

# Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

## Seguridad radiológica en la radiografía industrial

Guía de seguridad específica

Nº SSG-11



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

# NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

## NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

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

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

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

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

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

## PUBLICACIONES CONEXAS

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

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

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

Las publicaciones relacionadas con la seguridad física aparecen en la **Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA**.

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

SEGURIDAD RADIOLÓGICA  
EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

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

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

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° SSG-11

# SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

GUÍA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2013

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

© OIEA, 2013  
Impreso por el OIEA en Austria  
Diciembre de 2013

SEGURIDAD RADIOLÓGICA  
EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL  
OIEA, VIENA, 2013  
STI/PUB/1466  
ISBN 978-92-0-338710-1  
ISSN 1020-5837

# PRÓLOGO

**de Yukiya Amano**  
**Director General**

El OIEA está autorizado por su Estatuto a “establecer o adoptar [...] 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 los Estados pueden aplicar mediante sus disposiciones de reglamentación de la seguridad nuclear y radiológica. A esos efectos, el OIEA consulta con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados pertinentes. Un amplio conjunto de normas de alta calidad revisadas periódicamente es un elemento clave de un régimen de seguridad mundial estable y sostenible, como también lo es la asistencia del OIEA en la aplicación de esas normas.

El OIEA inició su programa de normas de seguridad en 1958. El énfasis puesto en su calidad, idoneidad y mejora continua ha redundado en el uso generalizado de las normas del OIEA en todo el mundo. La Colección de Normas de Seguridad incluye ahora Principios fundamentales de seguridad unificados, que representan un consenso internacional acerca de lo que debe constituir un alto grado de protección y seguridad. Con el firme apoyo de la Comisión sobre Normas de Seguridad, el OIEA se esfuerza por promover la aceptación y el uso a escala mundial de sus normas.

Las normas solo son eficaces si se aplican adecuadamente en la práctica. Los servicios de seguridad del OIEA abarcan el diseño, la selección de emplazamientos y la seguridad técnica, la seguridad operacional, la seguridad radiológica, la seguridad en el transporte de materiales radiactivos y la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos, así como la organización a nivel gubernamental, las cuestiones relacionadas con reglamentación y la cultura de la seguridad en las organizaciones. Estos servicios de seguridad prestan asistencia a los Estados Miembros en la aplicación de las normas y posibilitan el intercambio de experiencias y conocimientos valiosos.

La reglamentación de la seguridad es una responsabilidad nacional, y muchos Estados han decidido adoptar las normas del OIEA para incorporarlas en sus reglamentos nacionales. Para las partes en las diversas convenciones internacionales sobre seguridad, las normas del OIEA son un medio coherente y fiable de asegurar el cumplimiento eficaz de las obligaciones emanadas de esas convenciones. Los órganos reguladores y los explotadores de todo el mundo también aplican las normas para mejorar la seguridad en la generación de energía nucleoelectrónica y en los usos de la energía nuclear en la medicina, la industria, la agricultura y la investigación.

La seguridad no es un fin en sí misma, sino un requisito indispensable para la protección de las personas en todos los Estados y del medio ambiente, en la actualidad y en el futuro. Los riesgos relacionados con la radiación ionizante deben evaluarse y controlarse sin restringir indebidamente la contribución de la energía nuclear al desarrollo equitativo y sostenible. Los Gobiernos, órganos reguladores y explotadores de todo el mundo deben velar por que los materiales nucleares y las fuentes de radiación se utilicen con fines benéficos y de manera segura y ética. Las normas de seguridad del OIEA están concebidas para facilitar esa tarea, y aliento a todos los Estados Miembros a hacer uso de ellas.

# **NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA**

## **ANTECEDENTES**

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

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

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

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

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

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

## **LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA**

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

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

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

Las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física<sup>1</sup> tienen en común la finalidad de proteger la vida y la salud humanas y el medio ambiente. Las medidas de seguridad tecnológica y de seguridad física deben diseñarse y aplicarse en forma integrada, de modo que las medidas de seguridad física no comprometan la seguridad tecnológica y las medidas de seguridad tecnológica no comprometan la seguridad física.

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

## **Nociones Fundamentales de Seguridad**

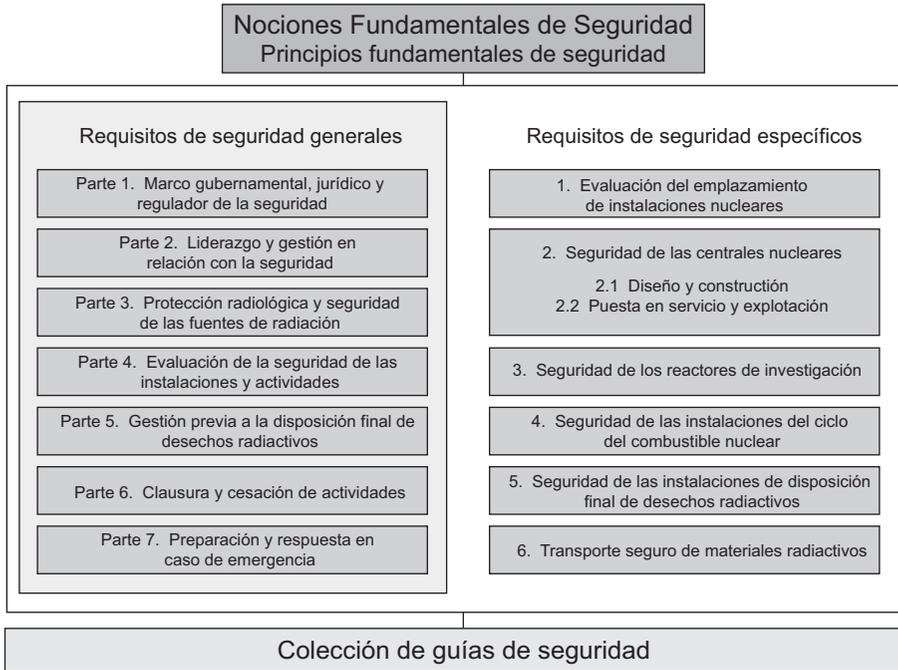
Las Nociones Fundamentales de Seguridad presentan los objetivos y principios fundamentales de protección y seguridad, y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

## **Requisitos de Seguridad**

Un conjunto integrado y coherente de requisitos de seguridad establece los requisitos que se han de cumplir para garantizar la protección de las personas y el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro. Los requisitos se rigen por los objetivos y principios de las Nociones Fundamentales de Seguridad. Si los requisitos no se cumplen, deben adoptarse medidas para alcanzar o restablecer el

---

<sup>1</sup> Véanse también las publicaciones de la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA



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

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

### **Guías de seguridad**

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

## APLICACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

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

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

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

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

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

## PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas de seguridad y formular observaciones sobre los proyectos de norma. Los miembros de la Comisión sobre Normas de Seguridad son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

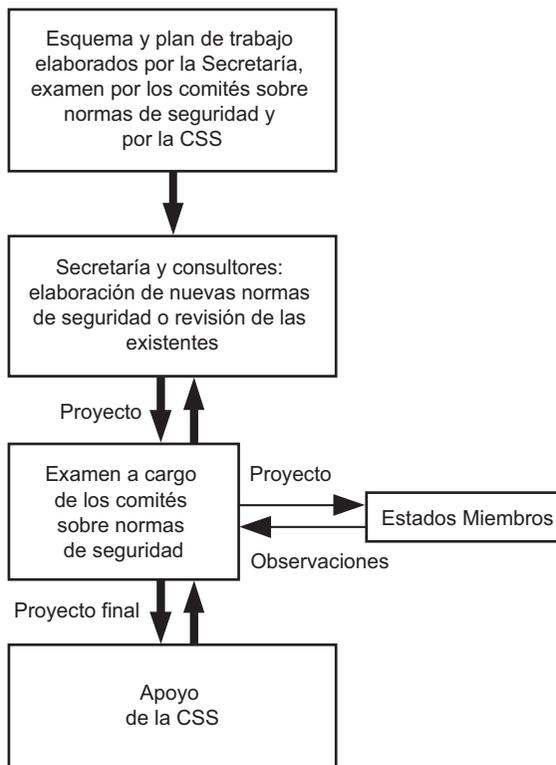


Fig. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente

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

## INTERACCIÓN CON OTRAS ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

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

## INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

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

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

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

Cuando figuran en la publicación, los apéndices se consideran parte integrante de la norma de seguridad. El material que figura en un apéndice tiene el mismo valor que el texto principal y el OIEA asume su autoría. Los anexos y notas de pie de página del texto principal, en su caso, se utilizan para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Los anexos y notas

de pie de página no son parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. La información procedente de otras fuentes, que se presenta en los anexos, puede extraerse y adaptarse, según convenga, para que sea de utilidad general.



# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Antecedentes (1.1 a 1.5) .....	1
	Objetivo (1.6 a 1.7) .....	2
	Alcance (1.8 a 1.11) .....	2
	Estructura (1.12 a 1.14) .....	3
2.	OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES .....	4
	Aspectos generales (2.1) .....	4
	La entidad explotadora (2.2 a 2.12) .....	4
	Oficiales de protección radiológica (2.13 a 2.15) .....	7
	Expertos cualificados (2.16 a 2.18) .....	8
	Trabajadores (2.19 a 2.25) .....	9
	El cliente (2.26 a 2.30) .....	11
3.	EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD .....	12
	Aspectos generales (3.1 a 3.3) .....	12
	Metodología para la evaluación de la seguridad (3.4) .....	12
	Resultados de la evaluación de la seguridad (3.5) .....	13
	Revisiones de la evaluación de la seguridad (3.6) .....	14
4.	PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....	14
	Objetivos y alcance (4.1 a 4.3) .....	14
	Estructura y contenido (4.4 y 4.5) .....	15
	Estructura y políticas de gestión (4.6 a 4.27) .....	16
	Registro de la evaluación de la seguridad (4.28) .....	21
	Comité de seguridad radiológica (4.29) .....	21
5.	CAPACITACIÓN Y CUALIFICACIÓN .....	21
	Aspectos generales (5.1 a 5.2) .....	22
	Diseño de un programa de capacitación (5.3 a 5.5) .....	22
	Estructura y contenido del curso de capacitación (5.6 y 5.7) .....	23
	Cursos de perfeccionamiento (5.8–5.9) .....	24

6.	MONITORIZACIÓN INDIVIDUAL DE LOS TRABAJADORES. . . . .	25
	Evaluación de la dosis individual (6.1 a 6.5) . . . . .	25
	Monitores personales de alarma (6.6 a 6.9) . . . . .	26
	Dosímetros de lectura directa (6.10 a 6.14) . . . . .	27
	Conservación de registros (6.15 a 6.18) . . . . .	28
	Investigación de dosis (6.19) . . . . .	29
	Vigilancia de la salud (6.20) . . . . .	29
7.	MONITORIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO . . . . .	30
	Programa de monitorización (7.1 y 7.2) . . . . .	30
	Selección, mantenimiento y calibración de medidores de radiación (7.3 a 7.7) . . . . .	31
8.	CONTROL DE LAS FUENTES RADIATIVAS (8.1 a 8.6) . . . . .	32
9.	SEGURIDAD DE LAS FUENTES DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL Y DE LOS DISPOSITIVOS DE EXPOSICIÓN . . . . .	34
	Aspectos generales (9.1 a 9.3) . . . . .	43
	Fuentes de gammagrafía y dispositivos de exposición (9.4 a 9.36) . . . . .	35
	Generadores de rayos X (9.37 a 9.50) . . . . .	43
10.	RADIOGRAFÍA EN RECINTOS BLINDADOS . . . . .	47
	Aspectos generales (10.1 a 10.3) . . . . .	47
	Diseño y blindaje (10.4 a 10.12) . . . . .	48
	Zonas controladas y zonas supervisadas (10.13 y 10.14) . . . . .	49
	Sistemas de seguridad y sistemas de alerta inherentes a la gammagrafía (10.15 a 10.24) . . . . .	50
	Sistemas de seguridad y sistemas de alerta inherentes a los generadores de rayos X (10.25 a 10.33) . . . . .	52
	Procedimientos de radiografía (10.34 a 10.44) . . . . .	54
	Clausura (10.45) . . . . .	55
11.	RADIOGRAFÍA IN SITU . . . . .	57
	Aspectos generales (11.1 a 11.4) . . . . .	57
	Preparación para la radiografía <i>in situ</i> (11.5 y 11.6) . . . . .	57
	Cooperación con el cliente (11.7 a 11.10) . . . . .	58

Delimitación de la zona controlada (11.11 a 11.15) . . . . .	59
Señales de alerta (11.16 y 11.17) . . . . .	59
Avisos (11.18) . . . . .	60
Patrullaje y monitorización del límite de la zona (11.19 a 11.21) . . . . .	60
Monitorización (11.22 a 11.26) . . . . .	61
Otras precauciones para la gammagrafía <i>in situ</i> (11.27 a 11.39) . . . . .	62
Otras precauciones para la radiografía de rayos X <i>in situ</i> , incluido el uso de aceleradores (11.40 a 11.44) . . . . .	65
 12. TRANSPORTE DE FUENTES RADIATIVAS . . . . .	 66
Desplazamiento dentro del lugar de trabajo (12.1 a 12.2) . . . . .	66
Transporte a otro lugar (12.3 a 12.9) . . . . .	66
 13. PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA CASOS DE EMERGENCIA . . . . .	 68
Aspectos generales (13.1 a 13.6) . . . . .	68
Elaboración de planes de emergencia (13.7 a 13.10) . . . . .	69
Tipos de emergencia (13.11 a 13.13) . . . . .	70
Contenido de un plan de emergencia básico (13.14 a 13.16) . . . . .	71
Equipo de emergencia (13.17 a 13.19) . . . . .	73
Procedimientos de emergencia específicos (13.20 y 13.21) . . . . .	74
Capacitación y ejercicios (13.22 a 13.24) . . . . .	76
Exámenes periódicos de los planes y el equipo (13.25 y 13.26) . . . . .	76
Presentación de informes (13.27 a 13.30) . . . . .	76
 APÉNDICE: CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES RADIATIVAS ELABORADA POR EL OIEA . . . . .	 79
 REFERENCIAS . . . . .	 83
 ANEXO I: EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD . . . . .	 87
 ANEXO II: RESEÑA DE FUENTES Y EQUIPOS DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL . . . . .	 94
 ANEXO III: EJEMPLOS DE ACCIDENTES EN RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL . . . . .	 98

COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN . . . . .	107
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA . . . . .	109

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. Las aplicaciones de la radiación ionizante aportan muchos beneficios a la humanidad: desde la generación de energía hasta los usos en la medicina, la industria y la agricultura. Una de las aplicaciones industriales de la radiación de más larga data es el empleo de la radiografía para el ensayo no destructivo de elementos de equipo. La radiografía industrial sirve de medio para verificar la integridad física del equipo y de estructuras como vasijas, tuberías, juntas soldadas, piezas fundidas, y otros dispositivos. La integridad estructural de esos equipos y estructuras afecta no solo a la seguridad y calidad de los productos, sino también a la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

1.2. Los trabajos de radiografía industrial plantean muy poco riesgo si se realizan en condiciones de seguridad. No obstante, los incidentes relacionados con fuentes de radiografía industrial han originado a veces altas dosis para los trabajadores y causado graves consecuencias para la salud, como quemaduras por radiación y, en algunos casos, la muerte. Los miembros del público también han sufrido sobreexposiciones a la radiación cuando las fuentes radiactivas utilizadas para la radiografía industrial no han sido controladas o reguladas adecuadamente. Asimismo, incidentes relacionados con la corrosión o avería de las fuentes han provocado la contaminación de las personas y el medio ambiente. Las actividades de radiografía industrial por su propia naturaleza suelen llevarse a cabo en condiciones de trabajo difíciles, como en espacios confinados o de extremo frío o calor. El trabajo en tales condiciones desfavorables podría dar lugar a situaciones operacionales que pongan en peligro el principio de mantener las dosis al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse. Todos estos aspectos demuestran la necesidad de que el personal directivo superior promueva una cultura de la seguridad en sus organizaciones para que la seguridad sea la principal prioridad.

1.3. En la presente guía de seguridad se da por sentado que el Estado tiene establecida una estructura eficaz de seguridad radiológica desde el punto de vista gubernamental, jurídico y reglamentario que abarca la radiografía industrial<sup>1</sup> [1 a 4].

---

<sup>1</sup> Por “radiografía industrial” se entiende en la presente guía de seguridad la radiografía industrial en que intervienen fuentes de radiación y por “radiación”, la radiación ionizante. La terminología empleada en esta publicación se define y explica en el Glosario de Seguridad del OIEA, Edición de 2007 [5] (véase también <http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>).

1.4. La presente guía de seguridad reemplaza la guía N° 13 de la Colección de Informes de Seguridad titulada “Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography”<sup>2</sup>.

1.5. A menos que se indique lo contrario, los términos se emplean con el significado que se les atribuye en el Glosario de Seguridad del OIEA (Edición de 2007) [5].

## OBJETIVO

1.6. En las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (las NBS) [2] se especifican los requisitos básicos para la protección de las personas contra la radioexposición y para la seguridad de las fuentes de radiación. La aplicación de estos requisitos ayuda a asegurar que el número de personas expuestas a la radiación y sus dosis se mantenga en el nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, y contribuye a prevenir incidentes o mitigar sus consecuencias. En la presente guía de seguridad se recomienda cómo debe llevarse a cabo el trabajo de radiografía industrial en el marco de las NBS y otras normas de seguridad del OIEA.

1.7. Las orientaciones que figuran en esta publicación se basan en las NBS y otras normas de seguridad del OIEA referenciadas en el texto. Estas orientaciones están dirigidas fundamentalmente al personal directivo de las entidades explotadoras que están autorizadas a realizar trabajos de radiografía industrial, los radiógrafos, los oficiales de protección radiológica y los reguladores. También pueden revestir interés para los diseñadores y fabricantes de equipos e instalaciones de radiografía industrial.

## ALCANCE

1.8. En la presente guía de seguridad se formulan recomendaciones para garantizar que la seguridad radiológica en la radiografía industrial se utilice para fines de ensayos no destructivos. En ello se incluye el trabajo de radiografía

---

<sup>2</sup> ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection and Safety in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad, N° 13, OIEA, Viena (1999).

industrial en que se utilizan fuentes de rayos X y gamma, tanto en instalaciones blindadas fijas que poseen controles técnicos efectivos como en instalaciones blindadas externas que utilizan fuentes móviles (es decir, la radiografía *in situ*).

1.9. En otra publicación del OIEA [6] se formulan recomendaciones y orientaciones relativas a las técnicas de radiografía industrial, como las aplicables para obtener una buena imagen.

1.10. La gammagrafía subacuática y la radiografía neutrónica se utilizan en raras ocasiones. Estas técnicas requieren evaluaciones de seguridad especializadas y procedimientos concretos. En la presente publicación no se analizan específicamente las orientaciones técnicas para estas técnicas de radiografía, si bien se aplican los principios generales de seguridad, como la instalación de blindaje adecuado y el mantenimiento de las dosis de radiación al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.

1.11. En otra guía de seguridad del OIEA se prevé tratar el empleo de la radiación para el control de seguridad de las personas y el equipaje, el correo, la carga y los vehículos, así como para otros fines de detección.

## ESTRUCTURA

1.12. En la sección 2 se describen las diversas obligaciones y responsabilidades de las entidades y personas. La preparación de una evaluación de la seguridad y su relación con el programa de protección radiológica se examinan en las secciones 3 y 4, respectivamente. La necesidad de las entidades explotadoras de emplear personal capacitado y cualificado se analiza en la sección 5. En las secciones 6 y 7, respectivamente, se explica cómo debe llevarse a cabo la monitorización radiológica de los trabajadores y el lugar de trabajo.

1.13. En secciones posteriores se explican pormenorizadamente los elementos prácticos para controlar debidamente las fuentes gamma (sección 8), la seguridad física de las fuentes de rayos gamma y rayos X y el equipo auxiliar (sección 9), la utilización segura de las fuentes de rayos X y rayos gamma en instalaciones fijas y en condiciones para la radiografía *in situ* (secciones 10 y 11, respectivamente), y el transporte seguro de fuentes radiactivas (sección 12). La preparación para emergencias relacionadas con fuentes de radiografía industrial y la respuesta a ellas se describe en la sección 13.

1.14. En el apéndice figura un resumen de la clasificación de las fuentes radiactivas por categorías elaborada por el OIEA. En el anexo I se presenta un ejemplo de evaluación de la seguridad en radiografía industrial. En el anexo II se describen a grandes rasgos fuentes y equipos de radiografía industrial. Por último, en el anexo III se presentan de manera resumida varios ejemplos de accidentes.

## **2. OBLIGACIONES Y RESPONSABILIDADES**

### ASPECTOS GENERALES

2.1. La responsabilidad global de la seguridad radiológica recae en la entidad explotadora que está autorizada a realizar el trabajo de radiografía industrial. Las obligaciones específicas y las responsabilidades diarias respecto de la operación segura del equipo, empero, incumben a una diversidad de personas, incluso el personal directivo superior, el oficial de protección radiológica, los radiógrafos industriales y asistentes, expertos cualificados y, en el caso de la radiografía *in situ*, el cliente encargado de los locales en que se lleve a cabo el trabajo de radiografía *in situ* y cualesquiera otros subcontratistas. Todas las responsabilidades y obligaciones deben ser acordadas por todas las partes interesadas y deben definirse por escrito.

### LA ENTIDAD EXPLOTADORA

#### **Gestión de la seguridad radiológica y la cultura de la seguridad**

2.2. La entidad explotadora, por conducto de su personal directivo, es responsable del establecimiento y aplicación de las medidas técnicas y normativas necesarias para garantizar la protección y seguridad de los requisitos jurídicos y reglamentarios correspondientes y su cumplimiento. Aunque en algunos casos tal vez resulte apropiado designar a personas ajenas a la entidad para la ejecución de tareas o medidas relacionadas con estas responsabilidades, la entidad explotadora seguirá asumiendo la principal responsabilidad respecto de la seguridad radiológica y el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

2.3. Se debería designar a un funcionario superior, quien se encargaría en general de supervisar la seguridad radiológica y verificar que el trabajo de

radiografía industrial se lleva a cabo de conformidad con los requisitos reglamentarios. Será necesario determinar las responsabilidades en materia de seguridad radiológica, que deben ser acordadas por todas las partes interesadas y especificadas por escrito. El personal directivo debería velar por que se establezcan procedimientos para la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente y para que las dosis se mantengan en el nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse (principio de optimización). Todas las políticas y procedimientos deberían documentarse y ser accesibles a todo el personal y el órgano regulador, según proceda.

2.4. Será preciso que el personal directivo superior fomente una cultura de la seguridad en su organización para alentar una actitud de cuestionamiento y aprendizaje con respecto a la protección y la seguridad y para desalentar la condescendencia [2]. Una buena cultura de la seguridad se promueve mediante disposiciones administrativas y la actitud de los trabajadores, factores que interactúan para fomentar una estrategia de seguridad en el trabajo. La cultura de la seguridad no se limita a la protección radiológica; también debe ampliarse para abarcar la seguridad convencional.

2.5. Las entidades explotadoras que poseen una buena cultura de la seguridad no culpan a otros cuando ocurren incidentes; aprenden de sus errores, fomentan una actitud de cuestionamiento y procuran una mejora continua de la seguridad en los procesos de trabajo. Al investigar los incidentes debe tomarse en consideración lo que constituye un comportamiento aceptable; sin embargo, en algunos casos, podrán adoptarse medidas disciplinarias.

### **Programa de protección radiológica**

2.6. La entidad explotadora debería elaborar, documentar y aplicar un programa de protección radiológica [7]. Este programa incluiría información sobre las disposiciones de protección radiológica, la evaluación de la seguridad, las medidas para aplicar las disposiciones, y el mecanismo de examen y actualización de las disposiciones. En las secciones 3 y 4, respectivamente, se proporcionan detalles sobre la evaluación de la seguridad y el programa de protección radiológica.

