utilice el embalaje del tipo apropiado. Debería utilizarse un sistema de rendición de cuentas para garantizar, en la medida posible, que la cantidad y naturaleza del material radiactivo y su embalaje de transporte conexo se cotejen debidamente con el destinatario. El remitente debería asimismo verificar que el material radiactivo ha sido cargado en el bulto correcto, que los documentos de transporte apropiados acompañan la remesa y que se envía al destinatario toda la documentación pertinente relativa a la seguridad.

4.30. Durante todo el ciclo de transporte deberían mantenerse controles físicos para los bultos de una remesa. El remitente debería garantizar que las zonas en que se preparan los bultos para el transporte y se almacenan antes de su recogida por el transportista estén debidamente controladas. Las fuentes selladas o los bultos de materiales radiactivos no deberían quedar abandonados a menos que haya barreras físicas adecuadas para prevenir el acceso no autorizado a ellos o su extracción.

4.31. Los documentos de expedición que acompañan el bulto deberían contener información sobre el remitente, el destinatario y el tipo y cantidad de material radiactivo, así como otra información especificada en el Reglamento de Transporte. La información suministrada en los documentos de expedición debería ser suficiente para que el destinatario identifique positivamente el material radiactivo recibido.

Transportista

4.32. El transportista (empresa de transporte) debería tener un sistema de rendición de cuentas en relación con los bultos de la remesa durante el transporte, que debería incluir un medio para confirmar el despacho del bulto en el emplazamiento del remitente, un método para determinar, en la medida posible, la ubicación del bulto a lo largo de la ruta de expedición tanto mientras se encuentre en tránsito en un medio de transporte del transportista como durante su almacenamiento en tránsito, y un medio para confirmar la recepción por el destinatario. El transportista no debería entregar una remesa al destinatario o abandonar una remesa en un emplazamiento del destinatario a menos que pueda confirmarse la debida recepción del bulto. Si la remesa no puede entregarse correctamente, el transportista debería conservar el bulto y seguir siendo responsable de él. Si el destinatario no puede localizarse, debería establecerse contacto con el remitente y/o el órgano regulador lo antes posible para determinar adonde debería llevarse la remesa.

Destinatario

4.33. El destinatario debería velar por que los bultos que lleguen sean almacenados y recibidos correctamente. La zona en que se entregan los bultos debería ser controlada. En todas las situaciones, convendría establecer procedimientos para la recepción y el almacenamiento de los bultos. Estos procedimientos deberían incluir disposiciones para la recepción durante el horario laboral o no laboral y un medio para comprobar los niveles de radiación externa de los bultos y las fugas de los bultos o de los bultos dañados.

Transporte local

4.34. Durante la utilización de las fuentes y su transporte local, debería mantenerse un sistema de rendición de cuentas con respecto a dispositivos portátiles como fuentes de radiografía industrial y fuentes de diagrafia de pozos, y en relación con medidores de nivel, medidores de espesor y medidores de densidad de la humedad. Su ubicación siempre debería conocerse, y no es aconsejable expedirlos o trasladarlos a otro usuario sin autorización. El usuario debería velar por que se firme la retirada de los dispositivos portátiles de su lugar de almacenamiento y que se identifique el operador. El sistema de rendición de cuentas puede consistir en un registro de campo, que abarque todos los aspectos de la utilización, incluso lugar, almacenamiento temporal y retirada del uso para fines de mantenimiento. Para el transporte local, los dispositivos portátiles deberían mantenerse físicamente seguros, por ejemplo, en lugares de almacenamiento bajo llave en el vehículo. Cuando no se utilicen en un sitio de trabajo, los dispositivos portátiles deberían almacenarse en una zona segura.

5. CLAUSURA DE LAS INSTALACIONES Y GESTIÓN DE LAS FUENTES EN DESUSO

5.1. Hay varios factores que pueden propiciar que las fuentes de radiación queden en desuso. En el caso de las fuentes selladas, las causas pueden ser la desintegración radiactiva a niveles de actividad en que la fuente ya no resulta útil y la preocupación por la integridad de una fuente debido a su obsolescencia y la consiguiente discontinuación de su uso. La venta o el cierre de una instalación, la sustitución de una fuente o su instalación con nueva tecnología y

la bancarrota de la empresa propietaria o usuaria de una fuente o instalación son otros factores que pueden desembocar en el desuso de una fuente de radiación.

5.2. En los últimos años ha habido muchos casos de accidentes graves, lesiones y la pérdida de vidas por no haberse organizado la clausura rápida y estructurada y la disposición final de los dispositivos que contienen fuentes selladas. El Código de conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas prevé que los Estados garanticen que las fuentes selladas no se almacenen por períodos prolongados en instalaciones que no hayan sido diseñadas para ese tipo de almacenamiento [19]. El Código de conducta también prevé que los Estados garanticen que, antes de que el órgano regulador autorice la recepción de una fuente sellada, se hayan adoptado disposiciones, incluidas disposiciones financieras, para su gestión segura una vez que haya quedado como fuente en desuso. El OIEA ha elaborado orientaciones sobre las medidas que habrá que adoptar para reducir el riesgo de accidentes asociados con fuentes selladas en desuso [46] y sobre los métodos para identificar y localizar las fuentes en desuso y extraviadas [47].

5.3. La parte principal puede disponer de las siguientes opciones para la gestión de las fuentes en desuso:

- a) Almacenamiento previo a la disposición final;
- b) Transferencia a otro usuario autorizado;
- c) Devolución al fabricante y/o suministrador;
- d) Clausura y disposición final.

Almacenamiento de las fuentes previo a su disposición final

5.4. Las fuentes pueden almacenarse con anterioridad a su disposición final concretamente para permitir la desintegración radiactiva de los radionucleidos de período corto, simplificando así los trámites de disposición final, o pueden almacenarse mientras se realizan las gestiones para su disposición final. Con todo, no se alienta al almacenamiento prolongado de las fuentes en desuso por motivos distintos de la desintegración radiactiva. La decisión de cómo gestionar mejor el período de almacenamiento mientras se espera la clausura definitiva y la disposición final debería adoptarse por la parte principal, con la aprobación del órgano regulador, teniendo en cuenta las circunstancias especiales de la instalación. Por ejemplo, si la instalación contiene un gran número de fuentes en una línea de producción en desuso, debería considerarse la opción de recoger estas fuentes en un lugar seguro. Tal medida en todo caso

debería tomarse si no puede garantizarse la recuperación del control de las fuentes dentro de los locales en desuso. Aunque el Reglamento de Transporte no es aplicable al movimiento de las fuentes dentro de una instalación, los principios de este reglamento en la medida en que afectan a la seguridad de la fuente deberían tomarse en cuenta al planificar el movimiento interno de los materiales radiactivos. Deberían tenerse en cuenta las orientaciones del OIEA respecto de la manipulación, el acondicionamiento y el almacenamiento de las fuentes selladas gastadas [48].

5.5. Deberían conservarse registros del número, tipo, actividad y ubicación de las fuentes en almacenamiento que se encuentren en espera de su disposición final. En este inventario deberían indicarse por separado las fuentes en uso y las fuentes en desuso que se hallan en almacenamiento. Si las fuentes se almacenan para reducir su actividad mediante la desintegración radiactiva, debería especificarse la fecha y el nivel de actividad en que serán sometidas a disposición final.

5.6. Lo ideal sería que las fuentes en desuso, con anterioridad a su disposición final, se mantuvieran separadas físicamente de las fuentes en uso. Ello contribuye a prevenir que una fuente activa se manipule o someta a disposición final erróneamente como una fuente usada. También evita interferencias alrededor de las fuentes activas. Si no es posible esta separación, las fuentes en desuso deberían etiquetarse para indicar que no están aptas para el uso, y deberían preferiblemente guardarse bajo llave o sellarse para impedir que se utilicen.