### **Sistema de gestión**

2.7. La entidad explotadora debería crear, aplicar, evaluar y mejorar continuamente un sistema de gestión en que se definan las responsabilidades de todas las personas afectadas y se expliquen minuciosamente los requisitos

relativos a la entidad, el personal y el equipo. El sistema de gestión debería basarse en normas nacionales o internacionales [8 a 10], e incorporar mecanismos de inspecciones y auditorías internas rutinarias, así como auditorías de terceros, según proceda. El programa de protección radiológica debería integrarse en el sistema de gestión.

### **Instalaciones y recursos**

2.8. La entidad explotadora debería garantizar que se disponga de instalaciones y equipos adecuados para que pueda llevarse a cabo el trabajo de radiografía sin riesgo y de conformidad con los requisitos reglamentarios. En particular, en el equipo de radiografía deberían incorporarse todos los elementos de seguridad y los elementos de alerta pertinentes. Debería haber un número suficiente de radiógrafos, asistentes y oficiales de protección radiológica para realizar cada tarea con seguridad. Debería proveerse equipo apropiado (como monitores de radiación) para que el trabajo pueda efectuarse con seguridad y eficacia.

### **Notificación al órgano regulador**

2.9. La entidad explotadora que se proponga realizar trabajos de radiografía industrial debería presentar una notificación al órgano regulador acerca de su intención de efectuarlos. Esta notificación debería realizarse antes de que la entidad explotadora comience a trabajar con la radiación, y los detalles de la notificación deberían estar en conformidad con los requisitos reglamentarios. Algunos órganos reguladores pueden exigir la presentación periódica de información complementaria caso por caso (por ejemplo, para trabajos de radiografía *in situ*).

### **Autorización del órgano regulador**

2.10. Será preciso que la entidad explotadora solicite al órgano regulador una autorización para adquirir, almacenar, utilizar, distribuir o trasladar fuentes radiográficas. Algunos Estados también pueden exigir una autorización para la importación o exportación de estas fuentes. Los trabajos de radiografía no deben comenzar hasta que la entidad explotadora haya recibido la autorización apropiada, que puede imponer ciertas restricciones o limitaciones.

2.11. Al solicitar una autorización, la entidad explotadora debería proporcionar al órgano regulador pruebas documentales apropiadas que demuestren que se aplicará y mantendrá un nivel adecuado de seguridad radiológica. Los órganos reguladores, si no aceptan una justificación implícita, deberían exigir una

justificación formal de la entidad explotadora para la utilización de la radiación ionizante y no de tecnologías sustitutivas para fines de ensayos no destructivos.

2.12. Las pruebas documentales necesarias para avalar una solicitud de autorización deberían ser, como mínimo, las siguientes:

- a) Información relativa al solicitante de la autorización;
- b) Los requisitos de la entidad explotadora para la capacitación y cualificación de todo el personal afectado;
- c) Información técnica sobre los tipos de fuentes de radiación y los equipos que se utilizarán;
- d) Una evaluación de la seguridad que abarque el empleo y almacenamiento de las fuentes;
- e) Pormenores del sistema y las instalaciones de seguridad en que las fuentes de radiación se almacenarán o utilizarán (por ejemplo, blindaje, sistemas de enclavamiento y sistemas de alerta);
- f) Un programa de protección radiológica;
- g) Planes y procedimientos de emergencia.

## OFICIALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

2.13. La entidad explotadora debería designar internamente al menos a un empleado como oficial de protección radiológica para que supervise la aplicación diaria del programa de protección radiológica y desempeñe las funciones que requiere el programa. Las funciones del oficial de protección radiológica, según los requisitos reglamentarios, pueden ser, entre otras, las siguientes:

- a) Vigilancia de las operaciones de radiografía industrial para ayudar a la entidad explotadora a cumplir los requisitos reglamentarios, incluso los requisitos aplicables al transporte seguro de fuentes para los trabajos de radiografía;
- b) Mantenimiento de registros contables de fuentes;
- c) Inspección y mantenimiento de controles técnicos, elementos de seguridad y elementos de alerta;
- d) Vigilancia del control de acceso a las zonas controladas;
- e) Establecimiento y examen periódico de las disposiciones relativas a la dosimetría personal, incluso mantenimiento y examen de los registros de dosis ocupacionales;

- f) Verificación de que los radiógrafos están capacitados debidamente en la utilización del equipo y en la protección radiológica y de que reciben regularmente cursos de actualización de conocimientos;
- g) Verificación de que hay planes de emergencia establecidos y que se practican con regularidad;
- h) Supervisión de las disposiciones de monitorización del lugar de trabajo;
- i) Establecimiento y emisión de normativas locales y examen periódico de esas normativas (incluidos los permisos de trabajo, cuando proceda);
- j) Investigación de exposiciones más altas que las normales y de sobreexposiciones;
- k) Investigación y notificación de incidentes, incluso accidentes.

2.14. La dotación de oficiales de protección radiológica dependerá del tamaño de la entidad explotadora, el número de fuentes radiográficas y la frecuencia e índole del trabajo de radiografía que vaya a realizarse. En los casos en que se haya designado a más de un oficial de protección radiológica, las obligaciones y responsabilidades de cada uno de ellos deberían estar bien definidas. Incluso en entidades pequeñas de solo unos cuantos empleados, debería designarse como oficial de protección radiológica a alguien con conocimientos, capacitación y experiencia suficientes.

2.15. El oficial de protección radiológica debería ser un empleado de la empresa, estar debidamente cualificado, poseer experiencia de radiografía y desempeñar una función que le permita supervisar de cerca el trabajo de radiografía. La entidad explotadora debería garantizar que se conceda al oficial de protección radiológica tiempo, autoridad y recursos suficientes para desempeñar sus funciones con eficacia. También deberían otorgársele facultades para detener prácticas laborales inseguras e interactuar eficazmente en toda la entidad, sobre todo con el personal directivo superior, con el fin de garantizar que las decisiones que puedan afectar a la seguridad radiológica reciban apoyo a un alto nivel.

## EXPERTOS CUALIFICADOS

2.16. La entidad explotadora podrá consultar con uno o más expertos cualificados asuntos relativos a la seguridad radiológica como el diseño de las instalaciones de radiografía, los cálculos de blindaje contra las radiaciones, y el ensayo y mantenimiento de los medidores de radiación. La responsabilidad del cumplimiento de los requisitos reglamentarios no podrá delegarse al experto cualificado, ya que siempre compete a la entidad explotadora.

2.17. Los expertos cualificados no tienen que ser empleados de la entidad explotadora: pueden ser designados a tiempo parcial o para proyectos concretos. Lo primordial debe ser que el experto cualificado satisfaga los criterios de cualificación o certificación apropiados a nivel nacional.

2.18. El experto cualificado debería trabajar en estrecha cooperación con el oficial de protección radiológica para asegurar que se cumplan todas las funciones y tareas necesarias.

## TRABAJADORES

### **Radiógrafos**

2.19. Aunque la responsabilidad principal de la seguridad radiológica recae en la entidad explotadora, los radiógrafos (incluidos asistentes y pasantes) tienen la responsabilidad de trabajar en condiciones de seguridad y adoptar todas las medidas razonables para limitar su propia exposición y la de los demás trabajadores y miembros del público.

Los radiógrafos deberían:

- a) Cumplir las normas locales (véase la sección 4) y los procedimientos pertinentes;
- b) Llevar sus dosímetros individuales en el lugar correcto en todo momento durante el trabajo de radiografía y la manipulación de la fuente (véase la sección 6);
- c) Utilizar los monitores de radiación correctamente y de manera sistemática (véase la sección 7);
- d) Cooperar con el oficial de protección radiológica y expertos cualificados en todas las cuestiones de seguridad radiológica;
- e) Participar en cualquier tipo de capacitación vinculada a la seguridad radiológica;
- f) Abstenerse de toda acción intencional que pueda llevarles a ellos o a otros a contravenir los requisitos reglamentarios o los propios requisitos de la entidad explotadora.

2.20. El radiógrafo debería informar con prontitud al oficial de protección radiológica sobre cualquier incidente o circunstancia que pueda dar lugar a que él u otras personas reciban dosis de radiación más altas que las normales. Podría tratarse, entre otras cosas, de fallos o deficiencias observados en los sistemas de seguridad y

alerta, errores en el cumplimiento de los procedimientos, o un comportamiento inapropiado. Después del incidente o la observación debería elaborarse lo antes posible un informe por escrito dirigido al oficial de protección radiológica.

2.21. La seguridad radiológica debería incorporarse en la rutina diaria del trabajo de radiografía de todo el personal. Este es un factor por el cual debería juzgarse la cultura de la seguridad global de la entidad explotadora.

### **Radiógrafos empleados en virtud de contratos de corta duración (trabajadores itinerantes)**

2.22. Las entidades explotadoras que contratan a radiógrafos autónomos por períodos cortos deben velar por que estos tengan el mismo nivel de protección y seguridad que los radiógrafos empleados a tiempo completo. Estos radiógrafos contratados por períodos breves (a veces denominados trabajadores itinerantes) trabajan solo por poco tiempo (por ejemplo, varias semanas) con la entidad explotadora y parten después para trabajar con otro empleador.

2.23. Tales prácticas de trabajo pueden crear dificultades sobre todo en relación con el cumplimiento de las reglamentaciones. Las responsabilidades pertinentes de la entidad explotadora y el radiógrafo itinerante deberían especificarse claramente en los arreglos contractuales. Para que puedan cumplir los requisitos reglamentarios, las entidades explotadoras deberían conocer la dosis efectiva acumulativa anual de los trabajadores itinerantes antes de que comiencen a trabajar.

2.24. Las responsabilidades de la entidad explotadora y el radiógrafo itinerante dependerán de los requisitos reglamentarios concretos. La entidad explotadora debería aclarar con el radiógrafo la asignación de responsabilidades para cuestiones como las siguientes:

- Previsión de la dosimetría individual y el mantenimiento del registro de dosis (véase la sección 6);
- Disposiciones para la evaluación de la salud (véase la sección 6);
- Disposiciones para la monitorización del lugar de trabajo (véase la sección 7);
- Normas locales (véase la sección 4).

2.25. La entidad explotadora debería verificar que el radiógrafo posee las cualificaciones apropiadas y ha recibido la capacitación necesaria en técnicas de seguridad radiológica y radiografía industrial. Debería igualmente verificar que todos los procedimientos y otros documentos de interés se proporcionan en un idioma conocido por el radiógrafo.

## EL CLIENTE

2.26. El cliente es la entidad o persona encargada de contratar a la entidad explotadora para realizar el trabajo de radiografía industrial. El cliente siempre debería utilizar una entidad explotadora que esté autorizada por el órgano regulador de conformidad con los requisitos reglamentarios de radiografía industrial.

2.27. El cliente debería conceder tiempo suficiente a la entidad explotadora para planificar el trabajo y llevarlo a cabo con seguridad, y posibilitar el cumplimiento de las notificaciones previas que exija el órgano regulador.

2.28. El cliente no debería imponer condiciones contractuales o limitaciones que impidan que la entidad explotadora realice el trabajo de radiografía de manera segura. Los requisitos reglamentarios y de seguridad se anteponen a los requisitos comerciales. El cliente debería cerciorarse de que el trabajo de radiografía se coordina con otros trabajos que se realizan en el emplazamiento, que se minimizan los riesgos para los radiógrafos resultantes de peligros específicos del emplazamiento y que se minimizan las radioexposiciones de otros trabajadores. Debería haber una coordinación especial si trabaja más de una entidad de radiografía en el emplazamiento del cliente en un momento determinado. Un sistema de permisos de trabajo puede facilitar la comunicación y coordinación de distintos trabajos en la misma instalación.

2.29. El cliente es responsable de garantizar un medio de trabajo seguro para los radiógrafos, incluso el suministro de andamios, suficiente iluminación y disposiciones seguras para el trabajo en embarcaciones, espacios confinados, zanjas u otros lugares a los que quizás sea necesario acceder. El cliente también es responsable de informar a los radiógrafos visitantes sobre las cuestiones de seguridad específicas del emplazamiento y/o proporcionarles la capacitación necesaria al respecto.

2.30. Si las fuentes radiactivas deben almacenarse temporalmente en el emplazamiento del cliente, tanto este como la entidad explotadora deberían cerciorarse de que esas instalaciones son seguras desde el punto de vista tecnológico y físico y que se han obtenido las autorizaciones necesarias del órgano regulador. Los procedimientos para obtener el acceso al lugar de almacenamiento de la fuente deberían definirse claramente en relación con el cliente y la entidad explotadora. (Véase también la sección 7).

### **3. EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD**

#### ASPECTOS GENERALES

3.1. La entidad explotadora debería realizar una evaluación de la seguridad y documentarla con respecto a cada tipo de fuente de radiación para la que haya recibido autorización. En el caso de las fuentes y los dispositivos de tipo idéntico, quizás sea aceptable realizar una evaluación genérica de la seguridad. La evaluación inicial, denominada a veces “evaluación radiológica previa”, es el instrumento primordial para determinar qué medidas de protección deberían tomarse, y para confirmar si se toman en cuenta todos los parámetros relacionados con la protección y la seguridad. La evaluación de la seguridad debería documentarse y examinarse de manera independiente dentro del sistema de gestión de la entidad explotadora.

3.2. La evaluación de la seguridad debería efectuarse antes de que la fuente se reciba por primera vez en el emplazamiento o antes de que se utilice por primera vez. La entidad explotadora debería elaborar sus planes con antelación para asegurar que haya suficiente tiempo para aplicar las medidas de protección y seguridad requeridas. Tal vez no sea necesaria una nueva evaluación de la seguridad para el reemplazo de una fuente con otra idéntica.

3.3. En el caso de que ya se esté realizando el trabajo en un lugar en que no se ha efectuado anteriormente una evaluación de la seguridad, la entidad explotadora debería llevar a cabo una evaluación retrospectiva de la seguridad. Esta evaluación debería confirmar si todas las medidas de protección pertinentes están establecidas o determinar las otras medidas que deberían ponerse en práctica.

#### METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

3.4. Las fuentes de radiografía industrial producen altas tasas de dosis y, por tanto, deberían ser objeto de una evaluación global de la seguridad. En la evaluación de la seguridad deberían tenerse en cuenta los riesgos resultantes del uso rutinario de las fuentes de radiación junto con la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales derivadas de incidentes. En el anexo I se presenta un ejemplo de una evaluación de la seguridad en la radiografía industrial. La evaluación de la seguridad debería comprender lo siguiente:

- a) Examen de las tasas de dosis producidas por fuentes radiactivas y generadores de rayos X blindados y sin blindaje;
- b) Exposiciones potenciales de radiógrafos, otros trabajadores y el público en relación con una diversidad de escenarios que representen el uso normal e incidentes previsiblemente razonables;
- c) Límites y condiciones técnicas para la operación de las fuentes;
- d) Modos en que las estructuras, los sistemas y los componentes, así como los procedimientos asociados a la protección y la seguridad, podrían fallar o coadyuvar de otra forma a exposiciones potenciales, y las consecuencias de esos fallos;
- e) Modos en que los factores externos podrían afectar a la protección y la seguridad;
- f) Modos en que los errores de índole operacional y los factores humanos podrían afectar a la protección y la seguridad;
- g) Evaluación de las consecuencias de las modificaciones propuestas para la protección y la seguridad.

## RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

3.5. La evaluación de la seguridad debería servir de base para la adopción de decisiones en relación con lo siguiente:

- a) Las medidas de control técnico que se requieren para la seguridad;
- b) La elaboración de los procedimientos que deben seguir los radiógrafos (las normas locales);
- c) Los requisitos y procedimientos para designar las zonas controladas y las zonas supervisadas;
- d) Cualesquiera requisitos para la protección del público;
- e) La información sobre incidentes razonablemente previsibles, incluidas las medidas requeridas para minimizar la probabilidad de estos incidentes y el equipo de emergencia necesario;
- f) La información sobre las medidas que deben adoptarse para restringir las exposiciones de las personas y para la protección del medio ambiente en un incidente (incluidos planes de preparación para emergencias).

## REVISIONES DE LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

3.6. La evaluación de la seguridad debería revisarse siempre que:

- a) La seguridad pueda verse comprometida o afectada como resultado de modificaciones en las instalaciones o los procedimientos, o de la adquisición de una nueva fuente de radiación o una fuente con distintas características de radiación.
- b) La experiencia operacional o la investigación de emergencias o incidentes, fallos o errores indique que las medidas de seguridad vigentes no son válidas o no son plenamente eficaces.
- c) Se hayan hecho o se prevean modificaciones significativas de las directrices, normas o reglamentos pertinentes.

## 4. PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

### OBJETIVOS Y ALCANCE

4.1. El programa de protección radiológica es un factor fundamental en lo referente a la creación y el mantenimiento de la cultura de la seguridad en una organización [7], y debe satisfacer los requisitos reglamentarios. El programa de protección radiológica debería abarcar la estructura de gestión de la entidad explotadora, sus políticas, responsabilidades, procedimientos y disposiciones institucionales. Todo esto se establece para controlar los peligros de radiación, optimizar las medidas de protección radiológica, prevenir o reducir las exposiciones y mitigar las consecuencias de los incidentes.

4.2. El programa de protección radiológica debería adaptarse y configurarse para atender a las necesidades de la entidad explotadora. En el programa deberían tenerse en cuenta las complejidades y peligros asociados con las actividades que se prevé realizar para fines de radiografía. El programa debería basarse en la evaluación de la seguridad de la entidad explotadora y centrarse tanto en las situaciones de exposición previstas como en posibles exposiciones.

4.3. Los elementos del programa de protección radiológica que se describen en esta publicación son representativos de las operaciones de radiografía que se realizan de manera rutinaria con las fuentes de rayos X y rayos gamma. Las

entidades explotadoras deberían tener en cuenta otras medidas y programas necesarios para hacer frente a peligros singulares o inusuales en los lugares de trabajo.

## ESTRUCTURA Y CONTENIDO

4.4. El programa de protección radiológica debería abarcar los principales elementos que contribuyen a la protección y la seguridad. La estructura y el contenido del programa de protección radiológica deberían documentarse con un grado de detalle apropiado. El programa de protección radiológica debería incluir como elementos esenciales los siguientes:

- a) Estructura y políticas de gestión;
- b) Asignación de responsabilidades individuales en materia de seguridad radiológica;
- c) Programa de enseñanza y capacitación sobre la índole de los peligros de radiación, y la protección y seguridad;
- d) Normas locales y supervisión;
- e) Designación de zonas controladas o zonas supervisadas;
- f) Disposiciones para la monitorización de los trabajadores y el lugar de trabajo, incluso adquisición y mantenimiento de instrumentos para fines de protección radiológica;
- g) Un programa de vigilancia de la salud;
- h) Un sistema para registrar y notificar toda la información pertinente asociada al control de las exposiciones, las decisiones relativas a las medidas de protección radiológica y seguridad ocupacionales, y la monitorización de las personas;
- i) Planes de preparación para emergencias;
- j) Métodos para examinar y auditar periódicamente el comportamiento del programa de protección radiológica;
- k) Garantía de la calidad y mejora del proceso.

4.5. Estos elementos de un programa de protección radiológica, que se describen de manera más exhaustiva a continuación, podrán ser incorporados en un solo documento o en una serie de documentos, según la magnitud y complejidad de las operaciones.

## ESTRUCTURA Y POLÍTICAS DE GESTIÓN

4.6. En el programa de protección radiológica debería describirse la estructura de gestión aplicable a la seguridad radiológica. Esta estructura, que podrá presentarse en forma de organigrama, debería incluir los nombres de los funcionarios directivos encargados de la seguridad radiológica y de las diversas personas que ocupan cargos de responsabilidad (por ejemplo, el oficial de protección radiológica). En el gráfico debería indicarse claramente la línea de subordinación jerárquica, desde el radiógrafo hasta el funcionario directivo de mayor responsabilidad. Si la entidad explotadora tiene más de un lugar de operaciones, en la estructura de gestión deberían especificarse claramente las personas responsables en cada lugar.

4.7. En el programa de protección radiológica deberían consignarse las políticas de la empresa en materia de seguridad radiológica, así como un compromiso de la administración de mantener las dosis de radiación al nivel más bajo pueda razonablemente alcanzarse y fomentar una cultura de la seguridad.

### **Asignación de responsabilidades en materia de seguridad radiológica**

4.8. Las responsabilidades que se asignen en materia de seguridad radiológica deberían abarcar toda la vida útil de las fuentes, desde su pedido y recepción, utilización y almacenamiento, hasta su devolución con el tiempo al suministrador (u otros posibles aspectos del final de la vida útil). Esas responsabilidades deberían asignarse, entre otros, al personal directivo de la entidad explotadora (en el que recaea la responsabilidad primordial respecto de la seguridad), el oficial de protección radiológica, el experto cualificado, los radiógrafos y otros trabajadores, como se explica en la sección 2.

4.9. En el caso de las entidades explotadoras que realizan trabajos de radiografía en los locales de un cliente, el cumplimiento de algunos requisitos de seguridad (por ejemplo, en lo que atañe al suministro de información relacionada con los peligros específicos del emplazamiento y los requisitos de seguridad) debería, cuando proceda, ser responsabilidad de la empresa del cliente y no de la entidad explotadora. Al menos se debería atribuir a una persona de la entidad de radiografía industrial la responsabilidad de establecer enlace con el cliente. En este proceso de enlace deberían definirse los peligros en el emplazamiento, examinarse las normas locales e intercambiarse información relacionada con la seguridad.

## **Programa de enseñanza y capacitación**

4.10. El programa de protección radiológica debería contener una descripción de todo el alcance del programa de capacitación en protección y seguridad para todos los empleados que participan directamente en las actividades rutinarias de radiografía y las operaciones de emergencia (véase la sección 5). Debería incluir un programa de “concienciación” sobre la radiación, según proceda, para otros miembros del personal, entre ellos los funcionarios directivos, los radiógrafos, los pasantes, el personal de limpieza y mantenimiento que pueda quedar expuesto accidentalmente, y los contratistas. En el programa de protección radiológica también deberían especificarse las cualificaciones educativas y profesionales mínimas para todo el personal afectado, sobre todo el oficial de protección radiológica, los radiógrafos y sus asistentes, de conformidad con los requisitos reglamentarios.

4.11. Los requisitos establecidos para mantener los registros de capacitación deberían estar en consonancia con los requisitos reglamentarios y las recomendaciones, y deberían especificarse en el programa de protección radiológica.

## **Normas locales y supervisión**

4.12. Las normas locales en que se explican los procedimientos necesarios para efectuar los trabajos de radiografía deberían elaborarse y redactarse en un idioma conocido por quienes deben aplicarlas. Estas normas locales deberían abarcar todos los procedimientos asociados con el trabajo de radiografía en que hay posibilidades de exposición a las radiaciones, como operaciones rutinarias, cambios y transporte de fuentes (véanse las secciones 10 y 11). Las normas locales son un instrumento importante en la restricción de las dosis de radiación. Deberían contener suficiente información y orientaciones para que los radiógrafos y otros trabajadores puedan desempeñar sus funciones con seguridad y en cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

4.13. La administración debería cerciorarse de que todas las personas interesadas han leído y comprendido las normas locales. Debería facilitarse un ejemplar a todos los radiógrafos y otras personas interesadas, y disponerse de ejemplares adicionales en la zona de trabajo. En las entidades más pequeñas que realizan una cantidad limitada de trabajos de radiografía, quizás sea apropiado tener un conjunto de normas locales que abarquen todos los procedimientos.

4.14. En las entidades más grandes, tal vez convenga tener varios conjuntos de normas locales específicas. Esas normas podrían comprender procedimientos para efectuar el trabajo de radiografía en recintos de radiografía blindados<sup>3</sup>, procedimientos para realizar trabajos de radiografía *in situ* y procedimientos para intercambiar fuentes gamma. Algunas entidades clientes podrían pedir también que se redacten normas locales específicas que abarquen los trabajos de radiografía realizados en sus instalaciones.

4.15. La entidad explotadora debería designar al menos a un empleado como oficial de protección radiológica para que supervise la aplicación diaria del programa de protección radiológica y desempeñe las funciones que exija el programa. En la sección 2 se pormenorizan las funciones del oficial de protección radiológica.

### **Designación de zonas controladas o zonas supervisadas**

4.16. En el programa de protección radiológica debería explicarse cómo deben designarse las zonas controladas<sup>4</sup> y las zonas supervisadas<sup>5</sup> para efectuar los trabajos de radiografía industrial. Las zonas controladas deberían utilizarse para restringir las exposiciones en los trabajos de radiografía industrial. A veces deberían utilizarse las zonas supervisadas, sobre todo alrededor de las instalaciones de radiografía fija. La designación de ambas zonas debería basarse en la evaluación de la seguridad y en las tasas de dosis medidas. Deberían proporcionarse orientaciones sobre el establecimiento de las zonas controladas, en especial para el trabajo de radiografía *in situ* (véanse las secciones 10 y 11).

---

<sup>3</sup> En adelante se hará referencia a los “recintos de radiografía blindados” como “recintos blindados”.

<sup>4</sup> Una zona controlada es una zona definida en que se requieren o podrían requerirse medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas para: a) controlar las exposiciones normales o prevenir la propagación de la contaminación en condiciones de trabajo normales; y b) prevenir o limitar la magnitud de exposiciones potenciales.

<sup>5</sup> Una zona supervisada es una zona definida no designada como zona controlada, pero para la cual las condiciones de exposición ocupacional se mantienen bajo examen, aun cuando no se requieran normalmente medidas de protección o disposiciones de seguridad específicas.

## **Programa de monitorización del lugar de trabajo**

4.17. En el programa de protección radiológica debería describirse el programa de selección, calibración, mantenimiento y ensayo del equipo de medición de las tasas de dosis de radiación. Debería especificarse un programa para el empleo rutinario del equipo de monitorización. En el programa debería proveerse información sobre la frecuencia necesaria de las mediciones de tasas de dosis alrededor de las instalaciones fijas, los procedimientos de monitorización que han de cumplirse en los trabajos de radiografía *in situ*, los detalles que deben registrarse y el tiempo en que deberían conservarse los registros.

4.18. En el programa de protección radiológica debería especificarse que se deberá poner a disposición de los radiógrafos un número suficiente de monitores de radiación adecuados. Para el trabajo de radiografía *in situ* debe haber, como mínimo, un dosímetro operacional para cada fuente en uso, aunque es preferible que haya un dosímetro por radiógrafo (véase la sección 7).

4.19. En el programa de protección radiológica deberían aplicarse niveles de referencia de tasas de dosis. Estos niveles de referencia son las tasas de dosis máximas aceptables durante la ejecución de tareas específicas, como en las barreras de zonas controladas durante el trabajo de radiografía *in situ* y en la posición del operador. Tales niveles de referencia de tasas de dosis deberían ser compatibles con los requisitos y orientaciones reglamentarios.

## **Disposiciones para la monitorización de la dosis individual**

4.20. En el programa de protección radiológica deberían especificarse los tipos de dosímetros que utilizarán los trabajadores, el período en que los deben llevar y las disposiciones para la evaluación de los dosímetros y el mantenimiento de los registros de dosis. También debería especificarse que el proveedor de servicios de dosimetría debería estar debidamente aprobado o acreditado. El oficial de protección radiológica debería examinar los registros de dosis periódicamente para determinar dosis que quizás sean superiores a las normales (véase la sección 6), y examinar si las dosis tienen el valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.

## **Programa de vigilancia de la salud**

4.21. En el programa de protección radiológica deberían incluirse detalles sobre el programa de vigilancia periódica de la salud de los radiógrafos y otros empleados, según proceda. En el programa debería estipularse el requisito de evaluar la aptitud inicial y permanente de los trabajadores para las tareas

previstas. Debería consultarse con un experto cualificado y/o un médico debidamente cualificado al elaborarse el programa de vigilancia de la salud, el que debería ser compatible con los requisitos reglamentarios.

### **Planes de preparación para emergencias**

4.22. El programa de protección radiológica debería comprender planes de preparación para emergencias y planes de respuesta aplicables en casos de emergencia. Los planes deberían abarcar todas las emergencias razonablemente previsibles. En la sección 13 se formulan orientaciones sobre la preparación para emergencias.

### **Exámenes y auditorías periódicos del comportamiento del programa de protección radiológica**

4.23. Como parte integrante del sistema de gestión de la entidad explotadora, el programa de protección radiológica y su aplicación deberían evaluarse de manera periódica. En este examen periódico deberían especificarse los problemas que tendrán que abordarse y las modificaciones que podrían aumentar la eficacia del programa de protección radiológica.

4.24. Una parte fundamental de este proceso de examen periódico es la realización de una serie de auditorías periódicas en el lugar de trabajo, incluso la designación de las personas que las efectuarán y sus cualificaciones, la frecuencia de las auditorías, las expectativas del grupo encargado de ellas y la notificación de los resultados y su seguimiento.

### **Garantía de calidad y mejora del proceso**

4.25. El trabajo de radiografía industrial y las actividades conexas deberían llevarse a cabo de conformidad con el sistema de gestión establecido. Este sistema de gestión debería concebirse de modo que garantice que todo el equipo y los sistemas de seguridad se comprueben y ensayen periódicamente, y que los fallos o deficiencias se señalen a la administración y se remedien con prontitud.

4.26. La administración también debería asegurarse de que se cumplen los procedimientos operacionales correctos y de que en el programa de garantía de calidad se especifican las comprobaciones y auditorías que deben realizarse y los registros que deben mantenerse. Los requisitos reglamentarios pertinentes deberían tenerse en cuenta y consignarse en el contenido y los detalles del programa de garantía de calidad.

4.27. El sistema de gestión debería incluir un mecanismo para la compilación y el intercambio de las enseñanzas extraídas de emergencias e incidentes (incluso tanto los notificados en informes de la entidad como en informes externos), y cómo pueden emplearse estas enseñanzas para mejorar la seguridad.

## REGISTRO DE LA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

4.28. La base principal del programa de protección radiológica es la evaluación de la seguridad, que determina la índole y magnitud de los peligros de radiación que pueden presentarse en el curso de las operaciones de radiografía industrial. El informe de la evaluación de la seguridad debería formar parte integrante de la documentación del programa de protección radiológica.

## COMITÉ DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

4.29. En las empresas de radiografía medianas y grandes debería establecerse un comité de seguridad radiológica a los efectos de examinar regularmente el comportamiento del programa de protección radiológica. Este comité puede dedicarse a la seguridad radiológica o puede tener otras responsabilidades (convencionales) relacionadas con la seguridad. El comité debería estar integrado por funcionarios directivos superiores encargados de la seguridad radiológica, oficiales de protección radiológica, radiógrafos y representantes del personal. Las responsabilidades del comité de seguridad radiológica deberían ser, entre otras, las siguientes, aunque sin limitarse a ellas:

- a) Exámenes periódicos de todos los aspectos del programa de protección radiológica;
- b) Exámenes de las dosis de radiación ocupacional y de los informes de accidentes elaborados por el oficial de protección radiológica;
- c) Formulación de recomendaciones de mejoras en el programa de protección radiológica;
- d) Formulación de orientaciones y directrices sobre el desempeño de las funciones del oficial de protección radiológica;
- e) Preparación y difusión de informes periódicos para todo el personal sobre las cuestiones de seguridad pertinentes.

## 5. CAPACITACIÓN Y CUALIFICACIÓN

### ASPECTOS GENERALES

5.1. Las personas que realizan trabajos de radiografía industrial son responsables de asegurar que su trabajo se realice en condiciones de seguridad y en cumplimiento de todos los reglamentos y normas de seguridad pertinentes. Por tanto, las entidades explotadoras deberían velar por que el trabajo de radiografía se lleve a cabo solo por radiógrafos y asistentes cualificados o certificados que posean la competencia y capacitación necesarias en materia de protección y seguridad.

5.2. Existen mecanismos internacionalmente reconocidos para la capacitación y cualificación de los radiógrafos que utilizan técnicas de ensayos no destructivos. Algunos de estos mecanismos pueden incluir solo una cantidad limitada de capacitación en seguridad radiológica. En este caso, deberían complementarse con actividades de capacitación adicionales específicamente en protección y seguridad. Esa capacitación pueden impartirla entidades de capacitación especializadas en lugar de la entidad explotadora.

### DISEÑO DE UN PROGRAMA DE CAPACITACIÓN

5.3. Una diversidad de centros de capacitación, incluso escuelas técnicas, universidades, instituciones de protección radiológica y consultores en materia de capacitación pueden impartir los cursos de capacitación en protección y seguridad [11, 12]. Algunos Estados también tienen acceso a un servicio de capacitación centralizado, que puede ser un centro de capacitación nacional o regional apoyado por el OIEA. Estos centros de capacitación pueden ofrecer cursos de capacitación en seguridad radiológica especialmente concebidos para radiógrafos industriales.

5.4. El personal de radiografía debería clasificarse en distintos niveles de competencia en función de su capacitación y experiencia. En algunos Estados, por ejemplo, en estos niveles se designa al radiógrafo asistente (pasante) y al radiógrafo (una persona plenamente cualificada), es decir, radiógrafo de nivel 1 y radiógrafo de nivel 2. Algunos Estados también tienen radiógrafos de nivel 3, quienes pueden impartir capacitación, establecer exámenes y llevar a cabo evaluaciones de otros radiógrafos.

5.5. Deberían establecerse programas para los distintos niveles de capacitación correspondientes a las responsabilidades del radiógrafo. En el programa de capacitación deberían establecerse los criterios para aprobar los exámenes escritos y prácticos, así como los procedimientos que deben aplicarse si un candidato no aprueba un examen. Los detalles del programa de capacitación deberían incorporarse en el programa de protección radiológica. A continuación se presenta otra información relacionada con la capacitación.

## ESTRUCTURA Y CONTENIDO DEL CURSO DE CAPACITACIÓN

5.6. Todo curso de capacitación debe estructurarse en torno a objetivos concretos y adaptarse a las necesidades de las personas a quienes va dirigido. En las referencias [11, 12] puede obtenerse información sobre la estructura y el contenido de los cursos de capacitación en protección radiológica para radiógrafos industriales. A continuación se presenta un resumen de los elementos esenciales de la capacitación básica en seguridad radiológica para radiógrafos industriales.

### **Conceptos y mediciones fundamentales**

- Conceptos básicos de radiación;
- Cantidades y unidades de radiación;
- Instrumentos de detección de radiaciones;
- Efectos biológicos de la radiación.

### **Principios de protección radiológica**

- Sistema de protección radiológica (justificación, optimización y limitación de dosis);
- Requisitos reglamentarios;
- Designación de zonas controladas y de zonas supervisadas;
- Límites de dosis y niveles de investigación.

### **Protección radiológica práctica**

- Potencia de salida de la fuente;
- Efectos del tiempo, la distancia y el blindaje;
- Monitorización individual;
- Prácticas de trabajo para limitar las dosis y mantenerlas al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse;

- Almacenamiento de fuentes radiactivas;
- Operación y mantenimiento correctos del equipo de radiografía;
- Programa de protección radiológica;
- Normas locales;
- Planes de emergencia;
- Gestión de la protección radiológica;
- Transporte de fuentes radiactivas;
- Aspectos relativos al final de la vida útil de las fuentes después de su desintegración;
- Accidentes y otros incidentes relacionados con fuentes de radiografía, sus consecuencias y las enseñanzas extraídas;
- Preparación y respuesta para casos de emergencias.

5.7. En la capacitación deberían preverse ejercicios prácticos, incluido el ensayo de planes de emergencia (véase la sección 13) como los destinados a recuperar una fuente atascada. Con todo, no deberían utilizarse nunca fuentes radiactivas en esos ensayos. Se dispone de equipo didáctico que utiliza transmisiones por radiofrecuencia para simular las fuentes radiactivas y que pueden detectarse empleando detectores de radiofrecuencia especialmente diseñados con el aspecto de un dosímetro. Otra solución es utilizar fuentes ficticias semejantes a fuentes radiográficas de cable flexible (“pigtail”), pero no radiactivas.

## CURSOS DE PERFECCIONAMIENTO

5.8. El personal de radiografía debería asegurar que sus conocimientos y aptitudes se actualicen mediante un programa de cursos de perfeccionamiento. En este tipo de capacitación deberían examinarse las nociones fundamentales de protección y seguridad y la información sobre las modificaciones del equipo, las políticas y los procedimientos, como también sobre los posibles cambios de los requisitos reglamentarios.

5.9. La frecuencia de los cursos de perfeccionamiento debería estar en consonancia con los requisitos reglamentarios. Los cursos de perfeccionamiento normalmente se imparten a intervalos de menos de dos años pero de no más de cinco años. La capacitación podría combinarse con otros cursos de perfeccionamiento sobre técnicas de radiografía, y también certificarse. No obstante, las modificaciones de los reglamentos o las notificaciones de las cuestiones de seguridad deberían difundirse como instrucciones escritas cuanto antes, y luego incluirse en los cursos de perfeccionamiento como medida de seguimiento.

## **6. MONITORIZACIÓN INDIVIDUAL DE LOS TRABAJADORES**

### **EVALUACIÓN DE LA DOSIS INDIVIDUAL**

6.1. Las entidades explotadoras deberían asegurarse de que las dosis de radiación al personal de radiografía se evalúen periódicamente para garantizar que las dosis se mantienen al nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y se hallan por debajo de los límites de dosis. Una evaluación de las dosis también podría poner de relieve prácticas de trabajo buenas o deficientes, la avería de equipo o la degradación de los sistemas de blindaje o de seguridad tecnológica.

6.2. Las entidades explotadoras deberían coordinar con un servicio de dosimetría la entrega de dosímetros adecuados a los trabajadores a los fines del mantenimiento de registros oficiales de dosis. Todos los radiógrafos, asistentes y otros trabajadores que tal vez tengan que ingresar regularmente en las zonas controladas deberían portar dosímetros; también deberían llevarlos en las zonas supervisadas donde así lo exijan los reglamentos nacionales. Los dosímetros también pueden suministrar datos útiles en el caso de una emergencia o incidente.

6.3. Los dosímetros termoluminiscentes y los dosímetros de película se utilizan habitualmente. Ambos tipos van provistos de un elemento pasivo para registrar la radioexposición que posteriormente procesa un laboratorio especializado de dosimetría para evaluar la dosis. Otro tipo es el dosímetro personal electrónico, el que emplea un detector de estado sólido que da una lectura inmediata de la dosis de radiación (y a veces también de la tasa de dosis). En algunos Estados, y en algunas situaciones, el dosímetro personal electrónico es aprobado como sustituto del dosímetro termoluminiscente o el dosímetro de película.

6.4. La opción final del tipo de dosímetro que utilizarán los radiógrafos industriales debería ser evaluada por el oficial de protección radiológica, posiblemente junto con un experto cualificado en dosimetría de las radiaciones. En la elección del dosímetro, además de tener en cuenta la necesidad de que cumpla varios requisitos técnicos, podrán influir los factores de disponibilidad, costo y solidez, así como los requisitos reglamentarios.

6.5. Para que pueda realizarse una evaluación exacta con el dosímetro de la dosis recibida por el radiógrafo, deberían cumplirse las siguientes directrices:

- a) El personal de radiografía debería portar dosímetros en todo momento al realizar cualquier trabajo con radiaciones. Tal vez se requieran dosímetros suplementarios si la radiografía se efectúa en instalaciones en que se producen exposiciones a otras fuentes de radiación, como en las centrales nucleares.
- b) Los dosímetros deberían llevarse según lo recomiende el proveedor de servicios de dosimetría.
- c) En el caso de los dosímetros termoluminiscentes y los dosímetros de película, el elemento de medición debería colocarse correctamente en el portadosímetro.
- d) Solamente debería llevar el dosímetro la persona a quien se haya entregado.
- e) Los dosímetros pueden ser delicados, y deberían tratarse con cuidado para evitar que se dañe su elemento de medición (por ejemplo, los dosímetros pueden dañarse por el agua, altas temperaturas, altas presiones e impactos físicos).
- f) Los dosímetros no deberían quedar expuestos a la radiación cuando no los lleve el radiógrafo (el dosímetro debería almacenarse en una zona alejada de fuentes de radiación).
- g) El servicio de dosimetría debería procesar rápidamente los dosímetros termoluminiscentes y los dosímetros de película al final de su período de uso.
- h) El servicio de dosimetría debería ser informado si la entidad explotadora sospecha que el dosímetro ha sido dañado o ha quedado expuesto a la radiación cuando no se ha estado utilizando.

## MONITORES PERSONALES DE ALARMA

6.6. Los monitores personales de alarma son pequeños detectores de radiación electrónicos que emiten una señal de alerta cuando se supera una dosis y/o una tasa de dosis prefijada. Estos monitores pueden ser dispositivos especializados o, en el caso del dosímetro personal electrónico, normalmente el dosímetro “legal” lleva incorporada una señal de alerta. Esa señal suele ser una alarma audible, aunque tal vez se complementa con una vibración o una señal visible (que puede ser útil si el nivel de ruido ambiente es alto y/o si se llevan protectores auditivos u otro equipo de seguridad).

6.7. Esa información adicional puede ser útil para mantener las dosis de radiación en el nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse. También puede ayudar a alertar de los problemas a los radiógrafos y, por tanto, prevenir o

mitigar las emergencias e incidentes. En consecuencia, las entidades explotadoras deberían proporcionar monitores personales de alarma a todos los radiógrafos y asistentes, sobre todo si se deben llevar a cabo trabajos de gammagrafía.

6.8. Aspectos importantes relacionados con el empleo de monitores personales de alarma son, entre otros, los siguientes:

- a) Los monitores personales de alarma solo deberían utilizarse para complementar, pero no para reemplazar, los dosímetros termoluminiscentes o los dosímetros de película.
- b) Los monitores personales de alarma no deberían utilizarse en sustitución de los medidores de tasa de dosis (véase el párrafo 6.14).
- c) Los monitores personales de alarma deberían someterse a ensayos periódicos de conformidad con las recomendaciones nacionales y/o las orientaciones del fabricante.

6.9. Algunos monitores personales de alarma también dan una lectura numérica de la dosis y/o la tasa de dosis, además de emitir una alarma audible o visible.

## DOSÍMETROS DE LECTURA DIRECTA

6.10. Los dosímetros de lectura directa dan una lectura instantánea de la dosis recibida. Pueden resultar útiles para restringir las exposiciones en los trabajos de radiografía industrial, sobre todo para tareas específicas. La entidad explotadora debería proporcionar los dosímetros de lectura directa, que sometería a ensayo de conformidad con las instrucciones del fabricante.

6.11. El electroscopio de fibra de cuarzo, dispositivo que muestra la dosis acumulada mediante la deflexión de una fibra cargada con electricidad a escala, es un tipo sencillo de dosímetro de lectura directa. Los electroscopios de fibra de cuarzo se han utilizado de manera generalizada durante muchos años, pero actualmente han sido reemplazados en gran parte por dosímetros electrónicos de lectura directa más modernos.

6.12. Los dosímetros electrónicos de lectura directa pueden llevar incorporado un elemento de alarma audible y/o visible para alertar si se ha superado una dosis o tasa de dosis prefijada. Esto también posibilita su uso como monitores personales de alarma.

6.13. Algunos dosímetros electrónicos de lectura directa específicos (por ejemplo, los dosímetros personales electrónicos) pueden utilizarse también para sustituir los dosímetros termoluminiscentes o los dosímetros de película como dosímetro principal de “conservación de registros” para fines jurídicos, aunque ello depende de los requisitos reglamentarios.

6.14. Al igual que en el caso de los monitores personales de alarma, los dosímetros personales electrónicos se diseñan y calibran para medir dosis personales y no tasas de dosis en el lugar de trabajo, de modo que no deberían emplearse en sustitución de los monitores de radiación del lugar de trabajo.

## CONSERVACIÓN DE REGISTROS

6.15. La entidad explotadora debería conservar los registros de dosis recibidas por los radiógrafos y otras personas que ingresan regularmente en las zonas controladas, y también en las zonas supervisadas en que así lo exijan los reglamentos nacionales. Estos registros deberían contener detalles de las dosis registradas por los dosímetros de los trabajadores. Deberían indicar claramente las dosis recibidas en los incidentes o en los procedimientos de emergencia a diferencia de las dosis recibidas durante la labor rutinaria. Estos registros de dosis normalmente tienen que ver con las dosis registradas en el dosímetro primario individual del trabajador, y no se suelen emplear para registrar las dosis medidas derivadas de dispositivos adicionales como los electroscopios de fibra de cuarzo y los dosímetros de lectura directa.

6.16. Los radiógrafos y otros trabajadores sometidos a monitorización individual deberían ser informados de sus dosis personales. La entidad explotadora también debería adoptar disposiciones para que los registros se pongan a disposición del oficial de protección radiológica y, además, cuando se requiera, del médico encargado del programa de vigilancia de la salud y del órgano regulador.

6.17. Cuando un trabajador cambie de empleo o lo abandone, la entidad explotadora debería entregar al trabajador y al nuevo empleador un resumen de los registros de dosis del trabajador. Cuando un trabajador deje de realizar trabajos de radiografía, o abandone la entidad y no comience el trabajo de radiografía con otro empleador, la entidad explotadora debería adoptar disposiciones para la conservación de los registros de dosis del trabajador por la propia entidad explotadora, o por cualquier órgano especificado en los reglamentos nacionales.

6.18. En los requisitos reglamentarios tal vez se especifique un tiempo en que deban mantenerse los registros de dosis de cada trabajador; por ejemplo, hasta que un trabajador alcance o haya alcanzado la edad de 75 años, y durante no menos de 30 años después de haber dejado de trabajar con radiaciones. En cumplimiento de los requisitos relativos al mantenimiento de los registros, la entidad explotadora debería garantizar que se mantenga debidamente la confidencialidad de los registros.

## INVESTIGACIÓN DE DOSIS

6.19. La entidad explotadora debería realizar una investigación si la dosis de un radiógrafo, otro trabajador o miembro del público excede del límite de dosis o del nivel de investigación especificado por el órgano regulador o la entidad explotadora. La investigación debería centrarse en las causas del incidente que provocó la sobreexposición, y en los incumplimientos de procedimientos o sistemas de seguridad que contribuyeron al incidente. En el informe de la investigación deberían determinarse las mejoras de procedimientos o instalaciones necesarias para optimizar la protección y reducir la probabilidad de que ocurra un suceso similar y/o para mitigar sus consecuencias.

## VIGILANCIA DE LA SALUD

6.20. La entidad explotadora debería disponer lo necesario para la vigilancia de la salud de los empleados de que se trate en consonancia con los requisitos reglamentarios. Debería llevarse a cabo una vigilancia inicial de la salud con objeto de evaluar si un trabajador tiene un grado adecuado de aptitud para las tareas previstas, así como de evaluar la idoneidad del trabajador desde el punto de vista psicológico para el trabajo con fuentes de radiación. También deberían realizarse evaluaciones periódicas de la salud para cerciorarse de que la salud del trabajador sigue siendo satisfactoria.

## 7. MONITORIZACIÓN DEL LUGAR DE TRABAJO

### PROGRAMA DE MONITORIZACIÓN

7.1. La entidad explotadora debería establecer un programa de monitorización de los niveles de radiación en el lugar de trabajo y en sus alrededores [13]. En el programa debería evaluarse la idoneidad de las disposiciones establecidas para la protección en el trabajo de radiografía y deberían incluirse mediciones de los niveles de radiación en los siguientes lugares:

- a) Para la radiografía en recintos blindados:
  - i) Alrededor de las paredes y las puertas (y otras aberturas) del recinto en una diversidad de condiciones de funcionamiento para garantizar que se mantenga un nivel adecuado de blindaje;
  - ii) En la entrada del recinto después de finalizar cada exposición a la gammagrafía, para confirmar si la fuente gamma ha vuelto satisfactoriamente al dispositivo de exposición o si se ha detenido la emisión de rayos X;
  - iii) Alrededor del lugar de almacenamiento de fuentes gamma, para asegurar un nivel adecuado de blindaje.
- b) Para el trabajo de radiografía *in situ*:
  - i) Alrededor de las barreras durante una exposición de ensayo (o una primera exposición, según las circunstancias) para confirmar si las barreras están colocadas correctamente;
  - ii) En la posición del operador durante la salida de una fuente gamma o cuando se activa un generador de rayos X, para confirmar si los niveles de radiación no son inaceptables;
  - iii) Alrededor de las barreras durante las exposiciones rutinarias, para confirmar si las tasas de dosis se mantienen por debajo de los valores especificados en los reglamentos u orientaciones nacionales o por la entidad explotadora;
  - iv) En la posición del operador durante la retracción de una fuente gamma o la terminación de la exposición de un generador de rayos X;
  - v) Alrededor del dispositivo de exposición después de cada exposición, para asegurar que la fuente ha vuelto completamente a la posición de blindaje;
  - vi) Alrededor de cualquier lugar de almacenamiento de fuentes utilizado en el emplazamiento para garantizar un nivel adecuado de blindaje;

- vii) Alrededor del emplazamiento al terminar el trabajo de radiografía, para confirmar si no han quedado abandonadas fuentes gamma en el emplazamiento;
- viii) Alrededor de los vehículos utilizados para transportar fuentes gamma antes de la salida hacia el emplazamiento y desde este.