Transferencia de una fuente a otro usuario autorizado

5.7. La transferencia de las fuentes a otros usuarios ofrece ventajas tanto económicas como ambientales. Sin embargo, la transferencia debería llevarse a cabo en forma controlada y el receptor de la fuente debería tener conocimiento de los requisitos reglamentarios pertinentes. Si se prevé transferir una fuente a otro usuario, la parte principal debería ser consciente de que esto lo obliga a asumir responsabilidades en materia de seguridad y rendición de cuentas equivalentes a las del fabricante de la fuente original. Entre esas responsabilidades se incluye la obligación de verificar la situación del destinatario como titular de una autorización válida para utilizar la fuente. Muchas partes principales quizás no estén suficientemente familiarizadas con todos los reglamentos del caso, en particular si la fuente ha de transferirse a un usuario en otro Estado. En consecuencia, las partes principales que consideren esta opción deberían procurar asesoramiento del fabricante de la fuente y el

órgano regulador, según sea necesario, para que todas las cuestiones de seguridad asociadas a la transferencia se aborden correctamente, incluso la documentación apropiada y la actualización de los inventarios de fuentes.

5.8. La parte principal debería prestar especial atención a la tarea de garantizar que las fuentes selladas y los dispositivos estén en condiciones de servicio y que sean adecuadas para la nueva aplicación prevista. Deberían suministrarse al nuevo propietario copias de toda la información pertinente sobre el historial de empleo de la fuente (como las condiciones de utilización y los registros de mantenimiento). Como mínimo, debería incluirse el número de serie de la fuente, el contenido de radionucleidos y la actividad. En lo referente a las fuentes de actividad alta, es probable que las comprobaciones correspondientes del estado de servicio sólo se realicen en una instalación especializada. Por lo tanto, tal vez no sea apropiada la transferencia directa a otro usuario en el caso de esas fuentes; la transferencia debería efectuarse por conducto de un fabricante o suministrador de fuentes u otro órgano competente.

Devolución de una fuente al fabricante o suministrador

5.9. El fabricante o suministrador de una fuente debería proporcionar orientación al usuario en el momento del suministro acerca de las disposiciones para la devolución de la fuente. Estas disposiciones pueden variar durante el tiempo de vida de la fuente. La parte principal debería, por tanto, contactar con el fabricante o suministrador inmediatamente antes de una devolución prevista de la fuente para confirmar la disponibilidad de la ruta de disposición final y obtener detalles del procedimiento vigente. Con todo, es probable que el suministrador no esté plenamente familiarizado con el reglamento nacional del usuario referente a la disposición final de la fuente, o con todas las opciones sustitutivas de que pueda disponerse en el Estado del usuario. Esto probablemente sea lo que suceda si la fuente se compra a un suministrador de otro Estado. La parte principal necesitará, por consiguiente, garantizar que la ruta de disposición final propuesta cumpla con los reglamentos nacionales. En el caso de que un fabricante o suministrador no cumpla un acuerdo de devolver una fuente — por ejemplo, por bancarrota — la parte principal debería consultar con el órgano regulador para obtener su asesoramiento.

5.10. El arrendamiento de fuentes se está haciendo cada vez más frecuente. En algunos sentidos, el arrendamiento aumenta la seguridad de las fuentes, ya que el fabricante retiene la propiedad de la fuente y, con ella, la responsabilidad de

recuperarla para su disposición final. No obstante, la responsabilidad permanente por la seguridad cotidiana sigue recayendo en la parte principal.

Clausura

5.11. Por clausura se entiende la retirada de fuentes de radiación autorizadas de una instalación y las medidas administrativas y técnicas adoptadas para retirar algunos o todos los controles reglamentarios. Algunas instalaciones quizás tengan sólo un dispositivo de radiación instalado, como una máquina de teleterapia. Otras instalaciones pueden tener locales autorizados en que haya muchos dispositivos independientes instalados (como una línea de producción que contenga calibradores industriales) o almacenados (como un almacén de dispositivos móviles). La clausura puede entrañar la retirada de un gran número de fuentes antes de la terminación de la licencia de una instalación. La clausura también puede suponer la retirada de parte del inventario de dispositivos de una instalación antes de la expedición de una nueva licencia y la instalación de dispositivos de reemplazo para futuros trabajos. Las orientaciones del OIEA sobre la gestión segura de las actividades de clausura para instalaciones médicas, industriales y de investigación [49] deberían seguirse en la planificación y ejecución de las actividades de clausura.

5.12. En lo que concierne a las instalaciones que utilizan fuentes selladas, la clausura puede entrañar sólo la retirada autorizada de todas las fuentes de la instalación. En situaciones más complejas en que se vaya a efectuar el desmantelamiento *in situ* del equipo que contiene fuentes, las actividades de clausura deberían correr a cargo de personal debidamente cualificado y experimentado, en zonas que sean adecuadas para los tipos de procedimientos que se deberán aplicar. Muchos usuarios de equipo que contiene fuentes no tendrán el personal o la autorización para el desmantelamiento completo del equipo que entrañe la retirada de la fuente sellada. La parte principal debería, por tanto, velar por que se empleen o contraten personas debidamente cualificadas. Si es necesario emplear una organización externa para la clausura, la parte principal debería confirmar que la empresa posee la autorización y la experiencia necesarias para desarrollar las actividades propuestas.

5.13. Dado que la clausura supone la retirada de controles reglamentarios, la parte principal debería informar al órgano regulador del momento en que se llevarán a cabo las operaciones de clausura.

5.14. La instalación en que se haya utilizado una fuente de radiación quizás no sea adecuada para la manipulación y el almacenamiento de fuentes sin blindaje en condiciones de seguridad tecnológica y física. Por tanto, las actividades de clausura en los locales del usuario deberían reducirse al mínimo. En muchos casos, el soporte de la fuente forma parte integrante del contenedor de transporte aprobado y no debería ser necesaria la extracción de la fuente de su soporte. Como el soporte de la fuente probablemente tenga grabados detalles del contenido, incluso el contenido de radionucleidos, actividad, fecha de referencia y número de serie, la extracción de la fuente del soporte introduciría el factor potencial de la pérdida de responsabilidad. El pequeño tamaño de muchas fuentes puede acarrear la posibilidad de que pase inadvertida la caída o mala colocación de una fuente. También han ocurrido casos en que se han dañado accidentalmente fuentes al ser extraídas de su recipiente, causando como resultado una importante contaminación. En consecuencia, si no es preciso extraer la fuente del equipo en el lugar de utilización, debería evitarse esa extracción.

5.15. Al finalizar la clausura (es decir, después de la remoción de todas las fuentes de radiación autorizadas de un local a los efectos de retirar los controles reglamentarios), la parte principal debería efectuar una comprobación final con el fin de asegurarse de que se han extraído todos los materiales radiactivos.

5.16. Luego de la clausura y de la terminación de una licencia para utilizar las fuentes, los registros de fuentes que han sido transferidas deberían conservarse durante un período adecuado que apruebe el órgano regulador.

5.17. El órgano regulador debería cerciorarse de que la parte principal ha llevado a cabo la disposición final y la clausura de conformidad con los requisitos reglamentarios.

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1989).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de San Salvador, OIEA, Viena (1990).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Soreq, OIEA, Viena (1993).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident at the Irradiation Facility in Nesvizh, OIEA, Viena (1996).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Tammiku, OIEA, Viena (1998).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Istanbul, OIEA, Viena (2000).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Lilo, OIEA, Viena (2000).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Yanango, OIEA, Viena (2000).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Gilan, OIEA, Viena (2002).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Samut Prakarn, OIEA, Viena (2002).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Cochabamba, OIEA, Viena (2005).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bia³ystok, OIEA, Viena (2004).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama, OIEA, Viena (2001).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, OIEA, Viena (1996).
- [15] CROFT, J.R., "Summary of major accidents with radiation sources and lessons learned", Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials (Actas de la Conferencia Internacional de Dijon, 1998), OIEA, Viena (1999).
- [16] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1, OIEA, Viena (2006).

- [17] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [18] 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).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y la seguridad física de las fuentes radiactivas, OIEA/CODEOC/2004, OIEA, Viena (2004).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security of Radioactive Sources: Interim Guidance for Comment, IAEA-TECDOC-1355, OIEA, Viena (2003).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Colección Jurídica N° 12, OIEA, Viena (1982).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Regulatory Control of Radiation Sources, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.5, OIEA, VIENA (2004).
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clasificación de las fuentes radiactivas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.9, OIEA, Viena (2009).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual sobre medidores nucleares, Manual práctico de seguridad radiológica, PRSM-3 (Rev.1), OIEA, Viena (1997).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual sobre irradiadores gamma panorámicos, Manual práctico de seguridad radiológica (categorías II y IV), PRSM-8 (Rev.1), OIEA, Viena (1997).
- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual sobre irradiadores gamma con blindaje intrínseco, Manual práctico de seguridad radiológica (categorías I y III), PRSM-7 (Rev.1), OIEA, Viena (1997).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual práctico de seguridad radiológica sobre radiografía gamma, PRSM-1 (Rev.1), OIEA, Viena (1997).
- [28] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiological Safety Aspects of the Operation of Neutron Generators, Colección Seguridad N° 42, OIEA, Viena (1976).

- [29] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Accelerators, Colección de Informes Técnicos N° 188, OIEA, Viena (1979).
- [30] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiological Safety Aspects of the Operation of Proton Accelerators, Colección de Informes Técnicos N° 283, OIEA, Viena (1988).
- [31] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Colección Seguridad N° 107 OIEA, Viena (1992).
- [32] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad, N° 3, OIEA, Viena (1999).
- [33] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Safety Assessment Plans for Authorization and Inspection of Radiation Sources, IAEA/TECDOC/-1113, OIEA, Viena (1999).
- [34] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Notification and Authorization for the Use of Radiation Sources (Suplemento de la Guía de Seguridad No GS-G-1.5), IAEA-TECDOC-1525, OIEA, Viena (en preparación).
- [35] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection: Sealed Radioactive Sources: General Requirements and Classification, ISO 2919, ISO, Ginebra (1999).
- [36] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection: Sealed Radioactive Sources: Leakage Test Methods, ISO 9978, ISO, Ginebra (1992).
- [37] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Sistemas de gestión de calidad - Requisitos, ISO 9001[S], ISO, Ginebra (2000).
- [38] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Management System for Facilities and Activities, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-3, OIEA, Viena (2006).
- [39] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Application of the Management System for Facilities and Activities, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-3.1, OIEA, Viena (2006).
- [40] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 2005, Colección de Normas de Seguridad N° TS-R-1, OIEA, Viena (2005).
- [41] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Basic Ionizing Radiation Symbol, ISO 361, ISO, Ginebra (1975).
- [42] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection: Apparatus for Industrial Gamma Radiography: Specifications for Performance, Design and Tests, ISO 3999, ISO, Ginebra (2004).
- [43] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radionuclide Gauges: Gauges Designed for Permanent Installation, ISO 7205, ISO, Ginebra (1986).

- [44] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Building Competence in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Colección de Normas de Seguridad, N° RS-G-1.4, OIEA, Viena (2001).
- [45] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Colección Informes de Seguridad, N° 20, OIEA, Viena (2001).
- [46] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Management for the Prevention of Accidents From Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1205, OIEA, Viena (2001).
- [47] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Métodos para la identificación y localización de fuentes radiactivas gastadas, IAEA-TECDOC-804, Viena (1997).
- [48] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Handling, Conditioning and Storage of Spent Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1145, OIEA, Viena, (2000).
- [49] 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).

Anexo I

FACTORES RELACIONADOS CON EL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA: EJEMPLO DE UNA UNIDAD DE IRRADIACIÓN INDUSTRIAL DE GRAN TAMAÑO

En el presente anexo, la palabra “debería” se emplea solamente en el sentido que normalmente se le atribuye en el diccionario¹.

ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN

I-1. El material que figura a continuación ilustra algunos de los factores que deberían abordarse al diseñar y aplicar un sistema de seguridad radiológica. No se pretende que sea prescriptivo o exhaustivo, pero sí que contenga una reseña general a manera de orientación. Las orientaciones detalladas para prácticas de varios tipos se presentan en otras publicaciones del OIEA².

I-2. Las unidades de irradiación industrial plantean un gran riesgo potencial de radiación gamma, ya que la cantidad de radiactividad en un gran irradiador normalmente es de aproximadamente 10^{16} a 10^{17} Bq, y en algunas instalaciones supera 10^{18} Bq. La estructura orgánica de esas unidades debería reflejar un compromiso importante con la seguridad y un conocimiento constante de la seguridad radiológica por parte del personal directivo superior.

I-3. El oficial de protección radiológica debería ser designado por el personal directivo superior y ser reconocido como competente y autorizado por el

¹ En este anexo se brinda un ejemplo ilustrativo compilado del asesoramiento recibido de expertos y de fuentes múltiples. Las declaraciones con la palabra “debería” en el texto principal y los apéndices de una guía de seguridad expresan recomendaciones, e indican un consenso internacional que resulta necesario para adoptar las medidas recomendadas (o medidas sustitutivas equivalentes) para dar cumplimiento a los requisitos. Ahora bien, un anexo no forma una parte integrante de la norma, y cuando en el presente anexo se utiliza la palabra “debería”, ella no tiene este significado especial. Sólo se emplea en el sentido que normalmente se le atribuye en el diccionario.

² Entre las publicaciones que se están elaborando figuran Informes de seguridad sobre radiografía industrial, medidores de radiación y fuentes radiactivas para la diagráfia de pozos.

órgano regulador. El oficial de protección radiológica y el personal de protección radiológica (si lo hubiere) deberían disponer de suficiente tiempo para las tareas de seguridad. En el caso de las instalaciones mayores, debería designarse un oficial de protección radiológica a tiempo completo. Las responsabilidades de este funcionario deberían abarcar todos los aspectos de la seguridad radiológica: política, procedimientos de seguridad, nombramiento y capacitación del personal, garantía de calidad para la instalación de los sistemas de seguridad, vigilancia y mantenimiento de registros. Los operadores de irradiadores autorizados para operar el irradiador sin supervisión deberían ser designados por escrito por el oficial de protección radiológica. El irradiador debería mantenerse en un estado seguro de parada a menos que esté presente un operador autorizado. El titular de la licencia también debería consultar con un experto cualificado apropiado en cuestiones de protección radiológica y en modificaciones o cambios del diseño que puedan tener relación con la protección radiológica y la seguridad de la fuente.

I-4. Todo el personal debería recibir procedimientos escritos en su propio idioma para las tareas que requieran la adhesión a requisitos o procedimientos de seguridad. El personal directivo superior debería supervisar la situación de seguridad de la instalación con frecuencia, e incluir la seguridad en sus niveles de calificación del desempeño de la dirección y el personal de la instalación de irradiación.