7.2. En el programa de monitorización deberían describirse los lugares que se habrán de monitorizar, la frecuencia de monitorización y los registros que será preciso conservar. Esta información debería incluirse en las normas locales y también consignarse en el programa de protección radiológica. Deberían indicarse los niveles de referencia para cada lugar de medición, y las medidas que habrá que adoptarse si estos valores se superan. Los registros del programa de monitorización del lugar de trabajo deberían ponerse a disposición de las personas que corresponda, incluso trabajadores y el órgano regulador.

## SELECCIÓN, MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN DE MEDIDORES DE RADIACIÓN

7.3. Las entidades explotadoras deberían velar por que se ponga a disposición de los radiógrafos un número suficiente de monitores de tasa de dosis adecuados. Aunque hay muchos tipos de monitores adecuados para medir los niveles de radiación gamma, tal vez algunos no sean apropiados para medir con exactitud los rayos X de baja energía, lo que puede originar una importante subestimación de la tasa de dosis real. Debería obtenerse información y orientación sobre la idoneidad de los monitores consultando las publicaciones de los fabricantes y a expertos cualificados.

7.4. La entidad explotadora debería disponer lo necesario para que los monitores de radiación se ensayen formalmente o se calibren a intervalos periódicos por un laboratorio de ensayos especializado. En estos ensayos o en la calibración deberían evaluarse varias características operacionales del medidor de radiaciones. Estas características operacionales son, entre otras, la respuesta a tasas de dosis conocidas en energías específicas, la linealidad y el comportamiento del monitor a tasas de dosis muy altas. La frecuencia y el tipo de ensayo o calibración, junto con los registros apropiados, deberían estar en conformidad con los requisitos especificados en la legislación nacional y/o los reglamentos o por el órgano regulador. También deberían cumplir las recomendaciones del fabricante.

7.5. Los radiógrafos y el oficial de protección radiológica deberían efectuar comprobaciones operacionales rutinarias de los monitores de radiación, que pueden incluir comprobaciones físicas para determinar si el monitor está dañado, comprobaciones de baterías y la puesta a cero de la escala. La respuesta del monitor a la radiación debería comprobarse antes de utilizarlo, de conformidad con los requisitos reglamentarios. Ello puede hacerse, por ejemplo, utilizando una fuente de ensayo de baja actividad, o colocando el monitor cerca de la superficie de un dispositivo de exposición cuando la fuente se encuentra en su posición de blindaje. Algunos órganos reguladores pueden exigir que esas comprobaciones se realicen de conformidad con procedimientos oficiales y que se registren los resultados.

7.6. También deben tenerse en cuenta las condiciones ambientales en que se utilizarán los monitores. Algunos no son adecuados para utilizarlos en lugares muy húmedos o calientes, y otros no son suficientemente fuertes para soportar un uso intenso sobre el terreno. En algunos emplazamientos industriales donde se efectúan trabajos de radiografía *in situ*, tal vez tengan que utilizarse tipos especiales de monitores de radiación. Por ejemplo, en algunas fábricas químicas, los radiógrafos quizás tengan que utilizar monitores de radiación que minimicen la probabilidad de ignición accidental de gases o vapores inflamables en zonas de la planta (a menudo se conocen como monitores intrínsecamente seguros).

7.7. Algunos monitores de radiación se ven afectados por transmisiones de radiofrecuencia. Si la radiografía se ha de llevar a cabo cerca del equipo de generación de radiofrecuencia, debería entonces considerarse el empleo de monitores de radiación blindados especialmente diseñados para radiofrecuencias. También debería tenerse en cuenta el ruido cuando se utilizan estos dispositivos. Las alertas audibles deben ser suficientemente altas para que sean escuchadas y/o complementarse con señales vibratorias o visibles.

## **8. CONTROL DE LAS FUENTES RADIATIVAS**

8.1. Las fuentes radiactivas utilizadas para la radiografía industrial pueden causar, y han causado, graves accidentes [14 a 18]. Las fuentes gamma empleadas en la radiografía industrial por lo general se considera que son fuentes de la categoría 2 en la Clasificación de las fuentes radiactivas del OIEA [19] (véase el apéndice). Las entidades explotadoras deberían asegurar que las fuentes de

gammagrafía se mantienen bajo un debido control. Esto debería cumplirse desde el momento en que se adquieren por primera vez hasta que se devuelven finalmente a su suministrador original o se tratan en condiciones de seguridad al final de su vida útil. En el Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [20] se proporcionan recomendaciones internacionalmente aprobadas a los Estados en relación con la seguridad tecnológica y física de las fuentes de las categorías 1, 2 y 3.

8.2. En relación con la seguridad física de las fuentes radiactivas, las NBS (Ref. [2], para. 2.34) disponen lo siguiente:

“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.”

8.3. Las entidades explotadoras deberían cerciorarse de que obtienen fuentes radiactivas solo de suministradores autorizados, y que las fuentes en desuso se devuelven al suministrador inicial o se transfieren a otro órgano autorizado. La importación y exportación de fuentes radiactivas debería estar en conformidad con las recomendaciones enunciadas en el Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [20] y sus directrices complementarias sobre los controles de importación y exportación [21].

8.4. Es preciso que las entidades explotadoras realicen un inventario periódico de las fuentes para confirmar si se encuentran en sus lugares asignados y en condiciones seguras [2]. Las fuentes deberían retirarse de su lugar de almacenamiento o trasladarse a otro lugar únicamente por radiógrafos

autorizados y capacitados. Los radiógrafos deberían registrar su nombre, la fecha y la hora, y el nuevo lugar exacto de las fuentes. Estos registros deberían ser verificados por el oficial de protección radiológica al menos una vez al mes con el fin de garantizar que todas las fuentes radiactivas están donde se supone que estén. Los dispositivos de exposición que van provistos de blindaje de uranio empobrecido deberían incluirse en los procedimientos contables.

8.5. Cualquier presunta pérdida de control de una fuente radiactiva debería ser investigada rápidamente por la entidad explotadora y notificada al órgano regulador (y cualquier otra autoridad que se considere pertinente) en el plazo de las 24 horas siguientes o según lo especifiquen los requisitos reglamentarios.

8.6. El OIEA ha publicado orientaciones sobre la seguridad física de las fuentes radiactivas y la prevención de actos dolosos [22].

## **9. SEGURIDAD DE LAS FUENTES DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL Y DE LOS DISPOSITIVOS DE EXPOSICIÓN**

### **ASPECTOS GENERALES**

9.1. En el mercado se pueden obtener una amplia variedad de tipos de fuentes de radiación, dispositivos de exposición y equipo auxiliar para llevar a cabo trabajos de radiografía industrial. El equipo utilizado para la radiografía debería obtenerse de un fabricante autorizado con un sistema de gestión establecido como la norma ISO 9001 [9] u otra norma nacional equivalente, para garantizar que los elementos de seguridad del diseño han sido reproducidos de manera consecuente. La entidad explotadora debería asegurarse de que el proveedor suministra la información sobre la utilización segura del equipo. La entidad explotadora también debería cerciorarse de que esta información se pone a disposición de los usuarios en un idioma que conocen.

9.2. Las entidades explotadoras deberían garantizar que el equipo utilizado para fines de radiografía industrial no se modifica sin la evaluación previa de las consecuencias de la modificación para el diseño original y la evaluación de la seguridad. La evaluación previa debería revisarse por un experto cualificado o el suministrador y analizarse con el órgano regulador para determinar si se requiere otra autorización o aprobación.

9.3. El anexo II contiene información descriptiva sobre los diversos tipos de sistemas de radiografía. Más adelante se formulan orientaciones sobre las cuestiones de seguridad vinculadas al equipo.

## FUENTES DE GAMMAGRAFÍA Y DISPOSITIVOS DE EXPOSICIÓN

9.4. El equipo de gammagrafía contiene una fuente sellada de alta actividad almacenada en un dispositivo de exposición blindado. La fuente se mantiene en el dispositivo de exposición blindado cuando no se está utilizando. La fuente queda expuesta al hacerse avanzar a distancia directamente desde el dispositivo de exposición blindado (por ejemplo, utilizando cables de empuje y tracción) hasta un tubo guía adosado. La fuente permanece en el tubo guía durante el tiempo de exposición deseado, tras lo cual se retrae al dispositivo de exposición blindado.

9.5. El equipo utilizado para la gammagrafía por lo general consta de varios componentes, como por ejemplo, un mecanismo retráctil accionado por manivela a distancia que va conectado a la fuente radiográfica situada dentro de un dispositivo de exposición blindado conectado al tubo guía. El diseño y el funcionamiento de estos varios componentes están interrelacionados. No se debe poner en peligro la seguridad utilizando componentes que no cumplen las especificaciones de diseño originales.

### **Fuentes radiactivas selladas**

9.6. Al realizar el trabajo de gammagrafía, los explotadores deberían emplear solo fuentes selladas que cumplan las normas internacionales o nacionales equivalentes, como se indica más adelante. Estas normas establecen las condiciones operacionales normales que debe soportar una fuente sellada. Solo las fuentes selladas que cumplen los criterios siguientes deberían utilizarse para fines de radiografía industrial. Las fuentes deberían:

- a) Recibir una certificación que indique que cumplen los requisitos para los materiales radiactivos “en forma especial” establecidos en el Reglamento de Transporte del OIEA [23];
- b) Diseñarse, fabricarse y ensayarse en consonancia con los requisitos de la norma ISO apropiada [24] o una norma nacional equivalente;
- c) Ser objeto de ensayos de estanqueidad de conformidad con la norma ISO apropiada [25] o una norma nacional equivalente y con un certificado de ensayo de estanqueidad válido para cada fuente por separado.

9.7. Las fuentes selladas utilizadas para fines de radiografía industrial normalmente forman parte de un conjunto de la fuente almacenado en un cable flexible que va conectado al cable impulsor en sistemas de tipo proyección de fuentes. Los conjuntos de fuentes deberían:

- a) Diseñarse, fabricarse y someterse a ensayos para asegurar que cumplen los requisitos de la norma ISO apropiada [26] o una norma nacional equivalente;
- b) Ser compatibles con el receptáculo de exposición, el equipo auxiliar (como los tubos guía) y cualquier intercambiador de fuente con el que se utilicen;
- c) Estar marcados de conformidad con la norma ISO 361 [27] o una norma nacional equivalente o, como mínimo, marcados con el símbolo de la radiación (el trébol) y la inscripción “RADIATIVO”. También deberían marcarse de forma duradera con el número de serie del fabricante.

9.8. El conjunto de la fuente debería ser compatible con el dispositivo de exposición específico en que está previsto que se utilice. También debería haber sido objeto de ensayos demostrados de conformidad con la norma ISO 3999 [26] o una norma nacional equivalente.

9.9. Algunos fabricantes especifican una vida útil recomendada para una fuente sellada. La vida útil recomendada se basa en varios factores, incluso el período de semidesintegración de la fuente y la construcción del encapsulamiento de la fuente. Esta es una indicación del período en que la fuente debe mantener su integridad. Los fabricantes recomiendan que debe dejarse de trabajar con una fuente cuando su edad alcanza la vida útil recomendada.

9.10. Otra solución sería que un órgano debidamente experimentado o un experto llevara a cabo una evaluación física de la condición de la fuente para refrendar su uso continuo. El órgano regulador podría recomendar ciertos ensayos para continuar utilizando una fuente después de que esta llegue a su vida útil recomendada, como ensayos de estanqueidad más frecuentes o una evaluación a cargo de un experto cualificado con acceso a las instalaciones apropiadas.

## **Dispositivos de exposición**

### *Dispositivos de exposición de tipo proyección*

9.11. La fuente sellada se almacena y utiliza dentro de un dispositivo de exposición específicamente diseñado que lleva incorporados dispositivos y elementos de seguridad concebidos para reducir el riesgo de error humano o de

mal funcionamiento del equipo. En el anexo II se incluye una descripción de los varios tipos de dispositivos de exposición.

9.12. El dispositivo de exposición debería cumplir los requisitos de la norma ISO 3999 [26], una norma equivalente o requisitos nacionales. El cumplimiento de esta norma garantiza que se ha cumplido una norma de seguridad mínima y que el dispositivo y la combinación de fuentes son adecuados para los fines de radiografía industrial.

9.13. La mayoría de los dispositivos de exposición también cumplen los requisitos para un bulto de transporte del Tipo B(U) estipulados en el Reglamento de Transporte del OIEA [23]. En la sección 12 se proporcionan más orientaciones sobre el transporte seguro de las fuentes.

#### *Otros tipos de dispositivos de exposición*

9.14. Todavía se utilizan algunos tipos de dispositivos de exposición que no cumplen la norma ISO 3999 [26] debido a diseños antiguos o aplicaciones singulares o inusuales. Las entidades explotadoras deberían velar por que tales dispositivos no se utilicen más hasta que se haya realizado una evaluación de la seguridad para determinar si es necesario adoptar nuevas precauciones de seguridad.

9.15. Antes de utilizarse, esos dispositivos también deberían recibir una autorización específica del órgano regulador, cuando proceda. Algunos ejemplos pueden ser los dispositivos accionados por aire que exponen la fuente al proyectarla hacia afuera e introducirla dentro del tubo guía aplicando aire comprimido (sin la conexión del cable de control a la fuente). Aunque esto produce bajas dosis para el operador, es posible proyectar la fuente fuera del dispositivo de exposición incluso sin estar conectado el tubo guía. Tales sistemas también pueden causar problemas asociados con la vuelta de la fuente a la posición de blindaje.

9.16. Otro tipo de sistema de exposición utilizado tradicionalmente es el sistema de “soplete”. El empleo de ese equipo no se justifica, ya que los radiógrafos que utilizaban este tipo de equipo se veían sometidos a niveles de radiación inaceptablemente altos, aunque en el presente documento se describe brevemente en aras de una mayor exhaustividad. En el sistema de soplete, la fuente radiactiva se montaba en el extremo de una barra corta que estaba almacenada dentro de un dispositivo de exposición. Para exponer la fuente, esta se extraía manualmente de

su dispositivo de exposición (situado en el extremo de la barra o soplete) y se insertaba en un colimador fijado a la pieza de trabajo.

### *Marcado y etiquetado*

9.17. Todo dispositivo de exposición debería etiquetarse claramente de forma permanente con los siguientes detalles:

- a) El símbolo internacional de la radiación ionizante (el trébol) [27];
- b) La palabra “RADIOACTIVO” en letras de 10 mm de alto como mínimo, junto con una breve advertencia en un idioma apropiado al país de utilización;
- c) Los símbolos químicos y el número de masa de los radionucleidos para los cuales es adecuado el dispositivo de exposición (por ejemplo, “<sup>192</sup>Ir” o “<sup>60</sup>Co”);
- d) La actividad máxima de la fuente permitida en el dispositivo de exposición, y una mención de cada radionucleido para el cual es adecuado el dispositivo de exposición;
- e) La norma internacional (ISO 3999 [26]) o la norma nacional equivalente a las que se ajusta el dispositivo de exposición y sus accesorios;
- f) El nombre del fabricante, el número de modelo y el número de serie del dispositivo de exposición;
- g) La masa del blindaje de uranio empobrecido, cuando proceda, o la indicación “Contiene uranio empobrecido”;
- h) El nombre, dirección y número de teléfono del explotador.

9.18. Además, el dispositivo de exposición debería llevar una etiqueta o un rótulo duraderos de material ignífugo con información sobre la fuente radiactiva que contiene, con inclusión de lo siguiente:

- El símbolo químico y el número de masa del radionucleido;
- La actividad en una fecha declarada;
- El número de identificación de la fuente sellada;
- La identidad del fabricante de la fuente.

### *Equipo de segunda mano*

9.19. Las entidades explotadoras que adquieren equipo de radiografía usado o de segunda mano deberían garantizar que el equipo, junto con los elementos auxiliares, cumple las normas internacionales vigentes [26] o una norma nacional

equivalente. Para lograrlo debería hacerse que el fabricante u otro órgano competente efectuara una evaluación.

### *Blindaje de uranio empobrecido*

9.20. El blindaje de muchos dispositivos de exposición (y algunos colimadores) lleva incorporado uranio empobrecido por ser este más denso que el plomo. Ello posibilita que los dispositivos de exposición sean físicamente más pequeños que lo que sería posible con blindaje de plomo únicamente. También posibilita que el bulto cumpla los requisitos de los bultos del Tipo B(U) estipulados en el Reglamento de Transporte [23] cuando proceda. El uranio empobrecido es radiactivo, lo que significa que los dispositivos de exposición de este tipo, incluso cuando estén “vacíos” (es decir, que no contengan una fuente radiográfica), deberían almacenarse en condiciones de seguridad y someterse a procedimientos contables.

9.21. Los explotadores deberían determinar cuáles de sus dispositivos de exposición o colimadores, si los hubiere, van provistos de uranio empobrecido. Los operadores deberían cerciorarse de que los dispositivos de exposición y los colimadores que contienen uranio empobrecido llevan una marca duradera para indicarlo. Algunos órganos reguladores también pueden exigir una autorización independiente para esos dispositivos de exposición y colimadores. Para su disposición final debería contarse con la autorización del órgano regulador.

### **Equipo auxiliar**

9.22. El equipo auxiliar utilizado con un dispositivo de exposición comprende las cajas de control, los tubos guía y los colimadores. Las reglas de funcionamiento mínimas del equipo auxiliar figuran en la norma ISO 3999 [26]. El equipo debería satisfacer los requisitos de esta norma o una norma nacional equivalente.

9.23. Cada modelo de dispositivo de exposición tendrá su propio equipo auxiliar específico. El equipo auxiliar debería ser compatible con el dispositivo de exposición específico y el conjunto de la fuente con el que se prevé utilizar para evitar incidentes. Las incertidumbres acerca de la compatibilidad deberían comprobarse con los fabricantes.

9.24. Se dispone de equipo auxiliar como cables de control y tubos guía para maximizar la distancia entre el radiógrafo y la fuente. Las longitudes típicas van de 7 a 15 m para los cables de control y de 2 a 6,5 m para los tubos guía. Los

dispositivos no deberían operarse con cables de control y tubos guía más largos que lo que se indica en las recomendaciones del fabricante.

## **Colimadores**

9.25. Los colimadores se emplean para reducir el haz de radiación en algunas direcciones. Deberían utilizarse siempre que sea posible para reducir los niveles de radiación y las dosis posteriores. Los colimadores se suelen fabricar de plomo, tungsteno o uranio empobrecido, y pueden proporcionar haces panorámicos o direccionales. La entidad explotadora debería garantizar que los colimadores sean compatibles con el conjunto de la fuente a fin de impedir que se atasque la fuente.

## **Intercambiadores de fuentes y contenedores de almacenamiento**

9.26. Para el intercambio seguro de fuentes de radiografía industrial obsoletas y nuevas presentes en el dispositivo de exposición del operador debería emplearse el intercambiador de fuentes (normalmente el contenedor de transporte) utilizado por el suministrador de la fuente (que debería devolverse normalmente al suministrador después del cambio de una fuente). Los contenedores de almacenamiento deberían facilitar el almacenamiento seguro de las fuentes selladas cuando no se estén utilizando, y prevenir el acceso no autorizado.

9.27. Aunque no hay normas específicas para los intercambiadores de fuentes o los contenedores de almacenamiento, cuando sea posible deberían cumplir lo estipulado en las secciones aplicables de la norma ISO 3999 [26] o las normas nacionales equivalentes para los niveles de dosis y el etiquetado. Los intercambiadores de fuentes deberían llevar incorporado un sistema para asegurar que la fuente no se retire accidentalmente del intercambiador al conectarse o desconectarse. Deberían incluir un candado o llevar un receptáculo exterior cerrado con llave concebido para prevenir la retirada no autorizada o accidental de la fuente sellada de su posición de blindaje. Los contenedores de almacenamiento e intercambiadores de fuentes deberían mantenerse cerrados con llave (que debe retirarse en todas las ocasiones) cuando contengan fuentes selladas, a menos que estén bajo la vigilancia directa de un trabajador autorizado.

9.28. Los explotadores deberían asegurarse de que los intercambiadores de fuentes que van provistos de uranio empobrecido se tratan como fuentes radiactivas incluso cuando están “vacíos” (es decir, cuando no contienen una fuente radiográfica) y que se someten a disposición final solo cuando lo autoriza el órgano regulador.

## **Almacenamiento de fuentes radiactivas**

9.29. Las instalaciones de almacenamiento *in situ* para fuentes y dispositivos de exposición deberían consistir en una sala que pueda cerrarse con llave o un almacén construido para este propósito que brinde un nivel adecuado de protección y seguridad. La sala o el almacén deberían designarse como zona controlada o zona supervisada, según proceda, y deberían:

- a) Ser resistentes al fuego para minimizar la posibilidad de pérdida de blindaje y contención en caso de un incendio en las inmediaciones;
- b) Estar ubicados en una zona distante de peligros de corrosión y explosión;
- c) Fabricarse con materiales que proporcionen suficiente blindaje para reducir las tasas de dosis fuera de ellos a niveles inferiores a los especificados por el órgano regulador para el caso.

La puerta de la instalación de almacenamiento debería mantenerse cerrada con llave, que solo debería estar en posesión de personal autorizado. En la puerta debería haber un aviso en que se incorpore el símbolo de la radiación (el trébol).

## **Inspección y mantenimiento**

### *Buena práctica general*

9.30. Para garantizar la operación satisfactoria continua, el equipo de gammagrafía (incluso todo el equipo auxiliar) debería someterse a inspección rutinaria y mantenimiento periódico.

9.31. El mantenimiento periódico solo debe realizarlo el fabricante o personal especialmente capacitado que actúe de conformidad con las instrucciones del fabricante. Las piezas de repuesto solo deberían obtenerse del fabricante para dar cumplimiento a las especificaciones de seguridad originales. Las modificaciones deberían someterse a la aprobación del fabricante o el órgano regulador, si procede.

9.32. Una buena práctica general debe ser mantener limpio el equipo para que funcione correctamente. Después de utilizar la fuente, debería limpiarse el barro y el polvo, ya que ello obstaculizaría el desplazamiento de la fuente.

### *Inspección rutinaria*

9.33. Los radiógrafos deberían llevar a cabo inspecciones rutinarias antes del comienzo del trabajo de radiografía para detectar condiciones que puedan causar un incidente si no se corrigen. Algunas comprobaciones típicas son, por ejemplo, las siguientes:

- a) Inspección del dispositivo de exposición para asegurar que:
  - i) Los accesorios y artículos de sujeción están ajustados.
  - ii) El mecanismo de cierre funciona correctamente.
  - iii) Los niveles de radiación son normales.
  - iv) Las conexiones del tubo guía y el mecanismo de control son seguras.
  - v) La conexión del conjunto de la fuente al cable impulsor se verifica para que sea seguro utilizar un calibrador de límite de desgaste, como un calibrador de comprobación de buen funcionamiento suministrado por el fabricante para comprobar el desgaste excesivo.
- b) Inspección de los mandos a distancia para asegurar que:
  - i) Los accesorios están ajustados.
  - ii) No hay indicaciones de aplastamiento, deformaciones o arañazos.
  - iii) El cable impulsor puede desplazarse libremente.
- c) Inspección de los tubos guía de la fuente para asegurar que:
  - i) Los accesorios están ajustados.
  - ii) No hay indicaciones de aplastamiento, deformaciones o arañazos.
  - iii) Las puntas de la fuente no están gastadas.