SELECCIÓN Y CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

Personal de protección radiológica

I-5. El personal debería demostrar su capacidad para cumplir los procedimientos de seguridad tanto en las operaciones ordinarias como en situaciones de emergencia. Todos los empleados deberían, por tanto, demostrar madurez y estabilidad emocional. El oficial de protección radiológica debería tener capacitación regular y certificada en seguridad radiológica hasta un nivel apropiado a su puesto, así como experiencia de trabajo en una instalación de irradiación o en una instalación que plantee aspectos de seguridad radiológica similares. Los otros miembros del personal de seguridad radiológica deberían recibir capacitación regular en seguridad radiológica a un nivel apropiado. La capacitación regular debería complementarse con la capacitación en el empleo en la instalación de irradiación para familiarizar al personal con los requisitos de seguridad específicos de la propia instalación. Deberían impartirse cursos de

repaso periódicos al menos anualmente para recordar al personal los requisitos de seguridad y analizar los cambios en los requisitos.

Operadores

I-6. Los operadores de irradiadores no necesitan ninguna cualificación especial que no sea la apropiada para los empleos ordinarios en operaciones industriales. No obstante, cabe tener en cuenta la necesidad de hacer especial hincapié en la estabilidad psicológica de los operadores de irradiadores dada la importancia de la adhesión a los procedimientos de seguridad. Debería documentarse un programa de capacitación de los miembros del personal que éstos deberían terminar antes de comenzar a trabajar en una instalación de irradiación.

I-7. Un programa de capacitación regular debería incluir la capacitación en protección radiológica básica, la utilización de instrumentos de detección de radiaciones, los elementos de diseño y seguridad de las instalaciones de irradiación, y los procedimientos operacionales y de emergencia. Debería prestarse especial atención a los peligros de la exposición aguda a las radiaciones y de una exposición crónica excesiva. El personal debería tener capacitación adecuada en el empleo antes de trabajar sin supervisión. Los cursos de repaso (véase párrafo I-5) deberían comprender un examen de los procedimientos de seguridad, de los cambios en los requisitos o la tecnología, y del registro de seguridad de la instalación y los problemas afrontados.

CONTROL RADIOLÓGICO OCUPACIONAL

Control de dosis externas

I-8. Debido a la gran cantidad de material radiactivo presente, las instalaciones de irradiación contienen blindaje complejo y otros elementos de seguridad. A continuación figura un resumen de los elementos básicos de diseño.

Diseño de la fuente

I-9. Las fuentes de radiación de la instalación de irradiación deberían diseñarse, fabricarse y comprobarse debidamente según su prototipo para mantener su integridad en condiciones normales y, en la medida posible, en

condiciones de accidente. El suministrador debería facilitar documentación que demuestre el comportamiento de la calidad de las fuentes.

Blindaje

I-10. El blindaje de una instalación de irradiador consiste habitualmente en paredes de hormigón de gran espesor. Debería preverse blindaje tanto para el almacenamiento como para el uso del conjunto de la fuente. La mayoría de las instalaciones de irradiación utilizan una piscina de agua para almacenar el conjunto de la fuente cuando no se halla en uso, aunque algunas utilizan el almacenamiento en seco con barreras de hormigón importantes. La entrada a la sala de irradiación se diseña normalmente con un laberinto o blindaje escalonado para obviar la necesidad de una puerta fuertemente blindada. En las etapas de diseño y construcción de la instalación deberá actuarse con mucha cautela para evitar que se creen en la estructura canales de acceso no blindados que permitan que los haces de radiación escapen de la zona blindada.

Enclavamientos y alarmas

I-11. Las fuentes de radiación no blindadas pueden liberar una dosis letal en varios segundos. Por consiguiente, se requieren enclavamientos y alarmas automáticos para prevenir el acceso accidental a la zona de irradiación cuando las fuentes no estén blindadas. Los sistemas de enclavamiento pueden consistir en una serie de cierres electrónicos, detectores de movimiento e interruptores de presión que cierren automáticamente la zona blindada cuando las fuentes estén expuestas, muevan automáticamente el conjunto de la fuente a una posición blindada si una persona trata de entrar en la zona de irradiación y eviten que las fuentes estén expuestas hasta tanto esa zona haya sido despejada y no haya nadie presente. Los cierres deberían diseñarse de modo que una persona que quede atrapada en la zona de irradiación pueda salir rápidamente sin utilizar una clave o tener que seguir procedimientos especiales. Debería instalarse un dispositivo de parada de emergencia dentro de la zona de irradiación. Convendría que hubiera alarmas visibles y audibles para advertir a las personas cuando las fuentes vayan a moverse a la posición sin blindaje, cuando los niveles de radiación sean altos o si alguien ha violado un enclavamiento. Los sistemas de seguridad deberían tener incorporados principios de defensa en profundidad; es decir, deberían incluir niveles de redundancia de manera que un fallo único no propicie el acceso a zonas de tasa de dosis alta. También deberían diseñarse e instalarse sistemas de enclavamiento que funcionen con seguridad ante cualquier fallo. Los sistemas de seguridad en el punto de entrada del producto deberían permitir el paso del

transportista del producto pero evitar la entrada de personas. El método por el cual esto se logra depende mucho del diseño de la instalación, aunque puede suponer el uso de sensores de calor, compuertas automáticas y barreras locales.

Calidad del agua

I-12. Deberían suministrarse sistemas de filtrado de agua para prevenir la acumulación de sustancias corrosivas en la piscina de agua del conjunto de la fuente que puedan dañar la contención de las fuentes radiactivas. Los sistemas de filtros deberían supervisarse periódicamente para determinar niveles de radiación que indiquen un fallo de la integridad de la fuente. Debería instalarse un monitor automático del nivel del agua para advertir de niveles de agua bajos. Debería disponerse de un suministro de agua de emergencia.

Protección de la instalación

I-13. El diseño de una instalación de irradiación debería ser apropiado para el riesgo de peligros externos, en particular terremotos o tornados. Debería instalarse un sistema de protección contra incendios para extinguir cualquier fuego que se produzca en la sala de irradiación. El sistema para la manipulación del material irradiado debería estar destinado a evitar interferencia en los conjuntos de las fuentes y su mecanismo de transporte. Debería preverse ventilación y monitorización para evitar la acumulación de ozono en niveles peligrosos.

Controles administrativos

I-14. Deberían establecerse procedimientos escritos para impedir que se trate de mover la fuente a su posición sin blindaje cuando haya alguien presente en la sala de irradiación. Conviene establecer controles administrativos para prevenir que personas no autorizadas se encuentren cerca de las entradas a la sala de irradiación, incluida la sala de entrada del transportista del producto. Deberían elaborarse normas locales que especifiquen los procedimientos que hay que seguir y las precauciones que se han de tomar durante el funcionamiento de la instalación y deberían entregarse a todos los operadores. Debería utilizarse una combinación de controles técnicos y administrativos para garantizar el logro del nivel deseado de protección radiológica ocupacional [I-1].

Programa de vigilancia

I-15. Debería efectuarse una vigilancia periódica para comprobar que no hay niveles imprevistos de radiación y garantizar el mantenimiento apropiado de todo el equipo de la instalación. Debería mantenerse una lista de comprobación de vigilancia.

Posición de la fuente

I-16. Debería haber monitores de radiación que indiquen los niveles de radiación en la sala de irradiación tanto cuando la fuente se halla blindada como sin blindaje. Estos monitores de radiación deberían complementarse con indicadores electrónicos de posición de la fuente que informen a los operadores si la fuente se encuentra en una posición blindada, parcialmente blindada o sin blindaje. Dado que los niveles de radiación muy altos dañan la mayoría de los detectores, a menudo conviene que los detectores tengan algún blindaje parcial. Todos los que entren en la sala de irradiación deberían comprobar los niveles de radiación con un monitor portátil.

Blindaje

I-17. Deberían realizarse periódicamente estudios radiológicos directos para comprobar la integridad e idoneidad del blindaje, especialmente siempre que se carguen nuevas fuentes.

Monitorización ocupacional

I-18. Siempre que los operadores cumplan los procedimientos establecidos y la instalación tenga suficiente blindaje, es improbable que el personal reciba exposiciones importantes a la radiación. No obstante, es una buena práctica que al menos una muestra representativa del personal lleve dosímetros personales. Además, todo el personal que realice operaciones de servicio no ordinarias debería llevar dosímetros de alarma.

Fuentes de radiación

I-19. Las fuentes deberían comprobarse periódicamente para determinar fugas ya sea directamente o mediante el muestreo del agua y la supervisión de los sistemas de filtrado de agua.

Sistemas de seguridad

I-20. Todo el equipo, los sistemas de enclavamiento y el equipo de monitorización de una instalación de irradiación deberían comprobarse periódicamente para determinar su funcionamiento adecuado y deberían recibir mantenimiento y servicio de conformidad con las instrucciones de los suministradores. El equipo de la sala de irradiación es susceptible a daños de irradiación a largo plazo. Deberían comprobarse diariamente los sistemas de seguridad cruciales como los monitores de radiación, los enclavamientos y las alarmas.

CONTROL DE LAS EXPOSICIONES DEL PÚBLICO

I-21. Normalmente no se requieren disposiciones especiales para el control de la exposición del público, ya que el blindaje de la instalación garantizará que las exposiciones fuera de los locales estén por debajo de los niveles de referencia especificados por el órgano regulador y no se espera que los miembros del público tengan acceso a la instalación. Por lo general serán suficientes medidas de control de la exposición ocupacional que garanticen que las tasas de exposición en lugares accesibles al público sean suficientemente bajas, pero esto debería confirmarse. El control del acceso debería mantenerse para la protección contra el acceso no autorizado a la instalación de irradiación. Las fuentes de irradiación deberían someterse a disposición final devolviéndolas al fabricante, suministrador o un destinatario autorizado similar. En la mayoría de los casos el fabricante o suministrador participará directamente en el reemplazo y carga de la fuente, y también retirará las fuentes usadas.

PLANIFICACIÓN DE EMERGENCIA

I-22. En la mayoría de los incidentes que tengan lugar en instalaciones de irradiación simplemente habrá que fijar a distancia el conjunto de la fuente en la posición de almacenamiento seguro hasta que se resuelva el problema. Deberían elaborarse procedimientos de emergencia por escrito para incidentes previstos, como el atascamiento de la fuente en la posición sin blindaje, el fallo del sistema de enclavamiento, la pérdida de agua, la fuga de la fuente, un incendio y niveles de ozono excesivos. En el caso improbable de una rotura de la fuente, una alteración del blindaje o una sobreexposición a la radiación, la emergencia podría tener graves consecuencias e incluso causar la muerte, y debería velarse por que se adopten disposiciones para tratar este tipo de

emergencias [I-2 a I-4]. El plan de emergencia de la instalación debería garantizar que:

- a) La instalación se ponga de inmediato en régimen de parada y las fuentes se coloquen nuevamente en la posición de almacenamiento (si procede);
- b) Nadie entre en la sala de irradiación hasta que el oficial de protección radiológica haya evaluado la emergencia y se haya concedido la autorización;
- c) Si se altera el blindaje, se establezca y supervise una zona restringida;
- d) Se obtenga asistencia de expertos, según corresponda;
- e) La autoridad competente sea notificada inmediatamente;
- f) Los empleados que actúen en la emergencia no abandonen la instalación hasta que hayan sido evaluadas las posibles necesidades de descontaminación y atención médica.

I-23. Los procedimientos del plan de emergencia deberían ensayarse en intervalos periódicos de modo que todos los operadores conozcan las medidas que habrá que adoptar ante una emergencia y se familiaricen con ellas.

REFERENCIAS DEL ANEXO I

- [I-1] 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).
- [I-2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad, N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [I-3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, Colección de Normas de Seguridad, N° GS-G-2.1, OIEA, Viena (2006).
- [I-4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Method for Developing Arrangements for Response to a Nuclear or Radiological Emergency: EPR-Method 2003 (Updating IAEA-TECDOC-953), Emergency Preparedness and Response Series, IAEA, Viena (2003).

Anexo II

EVALUACIÓN PROBABILISTA DE LA SEGURIDAD

II-1. Para realizar una evaluación de la seguridad de una fuente de radiación, debería comprenderse la operación prevista de la fuente y los modos en que el proceso puede desviarse de la operación prevista. Particularmente importantes son las desviaciones que podrían propiciar consecuencias no deseadas, como una emisión de material radiactivo debida a daños de la fuente y, como consecuencia, una posible exposición a altos niveles de radiación.

II-2. En la evaluación de la seguridad para determinar el funcionamiento normal se tienen en cuenta todas las condiciones en que la fuente de radiación funciona con arreglo a lo previsto, incluidas todas las fases del tiempo de vida de la fuente. Es preciso considerar debidamente los diferentes factores y condiciones que serán aplicables durante las fases no operacionales, como la instalación, la puesta en servicio y el mantenimiento.

II-3. En las evaluaciones de la seguridad será necesario definir posibles condiciones anormales y sus causas, como fallos de sistemas de protección o errores humanos, para determinar un funcionamiento incorrecto. La probabilidad, la importancia y las consecuencias de esas condiciones anormales se evalúan seguidamente mediante una metodología apropiada de análisis de riesgos; más adelante figuran algunos ejemplos. El análisis probabilista de la seguridad (APS) es una técnica establecida en la evaluación de riesgos para las centrales nucleares [II-1], y gran parte de la experiencia adquirida de este análisis puede adaptarse en forma simplificada a aplicaciones complejas relacionadas con fuentes de radiación. Como se señala en el párrafo 3.8, la incapacidad de los análisis para dar cuenta adecuadamente de los factores humanos impone alguna limitación con respecto al valor de estas evaluaciones.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD

II-4. Hay varios métodos establecidos que pueden utilizarse para efectuar una evaluación sistemática de riesgos. Estos métodos fueron elaborados en varias industrias, pero pueden adaptarse para emplearlos en el análisis de la seguridad de prácticas en que se utilizan fuentes de radiación. En algunos casos, quizás sea necesaria una combinación de técnicas. Las breves

descripciones que se presentan a continuación sirven sólo de introducción al tema. Hay una vasta literatura sobre la evaluación de la seguridad y el análisis de riesgos; un buen punto de partida para otras lecturas en el contexto de la seguridad radiológica es la Publicación 76 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) [II-2].

Análisis de árbol de sucesos

II-5. Los árboles de sucesos sirven de medio gráfico para representar una secuencia de distintos sucesos que pueden culminar en un fallo de la protección. Los árboles de sucesos comienzan con un suceso iniciador que causa una secuencia de órdenes en los componentes del sistema de seguridad, y establece posibles sucesos y trayectorias consiguientes, que se ramifican en cada nodo o suceso en el árbol. Los nodos corresponden a las órdenes dadas a cada componente del sistema de seguridad, y las ramas indican el éxito o fracaso del componente. De esta manera se crea una estructura lógica que puede vincular el suceso iniciador a cualquiera de los sucesos resultantes. Además, si pueden asignarse probabilidades a cada suceso, la probabilidad de un suceso resultante puede computarse matemáticamente.

II-6. Para ilustrar la técnica, considérese el ejemplo siguiente, adaptado de la Ref. [II-2]. La fuente de radiación se utiliza para irradiar un objeto o material en un recinto o sala de exposición (Fig. II-1). La fuente puede ser un conjunto de rayos X que puede desconectarse o una fuente radiactiva en un contenedor de fuente con un obturador que puede cerrarse. En este ejemplo simplificado e hipotético, el sistema de protección consiste en una serie de enclavamientos diseñada para colocar la fuente en una condición segura si alguien entra a la sala de exposición durante la operación. El primer enclavamiento monitoriza la puerta a la sala de exposición mediante un sensor. Si el sensor detecta que la puerta ha sido abierta, envía una señal a un accionador para cerrar el obturador o desconectar el haz de rayos X. El segundo enclavamiento es un sensor de proximidad montado cerca de la propia fuente. Si detecta una persona en la proximidad, envía una señal al accionador en el obturador o el suministro de energía.