9.34. Los radiógrafos deberían inspeccionar el equipo auxiliar adicional que se utilice (como soportes magnéticos, alicates de sujeción y accesorios del colimador) para determinar lo siguiente:

- Libertad de movimiento;
- Buenas condiciones de funcionamiento;
- Idoneidad de empleo.

Al realizar un intercambio de fuentes, los radiógrafos deberían realizar las siguientes comprobaciones preoperativas para asegurar que:

- Los conjuntos de cierres funcionan correctamente.
- El tubo guía y las conexiones del tubo de transferencia son seguros.
- No hay obstrucciones en los tubos guía o tubos de transferencia.

### *Programa de mantenimiento*

9.35. La entidad explotadora debería establecer un programa de mantenimiento de todo el equipo utilizado para la gammagrafía. En el programa debería indicarse que solo el suministrador u operadores especialmente capacitados deberían realizar este mantenimiento. El mantenimiento debería efectuarse en los intervalos requeridos, y debería tenerse en cuenta todo empleo del equipo en ambientes extremos, como en presencia de arena, polvo o agua.

9.36. El mantenimiento consiste en el desmontaje completo del equipo y en una inspección detallada de todos los componentes. Cuando se requiera, las piezas desgastadas o dañadas deberían sustituirse y debería aplicarse un lubricante adecuado. Deberían mantenerse registros de todo el mantenimiento, incluida la sustitución de las piezas.

### GENERADORES DE RAYOS X

9.37. El tipo más corriente de generador de rayos X utilizado para la radiografía industrial es el tubo de rayos X convencional aunque, en algunas aplicaciones especializadas, también se utilizan aceleradores lineales y ciclotrones. Las recomendaciones siguientes se aplican a los tubos de rayos X, aunque debería aplicarse una norma semejante de seguridad a los aceleradores lineales y ciclotrones.

9.38. Los generadores de rayos X se utilizan para realizar exposiciones panorámicas (haz radial) y exposiciones direccionales. El tubo de rayos X se conecta por cable al cuadro de mando, que sirve de medio para la preselección e indicación de los parámetros operacionales. La dosis del radiógrafo puede verse afectada por la longitud del cable, los parámetros operacionales (kilovoltaje y corriente) y el blindaje local alrededor del dispositivo. Las entidades explotadoras deberían utilizar solo generadores de rayos X que cumplan las normas mínimas indicadas a continuación.

### **Seguridad eléctrica**

9.39. La seguridad eléctrica contribuye indirectamente a la seguridad radiológica, ya que los fallos eléctricos en los generadores de rayos X pueden provocar graves accidentes, algunos con consecuencias radiológicas. Los generadores de rayos X deben ajustarse a los requisitos de seguridad eléctrica nacionales e internacionales [28]. En particular, los elementos metálicos, incluidos carcasas,

cables de interconexión, fuentes de alimentación (transformadores y generadores), equipo de control, conjuntos de tubos, dispositivos de señales de alerta y otros dispositivos de seguridad deberían tener un enlace equipotencial (“puesta a tierra”) y conectarse a tierra (toma de tierra). Debería prestarse asesoramiento sobre cuestiones eléctricas y un ingeniero eléctrico cualificado o un ingeniero de mantenimiento especializado deberían realizar la inspección y los ensayos.

### **Longitud del cable**

9.40. Cuando la radiografía no pueda llevarse a cabo en un recinto blindado, la longitud del cable no debería ser inferior a 20 m para los generadores de rayos X y alcanzar hasta 300 kV o más para el equipo de más alta energía.

### **Colimadores y filtros de haces**

9.41. Los generadores de rayos X utilizados para la radiografía direccional deberían, siempre que sea posible, ajustarse con los colimadores (a veces denominados conos o diafragmas), para limitar el tamaño del haz al mínimo compatible con la técnica radiográfica. El equipo debería llevar incorporados filtros de haces para que la filtración se adapte al trabajo que se realice.

### **Cuadro de mando**

9.42. El cuadro de mando debería constar de los siguientes elementos:

- a) Una etiqueta que lleve el símbolo de la radiación (trébol), una inscripción que indique que se emiten rayos X cuando el equipo está funcionando y una etiqueta de advertencia (en un idioma conocido localmente) que prohíba el uso no autorizado.
- b) Un interruptor de llave para prevenir el uso no autorizado. La llave solo debería poder extraerse cuando el interruptor esté en la posición de apagado o de espera (es decir, no debería ser posible bloquear el acceso al sistema en la posición de encendido). Las posiciones de la llave deberían marcarse claramente.
- c) Una luz de alerta de posición de seguridad con una etiqueta que indique cuándo el equipo está activado (es decir, listo para emitir rayos X).
- d) Una luz de alerta independiente de posición de seguridad con una etiqueta que indique cuándo el equipo está emitiendo realmente rayos X.

- e) Un temporizador que controle la duración de la exposición o un interruptor de encendido que el radiógrafo deba presionar continuamente para que se mantenga la generación de rayos X.
- f) Indicadores que señalen los kilovoltios (kV) y la corriente en miliamperes (mA) cuando el haz de rayos X está en la posición de encendido.
- g) Un medio para terminar de inmediato la generación de radiación marcado claramente.

### **Cabezal del tubo de rayos X**

9.43. El cabezal del tubo de rayos X debería, siempre que sea posible, colocarse en un soporte adecuado o fijarse firmemente en posición para prevenir su movimiento inadvertido. La radiación de fuga (es decir, la radiación que pasa a través de los costados del dispositivo y no por delante hacia la apertura del haz) debería restringirse mediante un buen diseño y construcción. Su nivel debería ser especificado por el fabricante del dispositivo.

9.44. La potencia de penetración de la radiación de fuga depende del kilovoltaje y es particularmente importante por encima de 500 kV. El fabricante debería documentar los datos sobre las tasas de dosis máximas debidas a la radiación de fuga en la superficie del dispositivo y a 1 m de distancia del blanco de rayos X. Los valores típicos de tasa de dosis máxima para la radiación de fuga de los tubos de rayos X comerciales llegan hasta  $100 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$  a 1 m del blanco.

### **Unidades de rayos X de descarga por destello**

9.45. Algunos generadores de rayos X emiten impulsos muy cortos de rayos X, y la duración de la exposición se fija en función del número de impulsos que requiere la exposición. Estas unidades de rayos X de descarga por destello suelen ser muy pequeñas, portátiles y accionadas por baterías y se utilizan para la radiografía de elementos de baja densidad o paredes de muy poco espesor. Las unidades de rayos X de descarga por destello de gran tamaño a veces se utilizan en instalaciones blindadas en que se requiere una alta potencia de salida y un tiempo de exposición extremadamente breve. Deberían utilizarse las mismas precauciones que para el equipo ordinario de rayos X, junto con las demás precauciones de seguridad que determine la evaluación de la seguridad.

9.46. Cabe señalar que la mayoría de los medidores de tasa de dosis no son adecuados para la medición de tasas de dosis cerca de unidades de rayos X de descarga por destello debido al tiempo de impulso extremadamente breve de las

unidades y el tiempo de respuesta relativamente lento de los medidores. En su lugar, deberían utilizarse dosímetros integradores adecuados.

## **Inspección y mantenimiento del equipo de rayos X**

### *Buena práctica general*

9.47. Para garantizar un buen funcionamiento constante, el equipo de rayos X (incluso todo el equipo auxiliar) debería someterse a comprobaciones rutinarias por la entidad explotadora y a inspecciones y mantenimiento rigurosos por el fabricante o un experto cualificado. Las piezas de repuesto solo deberían obtenerse del fabricante a fin de cumplir las especificaciones de seguridad originales.

9.48. Las tareas periódicas que puede llevar a cabo la entidad explotadora deberían ser, entre otras, las siguientes:

- a) Comprobaciones de la seguridad eléctrica, incluso toma de tierra y ensayos de aislamiento eléctrico de los cables;
- b) Limpieza o sustitución de filtros en los sistemas de refrigeración;
- c) Comprobaciones de fugas de rayos X desde el tubo;
- d) Comprobaciones para asegurar que todos los cables están en buenas condiciones, sin desgaste ni al descubierto;
- e) Otras comprobaciones y mantenimientos rutinarios que recomiende el fabricante;
- f) Ensayos de todos los enclavamientos e interruptores magnetotérmicos de emergencia;
- g) Ensayos de todos los detectores de radiación permanentemente instalados dentro de los recintos blindados, asegurándose al hacerlo de que nadie se encuentre dentro del recinto.

### *Inspección rutinaria*

9.49. La inspección rutinaria debería realizarse al comienzo del trabajo. Esta inspección se lleva a cabo para detectar condiciones que puedan originar un incidente si no se corrigen. En la inspección debería comprobarse por lo general que:

- No haya daños visibles en el equipo.
- Los cables no tengan cortes, rupturas, deformaciones o conexiones rotas.
- Los sistemas de refrigeración por líquido no presenten fugas.

- Todos los enclavamientos estén operativos.
- Todos los indicadores y luces de alerta estén funcionando correctamente.
- Los elementos de sujeción estén bien fijos y las conexiones roscadas sean seguras.

### *Mantenimiento*

9.50. La entidad explotadora debería instituir un programa de mantenimiento de equipo de rayos X. En el programa debería indicarse que solo el suministrador u operadores especialmente capacitados deberían realizar este mantenimiento. El mantenimiento debería realizarse al menos anualmente, y más a menudo si el equipo se utiliza en ambientes extremos, como condiciones de polvo o humedad excesivos, o si el equipo se traslada con frecuencia. El mantenimiento consiste en una inspección y ensayos completos del equipo, y en una inspección detallada de todos los componentes. Cuando se requiera, las piezas que no funcionen o estén dañadas deberían reemplazarse y someterse a ensayo según proceda. Deberían mantenerse registros de todo el mantenimiento, incluida la sustitución de las piezas.

## **10. RADIOGRAFÍA EN RECINTOS BLINDADOS**

### ASPECTOS GENERALES

10.1. Un recinto blindado es un espacio cerrado diseñado y construido con el fin de proporcionar blindaje adecuado contra la radiación ionizante a las personas de las inmediaciones. En él se incorporan controles técnicos para prevenir o minimizar la exposición potencial de personas que pudieran entrar en el recinto cuando las fuentes estuvieran expuestas o activadas.

10.2. La radiografía industrial debería llevarse a cabo dentro de recintos blindados siempre que sea razonablemente posible. El empleo de un recinto blindado tiene la ventaja de que posibilita que se realicen otros trabajos en las inmediaciones (aunque fuera del recinto) sin interrupción y que el trabajo de radiografía pueda ejecutarse según se requiera. Para el trabajo de radiografía debería utilizarse un recinto correctamente diseñado y construido, con sistemas de seguridad y sistemas de alerta apropiados que sean sometidos a ensayo y mantenimiento periódicamente. Tal recinto puede resultar muy eficaz para prevenir accidentes y mantener las dosis de radiación en el nivel más bajo que pueda razonablemente alcanzarse.

10.3. Antes de utilizar un recinto, la entidad explotadora debería efectuar ensayos de puesta en servicio, de ser necesario con el apoyo del fabricante, para confirmar si el recinto construido cumple sus criterios de diseño.

## DISEÑO Y BLINDAJE

10.4. El recinto blindado debería diseñarse de manera que se tengan en cuenta las fuentes de radiación que se utilizarán y el trabajo concreto que se deberá realizar. En el diseño debería preverse la necesidad de ubicar los controles de exposición de la fuente gamma o el generador de radiación fuera del recinto blindado. En el diseño deberían planificarse las necesidades inmediatas y las que podrían presentarse en un futuro previsible antes del comienzo de la construcción.

10.5. En el diseño del recinto blindado debería incluirse un plano de la instalación y sus alrededores, entre ellos las oficinas o edificios contiguos. En el plano deberían indicarse las dimensiones, así como el espesor, la densidad y el tipo de materiales de blindaje en todos los lados de la zona de exposición, por encima y por debajo. Será preciso marcar las entradas e indicarse las distancias a zonas potencialmente ocupadas contiguas a la zona de exposición, por encima y por debajo de ella, y debería incluirse información sobre el factor de ocupación (es decir, la frecuencia de ocupación y la duración media de permanencia de una persona en una zona). La instalación debería planearse correctamente para minimizar sus costos y evitar trabajos correctivos que tal vez se requieran si no se logra el grado necesario de protección.

10.6. La exposición directa a la radiación y la fuga de radiación derivadas de la operación de recintos blindados deberían limitarse mediante un blindaje apropiado. Para realizar un cálculo exhaustivo del espesor del blindaje requerido se deben emplear datos detallados de transmisión del material de blindaje de que se trate. Se requerirá la asistencia de un experto cualificado para llevar a cabo estos cálculos. Las orientaciones sobre el empleo de los datos de transmisión de la radiación y los cálculos necesarios trascienden el ámbito de la presente publicación.

10.7. Los recintos deberían tener preferiblemente un techo blindado. En los diseños con techo mínimo o sin techo debería prestarse especial atención a la dispersión de la radiación en el aire (o “brillo celeste”) y a la dispersión desde objetos situados fuera del recinto, como techos o paredes más altos en las inmediaciones del recinto si este se construye dentro de otro edificio.

10.8. El órgano regulador probablemente especifique los criterios aplicables en el diseño de un recinto, incluso los niveles de referencia de dosis o tasa de dosis.

10.9. Habrá algunas aberturas o penetraciones del blindaje para los puntos de entrada y salida del personal; para que las grúas coloquen y retiren los objetos pesados que se van a radiografiar; para las tuberías; para los cables de control; y para los conductos de ventilación y de otro tipo. Estos puntos de penetración deberían diseñarse con sumo cuidado para evitar, o al menos minimizar, la penetración o dispersión de la radiación.

10.10. Pueden producirse deficiencias en el blindaje después de un período de desgaste o daño del blindaje, de movimiento del blindaje o de asentamiento del edificio. Deberían utilizarse varias técnicas de diseño, como entradas a laberintos, para prevenir o minimizar estas deficiencias.

10.11. En el diseño deberían tomarse en cuenta los resultados de la evaluación de la seguridad<sup>6</sup>. Cuando se haya establecido el diseño del recinto blindado no deberían efectuarse nuevas modificaciones a menos que mantengan o aumenten el grado de seguridad. Las modificaciones del diseño original también pueden requerir ensayos de puesta en servicio y quizás la autorización o aprobación del órgano regulador o un experto cualificado.

10.12. Todos los documentos relativos al diseño del recinto deberían conservarse para utilizarlos como referencia en el futuro. El órgano regulador tal vez también requiera copias de los planos y documentos antes de autorizar el uso de la instalación.

## ZONAS CONTROLADAS Y ZONAS SUPERVISADAS

10.13. Las tasas de dosis serán muy altas dentro de un recinto durante el trabajo de radiografía, por lo que el recinto debería diseñarse como zona controlada. Con todo, tal vez no se requiera designar el recinto como zona controlada cuando no se esté utilizando. El enfoque que se adopte dependerá de los reglamentos y requisitos nacionales o locales.

---

<sup>6</sup> En las instalaciones en que se vayan a utilizar generadores de radiación de alta energía como aceleradores y ciclotrones, quizás también sea necesario tener en cuenta posibles peligros no radiológicos derivados de gases nocivos como el ozono.

10.14. El recinto blindado debería diseñarse de modo que no sea necesario designar una zona controlada fuera del recinto. Según la situación, la zona circundante del recinto blindado podría ser designada como zona supervisada.

## SISTEMAS DE SEGURIDAD Y SISTEMAS DE ALERTA INHERENTES A LA GAMMAGRAFÍA

### **Enclavamientos de puertas**

10.15. Los recintos blindados deberían estar provistos de sistemas de seguridad adecuados en las puertas de acceso para que las personas no puedan entrar cuando esté expuesta una fuente de radiación. Debería instalarse un sistema de enclavamiento mecánico o eléctrico para que la fuente no quede expuesta a menos que esté cerrada la puerta.

10.16. Asimismo, el sistema debería impedir que la puerta se abra cuando la fuente esté expuesta, o debería retirarse automáticamente o blindar la fuente si se abre la puerta. En el caso de algunos dispositivos de exposición gamma manuales, quizás no sea siempre posible instalar sistemas de enclavamiento de esta índole. En tal situación, el radiógrafo debería cerrar con llave la puerta inmediatamente antes de exponer la fuente.

10.17. Debería instalarse un sistema de monitorización de las radiaciones provisto de elementos de seguridad intrínseca. Lo ideal sería que el medidor de radiaciones se integrara con los enclavamientos de la puerta para impedir la entrada al recinto blindado cuando el medidor de radiaciones detectara radiación superior al nivel prefijado. Ahora bien, tal vez esto no sea posible cuando se utilicen algunos dispositivos de exposición gamma manuales con equipo retráctil.

10.18. El mismo monitor de radiación instalado debería enviar señales visibles y audibles cuando la fuente esté expuesta. Aun cuando se utilicen estos sistemas automáticos, las personas que ingresen en el recinto blindado deberían siempre utilizar un medidor de radiaciones portátil que funcione correctamente para confirmar si la fuente está totalmente blindada.

### **Señales y avisos de alerta**

10.19. Inmediatamente antes de la exposición de una fuente debería emitirse una señal de alerta previa, que puede ser visible o audible. Esta señal debería ser clara para cualquier persona que se encuentre en el interior o en la entrada del recinto

blindado. Debería durar lo suficiente para que las personas puedan evacuar el interior del recinto.

10.20. Debería emitirse una segunda señal de alerta visible o audible mientras la fuente se encuentre expuesta. La señal de alerta previa y la señal de alerta de “fuente expuesta” deberían poder distinguirse claramente una de otra, y ambas deberían ser visibles y/o audibles desde dentro del recinto blindado.

10.21. Preferiblemente, ambas señales deberían instalarse de modo que funcionen automáticamente cuando se exponga una fuente. No obstante, según los requisitos reglamentarios, tal vez sea aceptable que el radiógrafo produzca manualmente la señal de alerta previa inmediatamente antes de la exposición. En los casos en que hay más de una fuente de radiación, los controles y alertas de la exposición deberían ser distintos e inequívocos.

10.22. Deberían colocarse en lugares apropiados dentro y alrededor de la instalación avisos visibles que expliquen claramente la importancia de las señales de alerta previa y las señales de “fuente expuesta”. Los avisos deberían llevar el trébol que simboliza la radiación y otro tipo de información que requiera el órgano regulador. El texto del aviso debería redactarse en un idioma conocido por las personas que probablemente se encuentren en las zonas circundantes del recinto blindado.

10.23. Los avisos deberían fabricarse con materiales duraderos en las condiciones ambientales predominantes. Los avisos dañados o ilegibles deberían ser reemplazados según fuera necesario.

### **Botones de parada o cables de tiro de emergencia**

10.24. Deberían instalarse botones de parada o cables de tiro de emergencia con reajustes manuales para que cualquier persona situada dentro del recinto blindado active una alarma de inmediato y finalice o impida la radioexposición, automáticamente o atrayendo la atención del radiógrafo. Los botones y cables de tiro deberían colocarse de modo que pueda llegarse a ellos sin atravesar el haz primario de radiación. Deberían etiquetarse con instrucciones claras sobre su uso. Las personas en el interior del recinto deberían poder abandonarlo rápidamente o refugiarse detrás de un blindaje adecuado. El radiógrafo debería poder terminar de inmediato la exposición ante una emergencia.

## SISTEMAS DE SEGURIDAD Y SISTEMAS DE ALERTA INHERENTES A LOS GENERADORES DE RAYOS X

10.25. Los generadores de rayos X se utilizan para realizar trabajos de radiografía en recintos blindados. La potencia de radiación de los generadores de rayos X suele ser de varios órdenes de magnitud más altos que la de las fuentes gamma. Los sistemas de seguridad deberían instalarse correctamente y con cuidado para prevenir una exposición inadvertida de los radiógrafos y otros trabajadores. Los generadores de rayos X deberían integrarse normalmente en los sistemas de seguridad y los sistemas de alerta de un recinto, de modo que no sea posible operar el generador de rayos X sin que los sistemas de seguridad estén funcionando.

### **Enclavamientos de las puertas**

10.26. Los recintos blindados deberían tener enclavamientos adecuados en las puertas de acceso para que nadie pueda acceder a ellos mientras un generador de rayos X esté generando radiación. Debería instalarse un sistema de enclavamiento para que haya un enlace mecánico o eléctrico entre el sistema de control de las exposiciones y la puerta u otros puntos de entrada al recinto blindado. El enclavamiento debería prevenir la generación de rayos X hasta que la puerta se cierre, y poner fin inmediatamente a la producción de rayos X si la puerta se abre. El cierre posterior de la puerta no debería reactivar automáticamente el generador de rayos X.

10.27. Los enclavamientos de las puertas no deberían obstaculizar la salida de las personas del recinto en el caso de una emergencia. Los sistemas de enclavamiento ordinarios van provistos de interruptores eléctricos o sistemas de llave imperdible. Los sistemas de enclavamiento deberían estar a prueba de fallos de modo que no puedan generarse rayos X si ha fallado o se ha roto un componente del sistema de enclavamiento. La redundancia, diversidad e independencia de los sistemas de enclavamiento deberían utilizarse según fuera necesario para obtener más niveles de seguridad.

### **Señales y avisos de alerta**

10.28. Inmediatamente antes de la generación de rayos X debería darse una señal de alerta previa, que puede ser visible o audible. Esta señal debería ser clara para cualquier persona que se encuentre en el interior o en la entrada del recinto blindado. Debería durar lo suficiente para que las personas puedan evacuar el interior del recinto<sup>7</sup>.

10.29. Debería emitirse una segunda señal de alerta visible o audible mientras se estén generando rayos X. La señal de alerta previa y la señal de alerta de exposición de rayos X deberían poder distinguirse claramente una de otra, y ambas deberían ser visibles y/o audibles desde el interior del recinto blindado. También deberían seleccionarse de modo que no se confundan con otras señales de alerta que se utilicen en la zona.

10.30. Las señales deberían instalarse para que funcionen automáticamente cuando se inicie una exposición de rayos X. El sistema de señales de alerta debería diseñarse y/o instalarse de manera que los rayos X no puedan generarse si se produce un fallo de cualquier componente del sistema (por ejemplo, de una bombilla). En los casos en que hay más de una fuente de radiación, los controles y las alertas de exposición deberían ser distintos e inequívocos.

10.31. En lugares apropiados de la instalación y sus alrededores deberían colocarse avisos visibles que expliquen claramente la importancia de las señales de alerta previa y de “fuente expuesta”. Los avisos deberían llevar el trébol de la radiación y otro tipo de información que pida el órgano regulador. El texto del aviso debería redactarse en un idioma conocido por las personas que probablemente se encuentren en las zonas circundantes del recinto blindado.

10.32. Los avisos deberían fabricarse con materiales duraderos en las condiciones ambientales predominantes. Los avisos dañados o ilegibles deberían ser reemplazados según fuera necesario.

### **Botones de parada o cables de tiro de emergencia**

10.33. Deberían instalarse botones de parada o cordones de tiro de emergencia con reajustes manuales en el sistema de enclavamiento para que cualquier persona que esté dentro del recinto blindado pueda activar una alarma de inmediato y finalizar o impedir automáticamente la radioexposición. Los botones y cables de tiro deberían colocarse de modo que pueda llegarse a ellos sin atravesar el haz primario de radiación. Deberían etiquetarse con instrucciones claras sobre su uso. Las personas en el interior del recinto deberían poder abandonarlo rápidamente o refugiarse detrás de un blindaje adecuado. El radiógrafo debería poder terminar de inmediato la exposición ante una emergencia.

---

<sup>7</sup> En las instalaciones que tienen generadores de radiación de alta energía como los aceleradores lineales, pueden instalarse sistemas de “búsqueda y cierre con llave” para “obligar” al operador a comprobar físicamente que la sala está vacía antes de iniciar la exposición.