II-7. El suceso iniciador en este ejemplo ocurre cuando una persona entra en la sala de exposición durante la operación. En la práctica, por supuesto, habría procedimientos establecidos para garantizar que esto no suceda, pero en este caso nos preocupa sólo una pequeña parte del sistema global de seguridad. Si alguno de los sensores funciona, el accionador recibe una señal para desconectar la fuente. Si

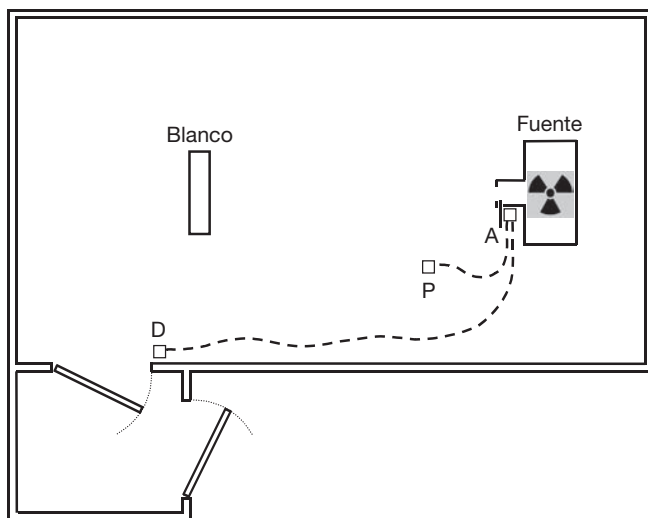


FIG. II-1. Sala de exposición con sensor de la puerta (D), sensor de proximidad (P) y accionador del obturador (A).

ambos fallan, empero, el accionador no recibirá una señal y la exposición continuará, provocando un fallo del sistema de seguridad y la exposición de la persona. Asimismo, si el accionador deja de funcionar cuando recibe una señal de uno de los sensores, el sistema de protección fallará. El árbol de sucesos que describe esta situación se muestra en la Fig. II-2.

II-8. Obsérvese que no todas las permutaciones aparecen en la Fig. II-2. Por ejemplo, si ambos sensores fallan, el accionador no recibe una orden, de modo que la prueba “¿funciona el accionador?” es redundante en este caso. Igualmente, si el sensor de la prueba funciona, la prueba “¿funciona el sensor de proximidad?” es redundante. Para cuantificar la probabilidad general de fallo es preciso identificar y eliminar las trayectorias redundantes, y dejar los “conjuntos de corte mínimos”. El examen completo de este tema rebasa el alcance del presente anexo, y la explicación que figura más adelante bastará en este caso.

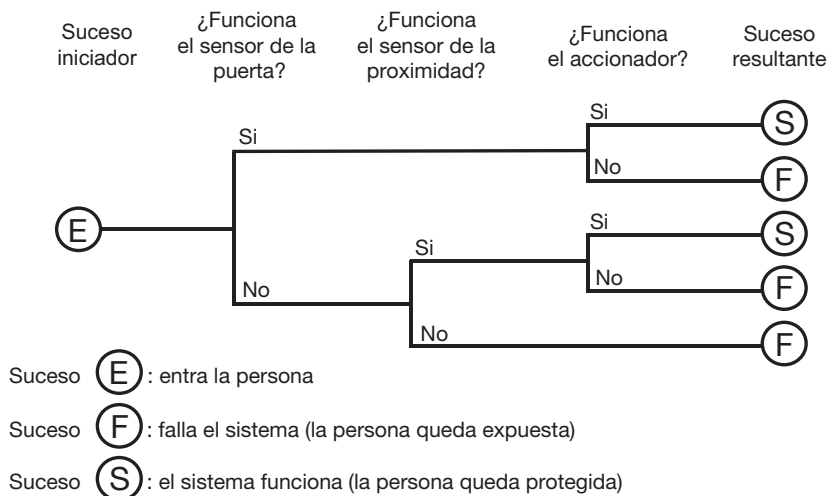


FIG. II-2. Árbol de sucesos para un sistema simplificado de seguridad de enclavamientos.

El fallo de un componente se conoce como “corte”, y una secuencia (“conjunto”) de fallos del componente se denomina “conjunto de corte” si causa un fallo de todo el sistema. Un conjunto de corte mínimo puede definirse como una combinación mínima de sucesos de fallos que origina el fallo de todo el sistema. Para ilustrarlo, considérese el conjunto completo de posibles fallos de componentes para el ejemplo anterior:

- El sensor de la puerta falla;
- El sensor de proximidad falla;
- El accionador falla;
- Ambos sensores fallan;
- El sensor de la puerta y el accionador fallan;
- El sensor de proximidad y el accionador fallan; o
- Ambos sensores y el accionador fallan.

De estos posibles resultados, a) y b) no desembocan en un fallo del sistema, de modo que no son conjuntos de corte. Además, e), f) y g) son duplicativos cada uno porque si el accionador falla no importa si los sensores funcionan, y por tanto, no se trata de conjuntos de corte mínimos. Por otra parte, c) y d) son conjuntos de corte mínimos porque cada uno de ellos define un conjunto mínimo de fallos que redundan en el fallo de todo el sistema.

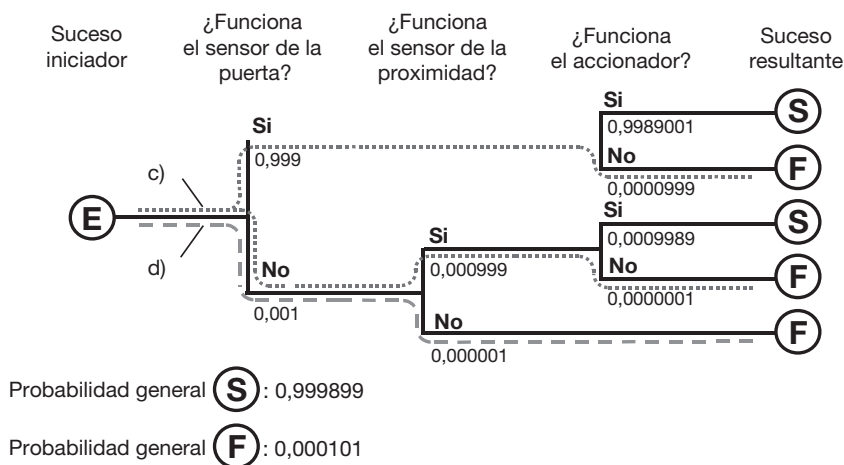


FIG. II-3. Árbol de sucesos en que se indican conjuntos de corte mínimos.

II-9. Estas secuencias de fallos se ilustran en la Fig. II-3 con las líneas interrumpidas c) y d). Si las probabilidades de fallo de cada componente pueden estimarse, es posible asignar probabilidades a los puntos de las ramas del árbol, como se muestra en la figura. Si la probabilidad de fallo de cada sensor es 10^{-3} por orden (es decir, en una ocasión cada 1 000 veces que se entra en la sala) y la probabilidad de fallo del accionador es 10^{-4} , la probabilidad¹ global de fallo del accionador es $1,01 \times 10^{-4}$.

II-10. Un resultado de este análisis que se hace evidente de inmediato es que el eslabón más débil de la cadena es el accionador. Este riesgo de fallo es cien veces mayor que el riesgo de que fallen ambos sensores. Para mejorar la seguridad, podría utilizarse un accionador más fiable o podría instalarse paralelamente un doble accionador. Ello demuestra el valor de este enfoque desde el punto de vista del análisis de sensibilidad: proporciona un medio para identificar los componentes fundamentales del sistema que dominan el riesgo general de fallo.