## PROCEDIMIENTOS DE RADIOGRAFÍA

10.34. El trabajo de radiografía en un recinto blindado debería realizarse solo por radiógrafos competentes que hayan recibido capacitación apropiada. La capacitación debería incluir instrucción para asegurar que el recinto blindado se utilice dentro de sus restricciones de diseño y que todos los sistemas y componentes de la instalación se mantengan según las especificaciones originales. Los radiógrafos también deberían tener conocimiento de los sistemas de seguridad y los sistemas de alerta instalados y de los modos en que deberían operarse.

10.35. Las entidades explotadoras deberían asegurarse de que los procedimientos operacionales y los procedimientos de emergencia para el trabajo de radiografía realizado en el recinto blindado se facilitan por escrito en un idioma conocido por los radiógrafos.

10.36. En los recintos blindados no deberían realizarse otros trabajos de radiografía que no sean aquellos para los que se han diseñado y respecto de los cuales se haya realizado una evaluación de la seguridad. El trabajo de radiografía que no se haya tenido en cuenta en el diseño original y en la evaluación de la seguridad solo debería realizarse después que se haya efectuado una nueva evaluación de la seguridad y que se hayan aprobado e introducido las modificaciones necesarias.

10.37. Los radiógrafos deberían portar siempre los dosímetros personales que exija el órgano regulador. Estos pueden ser dosímetros termoluminiscentes, dosímetros personales de lectura directa y dosímetros personales de alarma.

10.38. Los radiógrafos no deberían depender de los sistemas de seguridad instalados para restringir sus radioexposiciones. Deberían llevar un medidor de radiaciones siempre que entren en el recinto blindado. En el caso de que se midan tasas de dosis superiores al nivel prefijado, el radiógrafo debería evacuar inmediatamente el recinto, prevenir el acceso de otros y procurar asesoramiento del oficial de protección radiológica.

10.39. Debería disponerse de un medidor de radiaciones portátil adecuado para medir las tasas de dosis fuera del recinto blindado (véase también la sección 7). Las mediciones deberían efectuarse en una diversidad de posiciones alrededor del recinto, incluso la posición del operador y las zonas ocupadas adyacentes. Las tasas de dosis medidas deberían compararse con niveles de referencia. En el caso de que las tasas de dosis sean más altas que los niveles de referencia, el trabajo

debería darse por terminado y debería pedirse asesoramiento al oficial de protección radiológica.

10.40. La funcionalidad del medidor de radiaciones debería comprobarse al comienzo de cada turno y preferiblemente durante cada uno de ellos. La comprobación debería realizarse de conformidad con el manual de funcionamiento del medidor y en ella debería realizarse un ensayo del voltaje de la batería y de la respuesta del medidor de radiaciones a una fuente de ensayo. Si falla la comprobación, no se debería comenzar el trabajo de radiografía o continuar haciéndolo hasta que se disponga de un medidor de radiaciones en buenas condiciones de funcionamiento.

10.41. Deberían utilizarse los colimadores y medios de blindaje suplementarios que corresponda para minimizar exposiciones potenciales.

10.42. Antes de cada exposición, el radiógrafo debería verificar que nadie se encuentra en el interior del recinto blindado y cerrar la puerta. El radiógrafo debería iniciar las exposiciones solo cuando esté cerrada la puerta, esté colocado todo el blindaje y estén operativos los sistemas de seguridad y los elementos de alerta.

10.43. Si es necesario utilizar el recinto blindado para fines no considerados inicialmente en la especificación del diseño, como radiografiar embarcaciones inusualmente largas manteniendo la puerta abierta, o utilizar un dispositivo de exposición gamma en un recinto blindado de radiografía de rayos X, en tal caso deberían aplicarse los procedimientos de radiografía *in situ*, para lo cual tal vez se requiera la autorización del órgano regulador.

10.44. Será preciso utilizar barreras y avisos para definir la zona controlada, monitorizar las tasas de dosis alrededor de las barreras, y realizar una constante supervisión para garantizar que nadie entre en la zona controlada. Si los enclavamientos se han desactivado temporalmente, esto debería especificarse claramente y considerarse en una evaluación específica de la seguridad. La vuelta al uso normal debería comprobarse antes de la siguiente ocasión en que se utilice el recinto.

## CLAUSURA

10.45. Cuando una instalación de radiografía industrial ya no se utilice, y no se prevea utilizarla de nuevo en un futuro, la instalación debería clausurarse en la

debida forma [29, 30]. Todas las fuentes de radiación deberían tratarse según lo establezca el marco reglamentario nacional y, si se requiere, someterse a la aprobación del órgano regulador. Para ello se haría lo siguiente:

- a) Las fuentes gamma, con sujeción a la aprobación del órgano regulador, deberían transferirse a otra entidad autorizada. Otra solución sería que la entidad explotadora devolviera la fuente al suministrador original o adoptara otra medida que autorizara el órgano regulador. La entidad explotadora debería mantener registros exhaustivos de todas las autorizaciones de almacenamiento, transferencia o disposición final de las fuentes radiactivas (incluso los certificados entregados por los destinatarios o las instalaciones de disposición final de desechos radiactivos).
- b) Los dispositivos de exposición que lleven uranio empobrecido deberían tratarse de la misma manera que las fuentes gamma.
- c) Los generadores de rayos X deberían hacerse inoperables o, a reserva de la aprobación del órgano regulador, deberían transferirse a otra entidad autorizada.
- d) En el equipo explorador de tuberías para radiografía de rayos X pueden incorporarse fuentes gamma de baja actividad, que también deberían tenerse en cuenta.
- e) Las entidades explotadoras deberían comunicar a las autoridades competentes cuándo se han retirado las fuentes de radiación del emplazamiento.
- f) Deberían retirarse todas las señales y avisos de radiación simbolizados con el trébol.
- g) Debería efectuarse una exploración radiológica minuciosa para confirmar si no han quedado fuentes radiactivas en el emplazamiento y si no hay contaminación.
- h) Debería elaborarse un informe final de clausura que incluya los resultados finales de la exploración radiológica y detalles del almacenamiento, la transferencia o la disposición de las fuentes de radiación. El informe final de clausura debería presentarse al órgano regulador [29, 30].

## 11. RADIOGRAFÍA *IN SITU*

### ASPECTOS GENERALES

11.1. Cuando los objetos que vayan a ser radiografiados no puedan desplazarse físicamente en un recinto blindado, el trabajo debería realizarse en condiciones de “radiografía *in situ*”. Este método de radiografía es muy corriente, pero es potencialmente peligroso debido a la falta de medidas de seguridad tecnológica.

11.2. El trabajo de radiografía *in situ* puede efectuarse en el local del cliente (p.ej., en una refinería, un lugar en el mar o en un taller de construcción), en una zona urbana (p.ej., en un gasoducto o en un emplazamiento de un edificio en construcción), o en un campo abierto (p.ej., en una tubería que atraviese una zona rural o deshabitada).

11.3. El trabajo de radiografía *in situ* debería llevarse a cabo solo cuando no pueda realizarse la radiografía en un recinto blindado. Esto podría deberse al hecho de que los objetos que se han de radiografiar están permanentemente fijados en el lugar o son demasiado grandes o pesados para trasladarlos. Cuando sea posible trasladar las piezas de trabajo, estas deberían radiografiarse en un recinto blindado con todas las disposiciones de seguridad enunciadas en la sección 10.

11.4. El trabajo de radiografía *in situ* puede realizarse con dispositivos de gammagrafía, equipo de rayos X o aceleradores móviles.

### PREPARACIÓN PARA LA RADIOGRAFÍA *IN SITU*

11.5. En el trabajo de radiografía *in situ* inciden varias condiciones específicas del emplazamiento. Para planificar la operación en condiciones de seguridad se tendrán que tener en cuenta, entre otras cosas, el lugar, la proximidad de los trabajadores y miembros del público, las condiciones atmosféricas, la hora del día y si el trabajo es necesario realizarlo en una altura, en espacios confinados o en otras condiciones difíciles. Antes del trabajo de radiografía, la entidad explotadora debería evaluar exhaustivamente el entorno de trabajo para determinar las cuestiones específicas del emplazamiento que deberían tenerse en cuenta.

11.6. Las entidades explotadoras que lleven a cabo trabajos de radiografía *in situ* deberían asegurarse de que para cada fuente de radiación se disponga, como mínimo, de dos radiógrafos, uno de los cuales debería ser un oficial de protección radiológica (a menos que se indique lo contrario en los requisitos reglamentarios).

## COOPERACIÓN CON EL CLIENTE

11.7. Cuando deban realizarse trabajos de radiografía en los locales de un cliente y no de la entidad explotadora, será preciso celebrar consultas con el cliente sobre la preparación y planificación del trabajo de radiografía, y sobre la selección de un lugar adecuado y la hora para realizarlo. Los avisos, señales de alerta y alarmas que se vayan a emplear en el trabajo deberían ser objeto de examen entre las partes para evitar posibles confusiones en el emplazamiento y a la vez actuar en consonancia con los requisitos reglamentarios.

11.8. El cliente debería proporcionar información sobre los sistemas de detección de radiaciones (como algunos tipos de detectores de humo) que haya en los locales, ya que pueden verse afectados por el trabajo de radiografía. Los radiógrafos deberían conocer los peligros específicos del emplazamiento. Deberían cumplirse los sistemas de permisos de trabajo del cliente. Será necesario entregar al cliente un ejemplar de las normas locales y los planes de emergencia de la entidad explotadora.

11.9. La entidad explotadora y el cliente deberían convenir en el calendario de trabajo previsto y en la duración del período en que se realizará el trabajo de radiografía. El cliente debería conceder a los radiógrafos suficiente tiempo para que realicen el trabajo de radiografía en condiciones de seguridad y para que se adopten todas las medidas de seguridad requeridas.

11.10. La entidad explotadora debería informar al cliente sobre el tipo de fuente de radiación que prevé utilizar en el emplazamiento. Debería asegurarse de que se dispone de un lugar de almacenamiento adecuado para las fuentes radiactivas que se prevé almacenar en el emplazamiento durante la noche (tal vez se requiera para esto la autorización del órgano regulador).

## DELIMITACIÓN DE LA ZONA CONTROLADA

11.11. El trabajo de radiografía *in situ* debería llevarse a cabo en una zona designada como zona controlada. No debería permitirse ningún otro trabajo en esta zona hasta que haya terminado el trabajo de radiografía y la zona controlada ya no sea designada como tal. Debería fijarse el límite de la zona controlada para garantizar que las posibles dosis a las personas situadas fuera de la zona controlada sean inferiores a los niveles pertinentes de dosis de referencia.

11.12. El órgano regulador podrá especificar tasas de dosis máximas permitidas en las barreras durante el trabajo de radiografía *in situ*, cuyos valores típicos oscilan entre 2,5 y 20  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Para delimitar la zona controlada, deberían utilizarse colimadores cuando sea posible en los generadores de rayos X y en las fuentes de gammagrafía. También debería utilizarse blindaje local adicional según proceda (por ejemplo, láminas de plomo).

11.13. El límite de la zona controlada debería demarcarse. Cuando sea razonablemente posible, ello debería hacerse por medios físicos, utilizando estructuras existentes como paredes, colocando barreras temporales o acordonando la zona con cinta. Debería asegurarse de que se impide el acceso no autorizado a la zona controlada.

11.14. Deberían extremarse las precauciones cuando se realicen trabajos de radiografía en una planta industrial o en una obra con varios pisos que puedan ser ocupados por personas y en que haya andamios, escaleras, etc. Los radiógrafos deberían asegurarse de que se impide el acceso a las zonas controladas en los pisos que se hallan por encima y por debajo de la zona de trabajo.

11.15. Los radiógrafos deberían colocar el cuadro de mando del generador de radiación o del equipo retráctil de la fuente gamma en una posición que minimice las dosis para ellos cuando den comienzo y fin a una exposición.

## SEÑALES DE ALERTA

11.16. Deberían darse señales de alerta cuando vaya a producirse una exposición a la radiación y cuando se esté generando radiación o esté expuesta una fuente gamma. Estas señales deberían poder distinguirse una de otra. Deberían ser audibles o visibles. En general, las señales de alerta previa son audibles (una sirena, silbido o campana) mientras que las señales de “exposición en curso” son luces visibles (por ejemplo, luces de destello). Esas señales pueden operarse

manualmente cuando se estén utilizando las fuentes radiactivas. Deberían funcionar automáticamente con el equipo de rayos X.

11.17. Las señales deberían ser claramente audibles y/o visibles desde todos los puntos alrededor de la barrera de la zona controlada. Tal vez deban incorporarse en el sistema de alerta señales de estación esclava complementarias.

## AVISOS

11.18. Se deberían colocar avisos en lugares adecuados en el límite de la zona controlada. Los avisos deberían llevar el símbolo de la radiación (el trébol), advertencias e instrucciones apropiadas en un idioma conocido en la localidad. En ellos también debería explicarse el significado de las señales de “alerta previa de exposición” y de “alerta de exposición”. En algunos casos, quizás sea apropiado fijar avisos adicionales en la entrada de los locales para informar a las personas que ingresen en el emplazamiento de que están previstos trabajos de radiografía.

## PATRULLAJE Y MONITORIZACIÓN DEL LÍMITE DE LA ZONA

11.19. Antes de comenzar el trabajo de radiografía, debería desalojarse a todas las personas de la zona, salvo los radiógrafos que realizarán el trabajo. Antes de iniciar una exposición, los radiógrafos deberían confirmar que no haya personas dentro de la zona controlada y si se impide el acceso a la zona.

11.20. El límite de la zona controlada debería ser claramente visible, estar bien iluminado y constantemente patrullado durante el trabajo de radiografía para garantizar que no ingrese en ella ninguna persona no autorizada. Más de una persona debería patrullar el límite de la zona si esta es grande o si no puede distinguirse desde ciertas posiciones.

11.21. Durante una exposición de ensayo (o durante la primera exposición, según las circunstancias) deberían medirse las tasas de dosis alrededor de las barreras para confirmar si estas se han colocado correctamente. El límite y la demarcación de la zona controlada deberían ajustarse si procede.

## MONITORIZACIÓN

### **Medidores de radiación portátiles**

11.22. Para las operaciones de radiografía *in situ*, al menos debería disponerse de un medidor de radiaciones portátil por cada fuente radiográfica. Antes de comenzar el trabajo de radiografía, debería comprobarse el medidor, en relación con una fuente de ensayo o con un dispositivo de exposición, a los efectos de obtener una lectura de referencia. El ensayo en relación con un dispositivo de exposición que contenga una fuente radiactiva debería indicar que el medidor está funcionando correctamente y también confirmar si la fuente gamma está en la posición de blindaje.

11.23. Durante el trabajo de radiografía, el objetivo primordial de la monitorización es determinar si una fuente gamma se encuentra en su posición de blindaje o si la emisión de rayos X ha cesado después de cada exposición. Al acercarse a los dispositivos de radiografía debería conectarse siempre el medidor de radiaciones portátil, puesto que existe la posibilidad de que la fuente gamma se haya atascado en la posición de exposición o que haya fallado la terminación de la exposición de rayos X.

### **Dosímetros personales y monitores de alarma**

11.24. Los radiógrafos deberían llevar siempre dosímetros personales, como los termoluminiscentes y los de lectura directa, cuando realicen trabajos de radiografía *in situ*. Para monitorizar las dosis recibidas durante el trabajo, los radiógrafos deberían evaluar periódicamente los dosímetros de lectura directa (véase la sección 6).

11.25. Los monitores personales de alarma (véase la sección 6) son particularmente útiles en el trabajo de radiografía *in situ*. Deberían reconocerse como una importante ayuda para determinar posibles incidentes. Estas alarmas pueden preajustarse para que salten por encima de una tasa de dosis especificada. Pueden emitir una señal audible, visible o vibratoria cuando un radiógrafo entra en una zona de alta tasa de dosis.

11.26. Los radiógrafos deberían portar un monitor personal de alarma durante todo el período en que puedan quedar expuestos a la radiación ionizante. Sin embargo, los monitores personales de alarma no deberían considerarse sustitutivos de los monitores de radiación portátiles, que también deberían utilizarse.

## OTRAS PRECAUCIONES PARA LA GAMMAGRAFÍA *IN SITU*

### Equipo

11.27. En la gammagrafía *in situ* solo debería utilizarse equipo específicamente fabricado para esta técnica. El radiógrafo debería estar familiarizado con todo el equipo, su modo de operación y sus problemas potenciales. El radiógrafo también debería tener conocimiento de la fuente, su aspecto y la manera en que queda expuesta, lo que es particularmente importante.

11.28. La selección del radionucleido que vaya a utilizarse para la gammagrafía debería determinarse normalmente conforme al tipo y el tamaño físico del objeto que se deba radiografiar. Las entidades explotadoras que poseen varias fuentes gamma deberían utilizar la fuente de actividad más baja para obtener la radiografía deseada. Si se puede optar por emplear, por ejemplo, una fuente de  $^{192}\text{Ir}$  de 370 GBq o de 3 700 GBq, y si cualquiera de ellas produciría la radiografía deseada, debería utilizarse entonces la fuente de 370 GBq.

11.29. El empleo de fuentes de actividad más baja puede reportar varias ventajas, como, por ejemplo:

- Zonas controladas más reducidas y más fáciles de manejar;
- Tasas de dosis más bajas en los límites de las zonas y en la posición del operador;
- Menos dificultad si la fuente se atasca.

Debería considerarse la utilización de técnicas avanzadas, como la intensificación de imágenes o combinaciones de películas rápidas y pantalla. Tales técnicas deberían aplicarse, cuando sea posible, para ayudar a reducir la dosis de los operadores.

11.30. El trabajo de radiografía solo debería realizarse cuando el dispositivo de exposición y todos los elementos de equipo necesarios estén disponibles y en buenas condiciones de funcionamiento. Estos elementos deberían ser, entre otros, los siguientes:

- a) Medidores de radiación portátiles (incluso baterías de repuesto) y dosímetros personales;
- b) Tubos guía, cables de control y mandos a distancia;
- c) Colimadores y blindaje local;
- d) Barreras o cintas de demarcación temporales;

- e) Avisos y señales de alerta;
- f) Conjunto de materiales de emergencia, incluso instrumentos para manejar la fuente a distancia y un contenedor blindado de repuesto para usos de emergencia;
- g) Otro equipo auxiliar, como grapas para asegurar la correcta posición del dispositivo de exposición o el tubo guía, y ayudas de posicionamiento.

11.31. Las comprobaciones que se señalan a continuación deberían efectuarse antes de utilizar el equipo de gammagrafía, y deberían describirse en los procedimientos operacionales:

- a) Comprobar el dispositivo de exposición y los extremos de los cables para determinar si hay daños, desgaste o polvo. Para este fin debería utilizarse un calibrador de límite de desgaste, como un calibrador de comprobación de buen funcionamiento suministrado por el fabricante.
- b) Comprobar si están bien sujetos los tornillos y tuercas y si hay daños en las roscas de los tornillos.
- c) Confirmar si el mecanismo de enclavamiento de la fuente funciona correctamente.
- d) Examinar el extremo del cable flexible de la fuente para comprobar si hay desgaste o daños y si está bien conectado al cable de control. Para este fin debería utilizarse un calibrador de desgaste suministrado por el fabricante.
- e) Comprobar las conexiones entre el dispositivo de exposición y los cables para asegurar la conexión.
- f) Inspeccionar todos los cables y tubos guía en búsqueda de cortes, rupturas, deformaciones y accesorios rotos.
- g) Verificar los detalles de las etiquetas y rótulos de alerta para comprobar si son legibles.
- h) Medir los niveles de radiación cerca de la superficie del dispositivo de exposición y confirmar si la fuente está blindada.
- i) Comprobar la funcionalidad del medidor de radiaciones de conformidad con el manual de funcionamiento.

11.32. Si se encuentran fallos, el equipo no debería utilizarse hasta que se provea un reemplazo o se realice una reparación.

### **Tasas de dosis transitorias**

11.33. Las tasas de dosis transitorias fuera del límite de la zona durante las operaciones de salida y entrada de la fuente radiográfica serán mucho más altas que las tasas de dosis durante la exposición real cuando la fuente se halla en su

colimador. Durante estas operaciones se tendrían que extremar las precauciones, sobre todo para confirmar si no se encuentra ninguna persona en el límite de la zona controlada, y las operaciones de salida y entrada de la fuente deberían realizarse rápidamente.

### **Almacenamiento de las fuentes radiactivas en lugares distantes**

11.34. Los dispositivos de exposición que contienen fuentes radiactivas, si procede, deberían almacenarse sobre el terreno por la noche o entre sesiones de radiografía. La necesidad de almacenamiento debería definirse en la fase de planificación, y deberían adoptarse disposiciones con el explotador del emplazamiento para el suministro de instalaciones de almacenamiento adecuadas que cumplan con los requisitos reglamentarios.

11.35. Las instalaciones de almacenamiento sobre el terreno deberían constar de una sala que pueda cerrarse con llave, un lugar de almacenamiento construido para este fin o una fosa de almacenamiento. Deberían proporcionar el mismo grado de protección que las instalaciones de almacenamiento situadas en la base principal de la entidad explotadora. Una instalación de almacenamiento adecuada protegería los dispositivos de exposición contra las condiciones ambientales imperantes y también proporcionaría un grado adecuado de seguridad. El lugar de almacenamiento debería ser resistente al fuego, minimizar el potencial de pérdida de blindaje y de pérdida de contención en caso de un incendio en las inmediaciones. Debería estar ubicado a gran distancia de riesgos de corrosión y explosión.

11.36. El lugar de almacenamiento debería construirse con materiales que provean suficiente blindaje para reducir las tasas de dosis fuera de él a niveles inferiores a los niveles pertinentes especificados por el órgano regulador. El lugar de almacenamiento debería designarse como zona controlada o zona supervisada, según corresponda.

11.37. La puerta de la instalación de almacenamiento debería mantenerse cerrada con llave y las llaves solo deberían estar en posesión de personal autorizado. En la puerta debería colocarse un aviso de alerta provisto del símbolo de la radiación (trébol).

### **Terminación del trabajo y retirada de las fuentes del emplazamiento**

11.38. Al terminar el trabajo de radiografía, los radiógrafos deberían utilizar un medidor de radiaciones para garantizar que todas las fuentes gamma han vuelto

totalmente al dispositivo de exposición y que ninguna ha quedado en posición de exposición o se ha desprendido.

11.39. Antes de abandonar el emplazamiento, el radiógrafo debería llevar a cabo un examen visual para cerciorarse de que el equipo no se ha dañado. Los dispositivos de exposición deberían prepararse para el transporte cerrándolos con llave y colocando las cubiertas protectoras en su lugar. El dispositivo de exposición y el equipo auxiliar deberían asegurarse físicamente en el vehículo para evitar daños durante el transporte.

#### OTRAS PRECAUCIONES PARA LA RADIOGRAFÍA DE RAYOS X *IN SITU*, INCLUIDO EL USO DE ACELERADORES

11.40. Los procedimientos examinados en la presente sección son aplicables al uso de equipo y técnicas de rayos X, incluso de aceleradores y radiografía en tiempo real. La selección del voltaje del tubo de rayos X está normalmente muy vinculada a los requisitos relativos a la calidad del equipo de radiografía. La técnica de exposición (es decir, con la fuente situada en el interior o exterior de la pieza de trabajo, con equipos de radiografía de pared simple o doble) debería seleccionarse teniendo en cuenta tanto la buena calidad de la imagen como la minimización de las dosis de las personas de las inmediaciones.

11.41. Antes de utilizar el equipo, deberían efectuarse las siguientes comprobaciones, que deberían explicarse en los procedimientos operacionales:

- a) Comprobar todas las piezas del equipo para determinar daños visibles.
- b) Verificar el tubo de rayos X y todos los extremos desnudos de los cables para comprobar si hay daños, desgaste, polvo o humedad.
- c) Comprobar si están bien sujetos los tornillos y tuercas y si hay daños en las roscas de los tornillos.
- d) Inspeccionar todos los cables y tubos guía en búsqueda de cortes, roturas, deformaciones y accesorios rotos.
- e) Comprobar los ajustes de los factores de exposición para verificar si son legibles.

11.42. Si se encuentran fallos, el equipo no debería utilizarse hasta que se provea un reemplazo o se realice una reparación.

11.43. Los aceleradores generan rayos X de muy alta energía. La tasa de dosis en el haz principal de un acelerador puede oscilar entre 50 mGy/min (3 Gy/h) desde

un acelerador portátil y 4 Gy/min (240 Gy/h) desde un acelerador móvil. La tasa de dosis alrededor del aparato es mucho más alta que en el caso de la radiografía de rayos X convencional. Deberían adoptarse medidas de control más exhaustivas para restringir la exposición a la radiación de los radiógrafos y otras personas de las inmediaciones.

11.44. Además, deberían utilizarse medidores de radiación portátiles apropiados que respondan con exactitud a los impulsos del campo de radiación. Debería confirmarse si son adecuados los medidores de radiación portátiles empleados para la gammagrafía y la radiografía de rayos X convencional antes de utilizarlos con aceleradores.

## **12. TRANSPORTE DE FUENTES RADIATIVAS**

### **DESPLAZAMIENTO DENTRO DEL LUGAR DE TRABAJO**

12.1. Cuando los dispositivos de exposición y fuentes gamma tengan que desplazarse dentro de un emplazamiento para realizar trabajos de radiografía, estos deberían mantenerse en la instalación de almacenamiento hasta su traslado al nuevo lugar. Antes del desplazamiento, será preciso desconectar el equipo auxiliar de los dispositivos, y colocar todas las tapas y tapones.

12.2. Las fuentes solo deberían trasladarse en dispositivos de exposición, que deberían cerrarse con llave y esta retirarse. Si un vehículo o carro se emplea para trasladar el dispositivo de exposición, este dispositivo debería sujetarse firmemente al vehículo o carro. Los dispositivos de exposición deberían mantenerse bajo vigilancia mientras dure el desplazamiento en el lugar de trabajo.

### **TRANSPORTE A OTRO LUGAR**

12.3. Cuando las fuentes de gammagrafía tengan que transportarse a otro lugar de trabajo para fines de radiografía *in situ*, estas deberían mantenerse en la instalación de almacenamiento hasta su traslado al nuevo emplazamiento. Como se ha indicado antes, será preciso desconectar el equipo auxiliar de los dispositivos y colocar todas las tapas y tapones requeridos antes del transporte.

12.4. Las fuentes deberían trasladarse solo en bultos, que deberían cerrarse con llave y esta retirarse. Las entidades explotadoras deberían garantizar que el transporte y los bultos de transporte cumplen lo establecido en el Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos del OIEA [23] o en reglamentos nacionales equivalentes.

12.5. Cuando proceda, también deberían tomarse en consideración los instrumentos internacionales vinculantes relativos a modalidades de transporte específicas, como las Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea [31] de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), y el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) [32] de la Organización Marítima Internacional (OMI).

12.6. También pueden ser aplicables acuerdos regionales como el Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR) [33], el Acuerdo de Alcance Parcial para la Facilitación del Transporte de Mercancías Peligrosas en el MERCOSUR/MERCOSUL, concertado entre la República Argentina, la República Federativa del Brasil, la República del Paraguay y la República Oriental del Uruguay [34], y el Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por vías navegables interiores (ADN) [35].

12.7. El Reglamento de Transporte del OIEA [23] asigna responsabilidades para las personas que intervienen en el transporte de materiales radiactivos: el remitente (una persona, entidad o gobierno que prepara una remesa para el transporte), el transportista (la persona, entidad o gobierno que realiza el transporte de materiales radiactivos) y el destinatario (la persona, entidad o gobierno que recibe una remesa). En muchos casos, para el trabajo de radiografía *in situ*, la entidad explotadora desempeña las tres funciones y debe asumir las responsabilidades asociadas con cada una de las funciones.

12.8. El transporte de materiales radiactivos es una actividad compleja, y el examen detenido de los requisitos pertinentes rebasa el marco de la presente guía de seguridad. En el Manual Explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos se formulan orientaciones sobre cómo cumplir los requisitos asociados al transporte [36].

12.9. El OIEA ha publicado orientaciones sobre la seguridad física en el transporte de materiales radiactivos [37].

## 13. PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA CASOS DE EMERGENCIA

### ASPECTOS GENERALES

13.1. Las fuentes de radiación utilizadas para fines de radiografía industrial producen altos niveles de radiación y son potencialmente muy peligrosas. Han ocurrido incidentes fundamentalmente como resultado del error de un operador o del fallo de un equipo, que han originado altas dosis de radiación para los trabajadores y los miembros del público [14 a 18].

13.2. Situaciones típicas que provocan incidentes son, entre otras, daños causados a la fuente radiactiva o el dispositivo de exposición que hacen que se atasque la fuente en la posición de exposición, y la separación del cable flexible de la fuente del cable de salida, quedando la fuente inadvertidamente sobre el terreno.

13.3. Se han producido sobreexposiciones graves a la radiación cuando los trabajadores han manipulado físicamente una fuente sin blindaje, o cuando un miembro del público ha hallado una fuente radiactiva perdida y se la ha llevado consigo. Las tasas de dosis en estas situaciones son suficientemente altas para causar lesiones en las personas en cuestión de segundos o minutos. En algunos casos, se han producido quemaduras graves por radiación, que han requerido la amputación o han causado otras graves consecuencias para la salud.

13.4. En muchos casos, se podían haber impedido incidentes relacionados con fuentes de radiografía industrial, o sus consecuencias podían haberse mitigado, si se hubieran tomado las siguientes precauciones:

- a) Los radiógrafos deberían:
  - Estar debidamente capacitados y cualificados, y ser competentes;
  - Cumplir las normas locales y otros procedimientos pertinentes;
  - Utilizar monitores de radiación antes y después de cada exposición y mientras esta dure;
  - Realizar inspecciones regulares y apropiadas del equipo y los monitores de radiación antes de utilizarlos;
  - Utilizar correctamente el equipo de emergencia;
  - Realizar una exploración final de la zona de trabajo antes de abandonar el emplazamiento.

- b) El equipo de radiografía (incluso el equipo auxiliar) debería cumplir las normas vigentes.

13.5. Aunque la prevención de incidentes constituye la primera línea de defensa, se pueden presentar emergencias. Las entidades explotadoras deberían elaborar planes de emergencia por anticipado para responder con rapidez y seguridad a un incidente y mitigar sus consecuencias. Una vez que termine la emergencia, se debería preparar un informe, que incluya un examen crítico de cómo se aplicaron los procedimientos, qué enseñanzas podrán extraerse para prevenir incidentes semejantes en el futuro, y cómo podrán mejorarse los planes de respuesta.

13.6. En esta sección se describen incidentes y emergencias potenciales en la radiografía industrial y se formulan recomendaciones para la elaboración de planes de emergencia destinados a mitigar las consecuencias de incidentes y emergencias.

## ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA

13.7. En las NBS [2] y en dos normas de seguridad del OIEA [38, 39] se establecen requisitos sobre las obligaciones y responsabilidades relativas a la preparación y respuesta para casos de emergencia. También puede obtenerse orientación del OIEA [40] sobre la elaboración y puesta en práctica de planes de emergencia y sobre un método aplicado de manera paulatina para crear una capacidad integrada de respuesta a emergencias a nivel institucional, local y nacional. Cuando el trabajo de radiografía *in situ* se lleve a cabo en los locales de un cliente, los planes de emergencia deberían examinarse con este.

13.8. En la evaluación de la seguridad de la entidad explotadora deberían definirse los incidentes potenciales que podrían afectar a los trabajadores, los miembros del público o el medio ambiente. Esta evaluación debería utilizarse como base para preparar los planes y procedimientos de emergencia con miras a dar respuesta a tales sucesos. Debería consultarse a un experto cualificado, cuando sea posible, al elaborar los planes y procedimientos de emergencia.

13.9. Puede considerarse que las disposiciones de preparación para emergencias comprenden varias etapas, y de cada una de ellas debe ocuparse el explotador. Esas etapas son:

- a) Determinación de incidentes potenciales durante el trabajo de radiografía industrial, y a continuación una evaluación de los riesgos conexos;

- b) Elaboración de planes y procedimientos de emergencia para hacer frente a los riesgos definidos;
- c) Especificación y adquisición de equipo de emergencia;
- d) Capacitación para aplicar el plan y los procedimientos de emergencia, incluso la necesaria para utilizar el equipo de emergencia;
- e) Ejercicios a intervalos apropiados para ensayar y evaluar la aplicación del plan de emergencia;
- f) Exámenes periódicos y actualizaciones de los planes de emergencia;
- g) Informes y notificaciones de incidentes y emergencias.

13.10. La aplicación del plan de emergencia puede entrañar la respuesta de entidades externas y consultores especializados. En el plan será necesario incluir detalles precisos de cualquier respuesta externa, y asegurarse de que los encargados de dar la respuesta son plenamente conscientes de sus responsabilidades y las aceptan. En particular, deberían adoptarse disposiciones para aplicar un sistema de comunicación inmediato y eficiente entre todas las partes interesadas. Al solicitar una autorización, las entidades explotadoras deberían presentar sus planes de emergencia y disposiciones conexas al órgano regulador, según proceda.

## TIPOS DE EMERGENCIA

13.11. Examinando emergencias que se han presentado en trabajos de radiografía se observa que desde siempre han ocurrido normalmente varios tipos de incidentes con fuentes de radiografía industrial. Las entidades explotadoras deberían tener en cuenta en sus planes de emergencia, según proceda, los tipos de incidentes enumerados en los párrafos 13.12 y 13.13.

13.12. En relación con el equipo de gammagrafía, la entidad explotadora debería tener en cuenta incidentes en que:

- a) Se atasca una fuente en el tubo guía o colimador, o cerca de la entrada del dispositivo de exposición.
- b) Se causan daños físicos que afectan al blindaje.
- c) Se desconecta una fuente de su cable impulsor y permanece en el tubo guía.
- d) Se proyecta una fuente fuera del extremo del tubo guía.
- e) Se atasca un equipo explorador en una tubería con la fuente expuesta.
- f) Se pierde una fuente.
- g) Se produce un incendio.

h) Se hallan presentes personas no autorizadas en la zona controlada durante una exposición.

13.13. En el caso de los generadores de rayos X, la entidad explotadora debería tener en cuenta incidentes en que:

- a) No cesa la generación de radiación después del período previsto.
- b) Se activa un generador de rayos X accidentalmente.
- c) Un radiógrafo no pone fin a una operación manualmente controlada de generación de radiación.
- d) Se produce un fallo en el sistema de seguridad o el sistema de alerta, entre otras cosas debido a una acción deliberada para anular el sistema.
- e) Otro fallo da lugar a que se generen rayos X de manera no controlada.
- f) Se producen daños físicos que afectan al blindaje o la filtración.
- g) Se hallan presentes personas no autorizadas en la zona controlada durante una exposición.

## CONTENIDO DE UN PLAN DE EMERGENCIA BÁSICO

13.14. Los explotadores deberían cerciorarse de que en los planes de emergencia se tienen en cuenta emergencias razonablemente previsibles especificadas en la evaluación de la seguridad. Para las emergencias en radiografía industrial, la respuesta concreta dependerá del tipo de suceso y podrá variar según las condiciones locales, como cuando la radiografía se lleva a cabo desde un andamio o sobre una tubería en una zanja.

13.15. El plan de emergencia debería dar margen de flexibilidad en la respuesta, y antes de aplicarlo se deberían someter a ensayo los elementos específicos de la respuesta. Los planes deberían tener por objeto restringir, en la mayor medida que sea razonablemente posible, exposiciones que podrían provocar el incidente. El plan de emergencia debería incluir lo siguiente:

- a) Asesoramiento sobre el momento en que habrá que aplicar el plan de emergencia.
- b) Capacitación previa, según proceda, para los trabajadores que aplicarán los procedimientos.
- c) Descripción de la disponibilidad de equipo de respuesta a emergencias e información al respecto.
- d) Datos técnicos y datos relativos a la protección radiológica para cada situación.

- e) Procedimientos que se han de seguir en las diversas etapas, específicos para cada tipo de emergencia señalada:
  - i) Etapa inicial para contener la situación;
  - ii) Etapa de planificación para planear y ensayar la etapa de recuperación;
  - iii) Etapa de recuperación para recobrar el control de la situación;
  - iv) Etapa posterior a la emergencia para normalizar la situación;
  - v) Etapa de notificación: preparación de un informe, incluida una evaluación de dosis;
  - vi) Remisión a expertos médicos después de la sobreexposición, si se indica.
- f) Especificación de personas autorizadas para aplicar las diversas etapas del plan.
- g) Indicación de todas las personas y entidades que deberían ser contactadas en caso necesario en las diversas etapas del plan, así como de sus respectivos números de teléfono, números de fax y direcciones de correo electrónico.

13.16. Para minimizar las exposiciones y facilitar una respuesta correcta, la entidad explotadora debería como mínimo hacer lo siguiente:

- a) Restringir el acceso a las inmediaciones de la fuente — garantizar que las barreras de la zona controlada estén en el lugar correcto para una situación determinada;
- b) Asegurar que el oficial de protección radiológica sea notificado (y un experto cualificado si procede);
- c) Mantener la calma, trasladarse a una distancia segura, planificar las medidas ulteriores, ensayar las medidas sin la fuente y seguidamente aplicar el plan;
- d) Nunca entrar en zonas de tasas de dosis potencialmente altas, pero desconocidas, a menos que se lleve un medidor de radiaciones activado y, preferiblemente, llevar un monitor de alarma personal y/o un dosímetro de lectura directa;
- e) Nunca tocar una fuente radiactiva o acercar las manos a esta;
- f) No exceder de sus atribuciones o conocimientos técnicos;
- g) Procurar la asistencia de un experto cualificado o del suministrador de la fuente en caso necesario.

## EQUIPO DE EMERGENCIA

13.17. Los explotadores deberían asegurarse de que se dispone fácilmente de todo el equipo de emergencia necesario para responder a todas las emergencias razonablemente previsibles. Deberían realizarse auditorías periódicas para garantizar que se dispone de todo el equipo de emergencia necesario y que este funciona correctamente.

13.18. Para las emergencias relacionadas con fuentes de gammagrafía, debería disponerse del equipo siguiente:

- Medidores de radiación apropiados y funcionales para medir tasas de dosis altas y bajas;
- Dosímetros personales de alarma y dosímetros de lectura directa (preferiblemente dosímetros personales electrónicos y no electroscopios de fibra de cuarzo);
- Dosímetros personales suplementarios (dosímetros termoluminiscentes y/o películas dosimétricas);
- Materiales de barreras y avisos;
- Bolsas de granalla de plomo y plomo laminado adicional;
- Conjunto de instrumentos adecuado y equipo para recuperar la fuente (pinzas de mango largo, alicates, destornilladores, cortavarillas, llave de tuercas ajustable, sierra y linterna);
- Contenedor blindado de repuesto para usos de emergencia;
- Equipo de comunicación (por ejemplo, teléfonos móviles, radiotransmisores y radiorreceptores);
- Baterías de repuesto para los medidores de radiación, dosímetros personales electrónicos, teléfonos móviles y linterna;
- Bolígrafos, papel, calculadora y un diario de incidentes;
- Manuales de equipo.

13.19. Si se sospecha que la cápsula de la fuente podría haberse dañado, deberán extremarse las precauciones, ya que puede producirse la fuga de material radiactivo de la fuente y ello plantear el riesgo de que se contaminen las personas y los objetos de las inmediaciones. La detección y medición de la contaminación radiactiva requiere equipo de monitorización y conocimientos especializados, a los que es poco probable que tengan fácil acceso la mayoría de las empresas que realizan trabajos de radiografía. Si se conoce o sospecha que se ha quebrado la cápsula de una fuente, la entidad explotadora debería procurar rápidamente asesoramiento de un experto cualificado.

## PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA ESPECÍFICOS

### Fuentes gamma

13.20. En la presente sección se formulan orientaciones prácticas para las emergencias relacionadas con fuentes gamma utilizadas para fines de radiografía industrial. Aunque las medidas se enumeran en la secuencia en que deberían realizarse en general, esa secuencia debería adaptarse en caso necesario en el momento de la respuesta. Al igual que en cualquier emergencia radiológica, la primera prioridad debe ser la protección de las personas.

El *radiógrafo (iniciador de la respuesta)* debería:

- a) Reconocer que se ha producido una anomalía que podría constituir una emergencia.
- b) Mantener la calma y alejarse de la fuente expuesta. Asegurarse de que los otros radiógrafos que puedan encontrarse en las inmediaciones sepan que puede haber un problema.
- c) Medir las tasas de dosis de radiación y registrar las dosis medidas por los dosímetros de lectura directa.
- d) Establecer o reestablecer las barreras de zonas controladas en función de los niveles de referencia de tasa de dosis de conformidad con los requisitos reglamentarios y las orientaciones.
- e) Prevenir el acceso a la nueva zona controlada.
- f) No dejar sin vigilancia la zona controlada.
- g) Informar al oficial de protección radiológica de la entidad explotadora y al cliente del trabajo de radiografía, y procurar asistencia.

El *oficial de protección radiológica* debería:

- a) Planear medidas específicas en función de procedimientos de emergencia previamente establecidos, procurando minimizar las dosis que puedan recibirse como resultado de esas medidas.
- b) Trasladarse a un lugar alejado de la zona controlada y comprobar las medidas previstas antes de entrar en la zona controlada para aplicar el plan de emergencia.
- c) Aplicar las medidas previstas en la medida en que lo permitan la capacitación, el equipo y las autorizaciones; en ninguna circunstancia permitir que la fuente entre en contacto con las manos u otras partes del cuerpo.

- d) Si las medidas adoptadas no resultan satisfactorias, abandonar la zona controlada y analizar las próximas medidas que se deberán tomar mientras se mantiene vigilada la zona controlada.
- e) Pedir asistencia técnica, si procede, de un experto cualificado o del fabricante.
- f) Cuando haya finalizado la emergencia y se haya almacenado la fuente en condiciones seguras, evaluar las dosis recibidas y preparar un informe.
- g) Devolver los dosímetros personales al servicio de dosimetría para que se haga una valoración exacta de las exposiciones.
- h) Enviar el equipo dañado o averiado al fabricante o a un experto cualificado para que se examine de manera pormenorizada y se repare antes de que vuelva a utilizarse.
- i) Preparar un informe del accidente y notificar al órgano regulador según se requiera.

### **Generadores de rayos X**

13.21. Se deberían adoptar las medidas siguientes si se produce una anomalía relacionada con un generador de rayos X.

*El radiógrafo (iniciador de la respuesta) debería:*

- a) Reconocer que ha surgido una anomalía que podría constituir una emergencia.
- b) Desconectar la corriente del equipo de radiografía.
- c) Realizar una exploración radiológica para confirmar si el tubo está desactivado.
- d) No trasladar el equipo de radiografía hasta que se hayan registrado detalles como la posición, la dirección del haz y los ajustes de la exposición (voltaje del tubo, corriente y hora).
- e) Informar de lo sucedido al oficial de protección radiológica.
- f) No utilizar el generador de rayos X hasta que lo haya examinado y reparado el fabricante o un experto cualificado.

*El oficial de protección radiológica debería:*

- a) Evaluar las dosis que podrían haberse recibido y preparar un informe.
- b) Devolver los dosímetros personales al servicio de dosimetría para que se haga una valoración exacta de las exposiciones.
- c) Preparar un informe del accidente y notificar al órgano regulador según se requiera.

## CAPACITACIÓN Y EJERCICIOS

13.22. Todas las personas que participen en la ejecución de los planes de emergencia deberían recibir capacitación adecuada para cumplir con eficacia sus funciones. Ello debería comprender la familiarización con los planes y su comprensión, así como capacitación específica sobre los procedimientos de recuperación de la fuente y sobre el uso del equipo de emergencia.

13.23. Los trabajadores deberían aplicar solo las partes de los planes de emergencia para los cuales han sido autorizados y capacitados y para los que poseen el equipo apropiado. Las disposiciones relativas a la capacitación deberían examinarse periódicamente para asegurar que se mantenga la competencia de los trabajadores.

13.24. Se deberían realizar ejercicios de emergencia para comprobar los componentes fundamentales de los planes de emergencia, a intervalos proporcionales con el peligro potencial. Las enseñanzas extraídas deberían incorporarse en los exámenes de los planes de emergencia.

## EXÁMENES PERIÓDICOS DE LOS PLANES Y EL EQUIPO

13.25. Se deberían realizar exámenes sistemáticos de los planes de emergencia todos los años para asegurar que:

- a) Se han determinado todas las personas y entidades que deberían ser contactadas en caso necesario en las diversas etapas de los planes, y están actualizados sus respectivos números de teléfono, números de fax y direcciones de correo electrónico.
- b) Se puede disponer fácilmente del equipo de emergencia y este recibe mantenimiento.

13.26. En los exámenes periódicos deberían incluirse disposiciones destinadas a actualizar los aspectos pertinentes de los planes de emergencia considerados para dar respuesta a las enseñanzas extraídas de ejercicios o de incidentes y emergencias.

## PRESENTACIÓN DE INFORMES

13.27. El objetivo primordial de la preparación y respuesta para casos de emergencia debería ser mitigar las consecuencias de las emergencias. No

obstante, debería considerarse igualmente importante la necesidad de analizar las situaciones que hayan ocurrido de manera que las enseñanzas extraídas puedan compartirse y contribuyan a mejorar el equipo, los procedimientos de mantenimiento, los procedimientos operacionales y los planes de emergencia. Con esta finalidad debería elaborarse un informe exhaustivo de cualquier emergencia o incidente.

13.28. Los informes de emergencias o incidentes deberían elaborarse por el oficial de protección radiológica con la asistencia de expertos cualificados, si procede. Los informes deberían presentarse al personal directivo superior y al órgano regulador según corresponda. Si la emergencia pudiera haberse causado por un fallo del equipo, el suministrador debería ser notificado para que se pueda evaluar el equipo y se adopten las medidas apropiadas.

13.29. En el informe de un incidente o emergencia debería incluirse lo siguiente:

- a) Una descripción del incidente o emergencia, con el mayor detalle posible del equipo específico de interés. Se deberían incluir los números del modelo y los números de serie siempre que sea posible.
- b) Las condiciones ambientales en el momento del incidente o emergencia, con especial referencia a si estas condiciones contribuyeron o no de manera importante a la emergencia o incidente o afectaron a los resultados.
- c) La causa específica del incidente o emergencia.
- d) Pormenores de las medidas adoptadas para recuperar el control de la situación y volver a la normalidad, con especial referencia a las medidas que fueron particularmente beneficiosas o perjudiciales.
- e) La capacitación y experiencia del personal del caso.
- f) Una evaluación y resumen de las dosis recibidas por todas las personas afectadas.
- g) Recomendaciones formuladas con el fin de prevenir incidentes y emergencias semejantes en el futuro, y de mitigar las consecuencias si ocurriera un incidente o emergencia similar o conexo.

13.30. Debería enviarse una copia del informe al órgano regulador, sobre todo cuando lo exijan las condiciones de la autorización o los reglamentos nacionales. Las enseñanzas extraídas deberían comunicarse a todos los interesados, incluso el fabricante si procede, y deberían llevarse a cabo las mejoras necesarias para aumentar la seguridad.



## Apéndice

### CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES RADIATIVAS ELABORADA POR EL OIEA

A.1. La guía de seguridad del OIEA titulada Clasificación de las fuentes radiactivas [19] proporciona un sistema de categorización, en particular de las fuentes radiactivas utilizadas en la industria, la medicina, la agricultura, la investigación y la enseñanza. Ese sistema también podrá aplicarse, cuando proceda en el contexto nacional, a las fuentes radiactivas empleadas en programas militares.

A.2. La guía de seguridad [19] aporta una base internacionalmente armonizada para la adopción de decisiones con conocimiento de los riesgos. Se fundamenta en un método lógico y transparente que da la flexibilidad necesaria para aplicarla en una amplia gama de circunstancias. Las decisiones con conocimiento de los riesgos pueden adoptarse de manera gradual con respecto al control reglamentario de las fuentes radiactivas para los fines de la seguridad tecnológica y física.

A.3. El sistema de categorización se basa en el concepto de las “fuentes peligrosas” — las que se cuantifican en función de los “valores  $D$ ” [41]. El valor  $D$  es la actividad específica de los radionucleidos de una fuente que, si no se controla, podría causar graves efectos deterministas en una diversidad de escenarios, en que se incluyen tanto la exposición externa a una fuente no blindada como la exposición interna luego de la dispersión del material básico.