¹ Obsérvese que las cifras se dan con un grado de precisión poco realista en estos cálculos ilustrativos para mostrar la operación. En la práctica, probablemente sea apropiada una sola cifra significativa.

Análisis del árbol de fallos

II-11. El árbol de fallos analiza un sistema de seguridad desde la perspectiva del resultado final o fallo, denominado “suceso límite”. Crear un árbol de fallos es como analizar un árbol de sucesos en sentido inverso, en que los componentes del sistema de seguridad se evalúan trabajando retrospectivamente para descubrir qué pudo haber causado el suceso límite. Los árboles de fallos también incluyen expresamente símbolos de lógica booleana, que pueden hacer su evaluación, especialmente el análisis numérico de riesgos, más fácil de realizar que en el caso de los árboles de sucesos. Otra diferencia estriba en que los árboles de fallos pueden ser multinodales (es decir, un nodo o símbolo lógico puede conectarse a varios sucesos precedentes), mientras que los árboles de sucesos sólo tienen ramas binarias.

II-12. En la Fig. II-4 se presenta un árbol de fallos sencillo que ilustra el sistema de enclavamiento anterior. Se utilizan recuadros para representar sucesos, y el árbol lógico conecta el suceso límite con el suceso iniciador en la parte inferior. La utilidad de las puertas lógicas es evidente: las puertas Y corresponden a probabilidades multiplicativas, mientras que las puertas O corresponden a probabilidades aditivas.

Determinación de secuencias de fallos

II-13. Aunque los árboles de sucesos y los árboles de fallos contienen representaciones gráficas valiosas de secuencias de sucesos, los propios sucesos, y los escenarios en que ocurren, se analizarían mediante el examen de cada uno de los elementos del sistema de seguridad y sus interdependencias y evaluando qué podría fallar. Hay varios métodos establecidos para llevar a cabo estos análisis, como los estudios sobre peligros y operabilidad y el análisis de las modalidades de fallo y sus efectos. Los estudios sobre peligros y operabilidad (Hazop) analizan cada uno de los componentes de un sistema desde la perspectiva de las desviaciones de su operación prevista. Las desviaciones se categorizan mediante palabras clave como “ninguna de”, “más de”, “parte de” y “menos de”; las posibles causas de una desviación se investigan y sus efectos se enumeran. El análisis de modalidades de fallos y sus efectos (FMEA) es un método similar que se centra en la determinación de las modalidades de fallo y sus consecuencias. Los componentes se tabulan y cada asiento de la tabla incluye la modalidad de fallo del componente, sus posibles causas y los efectos del fallo en los componentes adyacentes o subsiguientes.

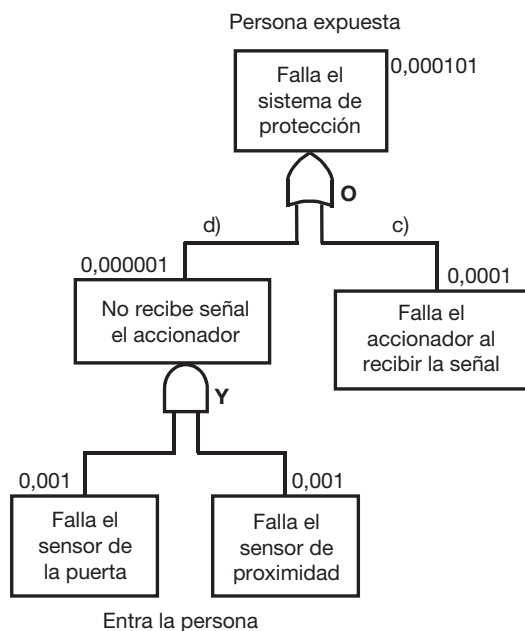


FIG. II-4. Árbol de fallos para sistema simplificado de seguridad de enclavamientos.

II-14. La experiencia ha demostrado que la acción (o la inacción) humana es con frecuencia un factor dominante que contribuye a la exposición accidental a la radiación. En consecuencia, el comportamiento humano — en particular en momentos de estrés — requiere especial atención. Aunque los métodos examinados con anterioridad se elaboraron inicialmente para evaluar dispositivos o sistemas y procesos mecánicos, también pueden dar cabida a factores humanos que afectan a la seguridad. El análisis de fiabilidad humana (HRA) es un método que fue desarrollado para abordar los factores asociados con el comportamiento humano en una actividad, utilizando el análisis de errores humanos y el análisis de tareas, tanto cualitativos como cuantitativos, para determinar los efectos de posibles errores humanos en un sistema.

II-15. La incapacidad de los seres humanos para actuar adecuadamente cuando se les pide puede tomarse en cuenta introduciendo el ser humano como un componente del sistema de seguridad. La cuantificación de errores humanos es difícil y entraña varios factores, como la capacitación anterior, las condiciones de trabajo y el estrés, que sirven de contexto para la comisión de un error. Aunque la cifra de 10^{-3} por orden se considera una opción razonable para una tasa de errores humanos en muchas situaciones complejas, ésta puede

ser 10^{-2} por orden o mayor, según los factores antedichos [II-2]. También es posible que la probabilidad de que se repita un error aumente si hechos anteriores no producen resultados indeseables que se definan como tales. El análisis de fiabilidad humana se utiliza ampliamente en las evaluaciones probabilistas de la seguridad de las centrales nucleares [II-3], y gran parte de la experiencia obtenida de ello es adaptable a las circunstancias relacionadas con las fuentes de radiación. Ahora bien, este análisis no puede representar adecuadamente las acciones que están en franca contravención de los procedimientos operacionales, como la elusión deliberada de elementos de seguridad.

REFERENCIAS DEL ANEXO II

- [II-1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Procedures for Conducting Probabilistic Safety Assessments of Nuclear Power Plants (Level 1), Colección Seguridad N° 50-P-4, OIEA, Viena (1992).
- [II-2] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources, Publicación 76, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1997).
- [II-3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Human Reliability Analysis in Probabilistic Safety Assessment of Nuclear Power Plants, Colección Seguridad N° 50-P-10, OIEA, Viena (1995).

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y EXAMEN

Mason, G.C.	Organismo Internacional de Energía Atómica
McEwan, A.	Consultor (Nueva Zelandia)
Oresegun, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Ortiz-López, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Paynter, R.	Junta Nacional de Protección Radiológica (Reino Unido)
Reber, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Wheatley, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica

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

El asterisco indica que se trata de un miembro corresponsal. Estos miembros reciben borradores para formular comentarios, así como otra documentación pero, generalmente, 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. (Presidente); India: Sharma, S.K.; Israel: Levanon, I.; Japón: Abe, K.; Pakistán: Hashmi, J.; Reino Unido: Weightman, M.; República Checa: Drábová, D.; Sudáfrica: Magugumela, M.T.; Suecia: Holm, L.-E.; Suiza: Schmocker, U.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Tanaka, T.; Comisión Europea: Waeterloos, C.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Holm, L.-E.; OIEA: Karbassioun, A. (Coordinador);

Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Herttrich, M.; Argentina: Sajaroff, P.; Australia: MacNab, D.; Austria: Sholly, S.; Bélgica: Govaerts, P.; Brasil: de Queiroz Bogado Leite, S.; *Bulgaria: Gladychiev, Y.; Canadá: Newland, D.; China: Wang, J.; *Chipre: Demetriades, P.; Corea, República de: Kim, H.-K.; Croacia: Valèiæ, I.; Egipto: Aly, A.I.M.; Eslovaquia: Uhrik, P.; Eslovenia: Levstek, M.F.; España: Zarzuela, J.; Estados Unidos de América: Mayfield, M.E.; Federación de Rusia: Shvetsov, Y.E.; Finlandia: Reiman, L. (Presidente); Francia: Saint Raymond, P.; *Grecia: Camarinopoulos, L.; Hungría: Vöröss, L.; India: Kushwaha, H.S.; Irán, República Islámica del: Alidousti, A.; *Iraq: Khalil Al-Kamil, A.-M.; Irlanda: Hone, C.; Israel: Hirshfeld, H.; Italia: Bava, G.; Japón: Nakamura, K.; Lituania: Demèenko, M.; México: González Mercado, V.; Países Bajos: Jansen, R.; Pakistán: Habib, M.A.; Paraguay: Troche Figueredo, G.D.; *Perú: Ramírez Quijada, R.; Portugal: Reino Unido: Vaughan, G.J.; Marques, J.J.G.; República Checa: Böhml, K.; Rumania: Biro, L.; Sudáfrica: Bester, P.J.; Suecia: Hallman, A.; Suiza: Aeberli, W.; *Tailandia: Tanipanichskul, P.; Turquía: Bezdegumeli, U.; Ucrania: Bezsalýi, V.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Reig, J.; *Asociación Nuclear*

Mundial: Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea*: Vigne, S.; *OIEA*: Feige, G. (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*: Rydlevski, L.; *Bélgica*: Smeesters, P.; *Brasil*: Rodriguez Rochedo, E.R.; **Bulgaria*: Katsarska, L.; *Canadá*: Clement, C.; *China*: Yang, H.; **Chipre*: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Lee, B.; *Costa Rica*: Pacheco Jimenez, R.; *Cuba*: Betancourt Hernandez, L.; *Dinamarca*: Ohlen-chlager, M.; **Egipto*: Hassib, G.M; *Eslovaquia*: Jurina, V.; *Eslovenia*: Sutej, T.; *España*: Amor, I.; *Estados Unidos de América*: Miller, C.; *Federación de Rusia*: Savkin, M.; *Filipinas*: Valdezco, E.; *Finlandia*: Markkanen, M.; *Francia*: Godet, J.; **Grecia*: Kamenopoulou, V.; *Hungría*: Koblinger, L.; *India*: Sharma, D.N.; *Indonesia*: Akhadi, M.; *Irán, República Islámica del*: Rastkhah, N.; **Iraq*: Khalil Al-Kamil, A.-M.; *Irlanda*: Colgan, T.; *Islandia*: Magnusson, S. (Presidente); *Israel*: Laichter, Y.; *Italia*: Bologna, L.; *Japón*: Yoda, N.; *Letonia*: Salmins, A.; *Malasia*: Rehir, D.; *Marruecos*: Tazi, S.; *México*: Maldonado Mercado, H.; *Noruega*: Saxebol, G.; *Países Bajos*: Zuur, C.; *Pakistán*: Mehboob, A.E.; *Paraguay*: Idoyago Navarro, M *Portugal*: Dias de Oliveira, A.; *Reino Unido*: Robinson, I.; *República Checa*: Petrova, K.; *Rumania*: Rodna, A.; *Sudáfrica*: Olivier, J.H.I.; *Suecia*: Hofvander, P.; *Suiza*: Pfeiffer, H.J.; **Tailandia*: Wanitsuksombut, W.; *Turquía*: Okyar, H.; *Ucrania*: Holubiev, V.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Lazo, T.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea*: Janssens, A.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas*: Crick, M.; *Oficina Internacional del Trabajo*: Niu, S.; *OIEA*: Boal, T. (Coordinador); *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*: Byron, D.; *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*: López Vietri, J.; *Australia*: Sarkar, S.; *Austria*: Kirchnawy, F.; *Bélgica*: Cottens, E.; *Brasil*: Mezrahi, A.; *Bulgaria*: Bakalova, A.; *Canadá*: Faille, S.; *China*: Qu, Z.; **Chipre*: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Kim, Y.-J.; *Croacia*: Kubelka, D.; *Cuba*: Quevedo Garcia, J.R.; *Dinamarca*:

Breddan, K.; **Egipto*: El-Shinawy, R.M.K.; *España*: Zamora Martin, F.; *Estados Unidos de América*: Brach, W.E.; Boyle, R.; *Federación de Rusia*: Ershov, V.N.; *Filipinas*: Kinilitan-Parami, V.; *Finlandia*: Tikkinen, J.; *Francia*: Aguilar, J.; **Grecia*: Vogiatzi, S.; *Hungría*: Sáfár, J.; *India*: Agarwal, S.P.; *Irán*, *República Islámica del*: Kardan, M.R.; **Iraq*: Khalil Al-Kamil, A.-M.; *Irlanda*: Duffy, J. (Presidente); *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Trivelloni, S.; *Japón*: Amano, M.; *Malasia*: Sobari, M.P.M.; *Noruega*: Hornkjøl, S.; *Nueva Zelanda*: Ardouin, C.; *Países Bajos*: Van Halem, H.; *Pakistán*: Rashid, M.V.; *Paraguay*: More Torres, L.E.; *Portugal*: Buxo da Trindade, R.; *Reino Unido*: Young, C.N.; *República Checa*: Ducháèek, *Rumania*: Vieru, G.; *Sudáfrica*: Jutle, K.; *Suecia*: Dahlin, G.; *Suiza*: Knecht, B.; **Tailandia*: Wanitsuksombut, W.; *Turquía*: Ertürk, K.; *Ucrania*: Sakalo, V.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional*: Abouchaar, J.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*: Kervella, O.; *Comisión Europea*: Venchiarutti, J.-C.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas*: Tisdall, A.; *Instituto Mundial de Transporte Nuclear*: Green, L.; *OIEA*: Wangler, M.E. (Coordinador); *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.; P.; *Unión Postal Universal*: Giroux, P.

Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

Argentina: Siraky, G.; *Australia*: Williams, G.; *Austria*: Hohenberg, J.; *Bélgica*: Baekelandt, L.; *Brasil*: Heilbron, P.; **Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Lojk, R.; *China*: Fan, Z.; **Chipre*: Demetriades, P.; *Corea*, *República de*: Park, W.; *Croacia*: Subasic, D.; *Cuba*: Salgado Mojena, M.; *Dinamarca*: Nielsen, C.; **Egipto*: El-Adham, K.E.A.; *Eslovaquia*: Koneèny, L.; *Eslovenia*: Mele, I.; *España*: Sanz, M.; *Estados Unidos de América*: Camper, L.; *Federación de Rusia*: Poluektov, P.P.; *Finlandia*: Ruokola, E.; *Francia*: Cailleton, R.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Raj, K.; *Indonesia*: Yatim, S.; *Irán*, *República Islámica del*: Ettehadian, M.; **Iraq*: Abass, H.; *Israel*: Dody, A.; *Italia*: Dionisi, M.; *Japón*: Ito, Y.; **Letonia*: Salmis, A.; *Lituania*: Paulikas, V.; *Marruecos*: Soufi, I.; *México*: Aguirre Gómez, J.; **Noruega*: Sorlie, A.; *Países Bajos*: Selling, H.; *Pakistán*: Rehman, R.; *Paraguay*: Facetti Fernandez, J.; *Portugal*: Flausino de Paiva, M.; *Reino Unido*: Wilson, C.; **República Checa*: Lieteva, P.; *Rumania*: Tuturici, I.; *Sudáfrica*: Pather, T. (Presidente); *Suecia*: Wingefors, S.; *Suiza*: Zurkinden, A.; *Turquía*: Özdemir, T.; *Ucrania*: Iievlev, S.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea*: Hilden, W.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinador); *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 nucleoelectrónica, 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 978-92-0-307409-4

ISSN 1020-5837