#### FUENTES DESINTEGRADAS

A.4. Si una fuente se desintegra hasta un nivel de radiactividad inferior al umbral apropiado que figura en el cuadro A.1 o inferior al nivel normalmente utilizado en la práctica corriente (señalado en el cuadro A.2), el órgano regulador podrá permitir que el explotador vuelva a categorizar la fuente y a reasignarle un nivel de seguridad inferior sobre la base de la relación  $A/D$ .

CUADRO A.1. ACTIVIDAD DE LOS RADIONUCLEIDOS UTILIZADOS EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL CORRESPONDIENTE A LOS UMBRALES DE LAS CATEGORÍAS

Radionucleido	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3	
	$1\ 000 \times D$		$10 \times D$		D	
	(TBq)	(Ci) <sup>a</sup>	(TBq)	(Ci) <sup>a</sup>	(TBq)	(Ci) <sup>a</sup>
Cobalto-60	$3,0 \times 10^1$	$8,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^{-1}$	8,0	$3,0 \times 10^{-2}$	$8,0 \times 10^{-1}$
Cesio-137	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^3$	1,0	$3,0 \times 10^1$	$1,0 \times 10^{-1}$	3,0
Iridio-192	$8,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^3$	$8,0 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^1$	$8,0 \times 10^{-2}$	2,0
Selenio-75	$2,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	2,0	$5,0 \times 10^1$	$2,0 \times 10^{-1}$	5,0
Tulio-170	$2,0 \times 10^4$	$5,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^2$	$5,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^1$	$5,0 \times 10^2$
Iterbio-169	$3,0 \times 10^2$	$8,0 \times 10^3$	3,0	$8,0 \times 10^1$	$3,0 \times 10^{-1}$	8,0

<sup>a</sup> Los valores primarios que se han de utilizar se indican en TBq. Los valores en curios se presentan para fines prácticos y se han redondeado después de su conversión.

## AGRUPACIÓN DE LAS FUENTES

A.5. Habrá situaciones en que varias fuentes radiactivas estén muy próximas unas a otras, como en los procesos de fabricación (por ejemplo, en la misma sala o edificio) o en las instalaciones de almacenamiento (por ejemplo, en el mismo recinto). En esas circunstancias, el órgano regulador puede agregar la actividad de las fuentes para determinar la categorización específica de una situación a los efectos de aplicar las medidas de control reglamentario.

A.6. En situaciones de este tipo, la actividad sumada del radionucleido debería dividirse por el valor  $D$  apropiado y la relación  $A/D$  calculada debería compararse con las relaciones  $A/D$  indicadas en el cuadro A.2. De este modo podrá categorizarse el conjunto de la fuente sobre la base de la actividad. Si los valores de las fuentes que contienen varios radionucleidos diferentes se agregan, la suma de las relaciones  $A/D$  debería utilizarse para asignar la categoría, de conformidad con la fórmula siguiente:

$$A/D \text{ agregado} = \sum_n \frac{\sum_i A_{i,n}}{D_n}$$

donde

$A_{i,n}$  es la actividad de cada fuente  $i$  del radionucleido  $n$ ; y  
 $D_n$  es el valor  $D$  del radionucleido  $n$ .

A.7. Este valor agregado de  $A/D$  debería compararse seguidamente con las relaciones  $A/D$  que se indican en el cuadro A.2 para determinar el grado de seguridad física apropiado para las fuentes agrupadas. En la referencia [19] puede obtenerse orientación suplementaria sobre la agregación de la actividad de las fuentes radiactivas.

CUADRO A.2. CATEGORÍAS RECOMENDADAS PARA FUENTES UTILIZADAS EN PRÁCTICAS ORDINARIAS PARA FINES DE RADIOGRAFÍA

Categoría	Fuente	$A/D^{a,b}$
1	Generadores de radioisótopos termoeléctricos Irradiadores Fuentes de teleterapia Fuentes fijas de teleterapia de haces múltiples (bisturí de rayos gamma)	$A/D \geq 1\ 000$
2	Fuentes gamma de radiografía industrial Fuentes de braquiterapia de tasa de dosis alta/media	$1\ 000 > A/D \geq 10$
3	Calibradores industriales fijos que llevan incorporadas fuentes de actividad alta <sup>c</sup> Sondas de perfilaje de pozos	$10 > A/D \geq 1$
4	Fuentes de braquiterapia de baja tasa de dosis (salvo fuentes de placas oculares y de implantes permanentes) Calibradores industriales que no llevan incorporadas fuentes de actividad alta Densitómetros óseos Eliminadores de estática	$1 > A/D \geq 0.01$
5	Fuentes de braquiterapia de baja tasa de dosis (placas oculares) y fuentes de implantes permanentes Dispositivos de fluorescencia de rayos X Dispositivos de captura de electrones Fuentes de espectrometría Mössbauer Fuentes de ensayos de tomografía por emisión de positrones	$0,01 > A/D$ y $A > \text{exentas}^d$

<sup>a</sup>  $A$  es la actividad de la fuente en TBq. También se han tomado en consideración factores distintos de  $A/D$  para asignar las fuentes a una categoría (véase el anexo I de la referencia [19]).

<sup>b</sup> Esta columna para  $A/D$  podrá utilizarse para determinar la categoría de una fuente únicamente sobre la base del valor de  $A/D$ . Esto puede ser apropiado, por ejemplo, si las instalaciones y actividades no son conocidas o no están consignadas, si las fuentes tienen un corto período de semidesintegración y/o si no están selladas, o si sus valores están agregados [19].

<sup>c</sup> Se dan ejemplos en la guía de seguridad relativa a la clasificación por categorías [19].

<sup>d</sup> En la Adenda I de las NBS [2] se indican cantidades exentas.



## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad, Colección Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 1, OIEA, Viena (2010).
- [2] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad, N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [3] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Control reglamentario de las fuentes de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.5, OIEA, Viena (2009).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de los generadores de radiación y de las fuentes radiactivas selladas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.10, OIEA, Viena (2009).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA: Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica, Edición de 2007, OIEA, Viena (2008).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Training Guidelines in Nondestructive Testing Techniques: 2008 Edition, IAEA-TECDOC-628, Rev. 2, OIEA, Viena (2008).
- [7] 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).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sistema de gestión de instalaciones y actividades, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-3, OIEA, Viena (2011) (en imprenta).
- [9] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Quality Management Systems: Requirements, ISO 9001: 2000, ISO, Ginebra (2000).
- [10] 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).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Training in Radiation Protection and the Safe Use of Radiation Sources, Colección de Informes de Seguridad, N° 20, OIEA, Viena (2001).

- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Creación de competencia en materia de protección radiológica y uso seguro de las fuentes de radiación, Colección Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.4, OIEA, Viena (2010).
- [13] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Cochabamba, OIEA, Viena (2004).
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Gilan, OIEA, Viena (2002).
- [16] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Yanango, OIEA, Viena (2000).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Nueva Aldea, OIEA, Viena (2009).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad, N° 7, OIEA, Viena (1998).
- [19] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clasificación de las fuentes radiactivas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.9, OIEA, Viena (2009).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, OIEA/CODEOC/2004, OIEA, Viena (2004).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas: Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005, OIEA, Viena (2005).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security of Radioactive Sources, IAEA Colección de la Seguridad Física Nuclear N° 11, OIEA, Viena (2009).
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 2009, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-R-1, OIEA, Viena (2009).
- [24] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — General Requirements and Classification, ISO 2919:1999, ISO, Ginebra (1992).
- [25] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, (ISO 9978:1992), ISO, Ginebra (1992).
- [26] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Apparatus for Industrial Gamma Radiography: Specifications for Performance, Design and Tests, ISO 3999:2004, ISO, Ginebra (2004).

- [27] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Basic Ionizing Radiation Symbol, ISO 361:1975, ISO, Ginebra (1975).
- [28] COMISIÓN ELECTROTÉCNICA INTERNACIONAL, Safety of Machinery — Electrical Equipment of Machines — Part 1: General Requirements, IEC Standard 60204-1, IEC, Ginebra (2005).
- [29] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clausura de instalaciones que utilizan material radiactivo, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-R-5, OIEA, Viena (2010).
- [30] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clausura de instalaciones médicas, industriales y de investigación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.2, OIEA, Viena (2010).
- [31] ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea, Edición de 2007-2008, OACI, Montreal (2007).
- [32] ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, Código marítimo internacional de mercancías peligrosas, Edición de 2006, incluida la Enmienda 33-06, Londres (2006).
- [33] COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EUROPA, COMITÉ DE TRANSPORTES INTERIORES, Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR), Edición 2007, CEPE, Ginebra (2006).
- [34] Acuerdo de Alcance Parcial para la Facilitación del Transporte de Mercancías Peligrosas en el MERCOSUR/MERCOSUL, concertado entre la República Argentina, la República Federativa del Brasil, la República del Paraguay y la República Oriental del Uruguay (1994).
- [35] COMISIÓN ECONÓMICA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EUROPA, COMITÉ DE TRANSPORTES INTERIORES, Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por vías navegables interiores (ADN), Edición 2007, CEPE, Ginebra (2006).
- [36] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual Explicativo para la aplicación del Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-G-1.1 (Rev. 1), OIEA, Viena (2010).
- [37] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security in the Transport of Radioactive Material, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° 9, OIEA, Viena (2008).
- [38] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, 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, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).

- [39] OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas, Colección de Normas de Seguridad N° GS-G-2.1, OIEA, Viena (2010).
- [40] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, Actualización del documento IAEA-TECDOC-953/S, OIEA, Viena (2009).
- [41] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Cantidades peligrosas de materiales radiactivos (valores D), OIEA, Viena (2006).

## Anexo I

### EJEMPLO DE UNA EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD

#### INTRODUCCIÓN

I-1. La entidad explotadora lleva a cabo una evaluación de la seguridad respecto de todas las fuentes de radiación bajo su control con objeto de determinar qué medidas son necesarias para restringir la exposición de sus empleados. En la evaluación se tienen en cuenta tanto las condiciones normales de trabajo como el potencial de accidentes.

I-2. La evaluación de la seguridad que a continuación se presenta como ejemplo abarca el empleo de rayos X y rayos gamma en un recinto blindado construido especialmente para una empresa hipotética que realiza ensayos no destructivos. En la evaluación se toma en consideración lo siguiente:

- a) Operaciones normales para fines de trabajos de radiografía dentro del recinto;
- b) Posibles situaciones de accidente y medidas para prevenir accidentes y limitar sus consecuencias;
- c) Medidas de control para restringir las exposiciones;
- d) Exposiciones potenciales y posibles dosis durante las operaciones normales de radiografía.

#### Fuentes de radiografía

I-3. La entidad explotadora está autorizada para utilizar fuentes de radiografía de rayos X y rayos gamma en un recinto blindado. Las fuentes autorizadas son, entre otras, las siguientes:

- a) Un generador de rayos X (direccional) operado a 250 kV y 4 mA — con una potencia de radiación a 1 m de  $4 \text{ Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ ;
- b) Una fuente de  $^{60}\text{Co}$  hasta un máximo de 925 GBq;
- c) Una fuente de  $^{192}\text{Ir}$  hasta un máximo de 3,7 TBq.

#### Personas en riesgo

I-4. Las personas en riesgo son, entre otras, los radiógrafos y otros empleados que trabajan cerca de ellos.

## Medidas existentes para controlar las exposiciones

I-5. El recinto blindado tiene instalados sistemas de seguridad de alta calidad de modo que la apertura de su puerta de entrada durante una exposición da por terminada automáticamente una exposición de rayos X o retrae la fuente gamma a la posición de blindaje. La exposición no puede comenzar si la puerta del recinto está abierta.

I-6. Los sistemas y procedimientos de seguridad garantizan que solo pueda utilizarse una fuente de radiación en un momento determinado. Los símbolos de la radiación (tréboles) están colocados en todas las puertas para indicar un posible peligro de radiación. El recinto blindado tiene instalados un monitor de radiación fijo y luces y señales de alerta para indicar cuándo la exposición va a comenzar y cuándo está en curso.

I-7. En el recinto blindado hay interruptores de parada de emergencia que pueden ser operados por cualquiera que se encuentre en el interior del recinto de radiografía, y que desactivarán el generador de rayos X y retraerán la fuente gamma a la posición de blindaje.

I-8. El recinto está blindado de forma que las tasas de dosis máximas en el exterior a nivel del suelo sean inferiores a  $1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ . Ello significa que la dosis máxima anual recibida por una persona fuera del recinto será inferior a 0,25 mSv, suponiendo una ocupación máxima en la zona de 250 horas anuales. Esta dosis estimada se considera aceptable.

I-9. Hay sistemas y procedimientos de seguridad establecidos para prevenir el acceso al techo del recinto durante el trabajo de radiografía.

## POSIBLES DOSIS DEBIDAS A ACCIDENTES

I-10. Se consideran escenarios de accidente previsibles los siguientes:

- a) Imposibilidad de retraerse correctamente una fuente gamma a su posición de blindaje;
- b) La caída o desprendimiento de una fuente (lugar conocido);
- c) La pérdida o robo de una fuente;
- d) Fallo de un sistema de alerta o de un sistema de seguridad que posibilite la entrada al recinto durante una exposición;

- e) Incendio o daño mecánico que perjudique el blindaje de un dispositivo de exposición o menoscabe la integridad de una fuente sellada.

I-11. En cada uno de los escenarios anteriores, el peor caso previsible es aquel en que una persona queda expuesta cerca de una fuente sin blindaje o un generador de rayos X activado. En el cuadro I-1 se indican las dosis probables en el cuerpo entero.

I-12. Las tasas de dosis a una distancia muy próxima a las fuentes de radiación serán muy altas:

- a) En el caso de la fuente gamma, la dosis en las manos si se colocan a una distancia de 5 cm de la fuente durante 5 min sería aproximadamente de 11 Gy (para la fuente de  $^{60}\text{Co}$ ) o de 16 Gy (para la fuente de  $^{192}\text{Ir}$ ). Este nivel de dosis provocaría graves efectos deterministas para las manos.
- b) En el caso del generador de rayos X, la dosis en las manos si se mantienen cerca de la ventana del generador de rayos X durante 5 min sería aproximadamente de 8 Gy (suponiendo una distancia del foco a la piel de 20 cm). Ello provocaría graves efectos deterministas para las manos (quemaduras por radiación).

I-13. La entidad explotadora ha establecido varias medidas para reducir la probabilidad de accidentes y mitigar las consecuencias si ocurre alguno. Estas medidas incluyen:

- a) Capacitación periódica en seguridad radiológica para todo el personal que corresponda;
- b) Formulación de procedimientos escritos para minimizar el riesgo de error humano;
- c) Mantenimiento periódico del generador de rayos X, el dispositivo de exposición y el equipo retráctil;
- d) Comprobaciones frecuentes para confirmar la ubicación de las fuentes radiactivas;
- e) Mantenimiento periódico de todos los sistemas de seguridad y alerta, así como comprobaciones rutinarias de su funcionamiento;
- f) Suministro de detectores de radiación que son instalados permanentemente en el recinto blindado;
- g) Suministro de monitores de radiación portátiles;
- h) Medidas de prevención de incendios;
- i) Suministro de planes de emergencia detallados, capacitación periódica para emergencias y ejercicios de emergencia.

CUADRO I-1. TASA DE DOSIS A 1 m Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN A 1 m PARA SUPERAR UNA DOSIS DE CUERPO ENTERO DE 20 mSv EN EL CASO DE TRES FUENTES DIFERENTES

Fuente (actividad)	Tasa de dosis a 1 m (mSv·h <sup>-1</sup> )	Tiempo de exposición a 1 m para superar una tasa de dosis de cuerpo entero de 20 mSv
Co-60 (925 GBq)	325	3,7 min
Ir-192 (3,7 TBq)	480	2,5 min
Generador de rayos X funcionando a 250 kV y 4 mA	4 000	18 s

## MEDIDAS DE CONTROL

I-14. La evaluación de la seguridad que se describe en la presente sección demuestra que las medidas de protección son necesarias para restringir las exposiciones. La provisión de blindaje, la utilización de sistemas de seguridad y de sistemas de alerta, y el cumplimiento de procedimientos escritos son medidas necesarias para proteger una zona controlada. El interior del recinto se designa como zona controlada.

I-15. Las medidas especificadas a continuación garantizarán que se controlen satisfactoriamente las dosis de radiación de los radiógrafos y otras personas situadas en la zona de la instalación de radiografía.

### Zonas designadas

#### *Zonas controladas*

I-16. El interior de la instalación blindada se designa como zona controlada atendiendo al hecho de que son necesarios procedimientos especiales para controlar las exposiciones y prevenir o limitar el alcance de exposiciones potenciales. La entrada en la zona controlada se limita a las personas autorizadas que llevan dosímetros personales.

### *Zonas supervisadas*

I-17. La zona inmediatamente fuera del recinto y los corredores se designan como zonas supervisadas. Esta designación se hace sobre la base de que, aunque el potencial de exposiciones en estas zonas es mínimo, esta situación podrá variar (por ejemplo, cuando se produzcan cambios en las prácticas de trabajo o en la degradación del blindaje). Por lo tanto, conviene mantener bajo examen la situación en estas zonas.

### **Disposiciones necesarias para restringir las exposiciones**

I-18. Se dispone de normas locales detalladas en que se especifican los procedimientos que han de seguirse para restringir las exposiciones cuando se realizan trabajos de radiografía. La restricción de las exposiciones también se logra utilizando equipo de radiografía con sistemas de alerta de seguridad intrínseca. Siempre que se cumplan las normas locales, la exposición se limitará en la mayor medida que sea razonablemente posible.

### **Disposiciones para el personal femenino**

I-19. Si hubiera una mujer empleada en la entidad explotadora, se le informaría de la necesidad e importancia de comunicar a su jefe si estuviera embarazada, y se adoptarían disposiciones apropiadas para la protección radiológica del feto.

### **Nivel de investigación de dosis**

I-20. La administración ha fijado un nivel de investigación de dosis de 2 mSv anuales. Siempre que todos los sistemas de seguridad funcionen correctamente y se cumplan todos los procedimientos, el potencial de exposición será reducido, y este nivel de investigación no deberá excederse. Este valor sirve de útil instrumento de gestión y se incluye en las normas locales.

### **Capacitación y cualificaciones**

I-21. Todo el personal recibe capacitación a un nivel apropiado para comprender la índole de los peligros de radiación y la importancia de cumplir los procedimientos especificados. Todo el personal es informado de que esto es fundamental para minimizar las dosis de radiación y prevenir incidentes o mitigar las consecuencias de incidentes. Todo el personal también es informado a un nivel apropiado acerca de los requisitos reglamentarios nacionales. El oficial de protección radiológica mantiene bajo examen la necesidad de impartir cursos de

perfeccionamiento. Se mantienen registros de toda la capacitación impartida. Todos los radiógrafos poseen cualificaciones nacionalmente reconocidas en técnicas de radiografía industrial y reciben capacitación en seguridad radiológica.

### **Evaluación de la dosis individual**

I-22. Hay probabilidades de que el personal de radiografía reciba altas dosis en caso de que se incumplan los procedimientos o de que ocurra un accidente. En consecuencia, todo el personal de radiografía se somete a monitorización radiológica individual y recibe dosímetros termoluminiscentes, que se cambian cada dos semanas. Los dosímetros se llevan durante todos los períodos de trabajo y se almacenan alejados de la radiación.

### **Vigilancia de la salud**

I-23. Los radiógrafos son sometidos a exámenes de salud anuales con un médico aprobado por el órgano regulador. Los radiógrafos tienen derecho a ver los resultados de sus exámenes de salud.

### **Monitorización del lugar de trabajo**

I-24. Se realiza la monitorización rutinaria del lugar de trabajo para verificar la delimitación de las zonas controladas y supervisar la eficacia de los sistemas de seguridad tecnológica. Se lleva a cabo la monitorización rutinaria alrededor de zonas controladas y zonas supervisadas una vez a la semana y en cada ocasión que se renueva una fuente radiactiva. Se efectúa una monitorización especial si se producen modificaciones en las técnicas de radiografía o en la dirección del haz. Los registros de toda la monitorización se conservan de conformidad con los requisitos reglamentarios.

I-25. Además, los medidores de radiactividad instalados en el recinto blindado dan una indicación continua de la tasa de dosis.

I-26. Los medidores de tasa de dosis se comprueban anualmente en un laboratorio de ensayos. El oficial de protección radiológica conserva los certificados de los ensayos.

### **Responsabilidad respecto de las fuentes radiactivas**

I-27. Todas las fuentes radiactivas son inequívocamente identificables, y los lugares donde están instaladas son verificados y sus datos registrados todos los

días laborables. También se mantienen registros de todos los cambios de las fuentes radiactivas, y todas las fuentes gastadas se devuelven a su suministrador original.

### **Evaluaciones del sistema de seguridad**

I-28. La restricción de las exposiciones depende mucho de la aplicación de sistemas de seguridad tecnológica como medidas de control. Los radiógrafos comprueban al comienzo de cada turno de trabajo el correcto funcionamiento de los sistemas de seguridad. Se mantienen registros de estas comprobaciones.

I-29. También un contratista de servicios da mantenimiento a todos los sistemas de seguridad anualmente y se conservan los registros pertinentes.

## Anexo II

### RESEÑA DE FUENTES Y EQUIPOS DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

II-1. Para llevar a cabo la radiografía industrial se dispone en el mercado de una amplia gama de dispositivos de exposición. Estos dispositivos incluyen equipos de gammagrafía y de radiografía de rayos X. A continuación se resumen las características generales de estos equipos.

#### FUENTES Y EQUIPOS DE GAMMAGRAFÍA

##### Fuentes

II-2. El iridio-192 es el radionucleido de uso más corriente para la radiografía industrial. También hay otros que pueden utilizarse y su elección depende de las características del material objeto de ensayo. Los conjuntos de fuentes son específicos del dispositivo de exposición y consisten en una cápsula sellada, cable o varilla. En el cuadro II-1 se enumeran los radionucleidos de uso más corriente y sus características.

II-3. Las fuentes selladas se almacenan dentro de un dispositivo de exposición apropiado para la fuente, el portafuente o el conjunto de la fuente y son compatibles con estos.

CUADRO II-1. RADIONUCLEIDOS DE USO MÁS CORRIENTE EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL Y SUS CARACTERÍSTICAS

Radionucleido	Energía	Potencia de salida de la fuente a 1 m (mSv·h <sup>-1</sup> por 37 GBq)	Período de semidesintegración	Espesor del acero para el que suele utilizarse (mm)
Co-60	1,17 y 1,33 MeV	13,0	5,3 a	50-120
Ir-192	206-612 keV	4,8	74 d	12-70
Se-75	97-401 keV	2,03	120 d	8-30
Yb-169	63-308 keV	1,25	32 d	4-20
Tm-170	51-84 keV	0,25	128 d	2,5-12,5

## **Tipos de dispositivos de exposición y equipos**

### *Clasificación general de los dispositivos de exposición*

II-4. Los dispositivos de exposición se clasifican según su movilidad. Los dispositivos Clase P y Clase M son, respectivamente, portátiles y móviles, mientras que los de la Clase F son fijos:

- 1) *Clase P*: Dispositivos de exposición portátiles diseñados para ser transportados por una o más personas. La masa de un dispositivo de exposición Clase P no excede de 50 kg.
- 2) *Clase M*: Dispositivos de exposición móviles, pero no portátiles, diseñados para ser trasladados fácilmente por un medio adecuado para el propósito, como un carro o carretilla.
- 3) *Clase F*: Dispositivos de exposición fijos instalados o con movilidad restringida a los límites de un lugar de trabajo definido, como un recinto blindado.

II-5. Las tres clases de dispositivos de exposición suelen operarse con la fuente expuesta en una de dos formas, como se describe a continuación.

### *Dispositivos de exposición de tipo obturador*

II-6. En los dispositivos de exposición de tipo obturador, la fuente se mantiene dentro del dispositivo de exposición en todo momento. Queda expuesta abriendo parte del blindaje (el “obturador”) o bien desplazando (por ejemplo, rotando) un componente interno donde esté montada la fuente. El ángulo sólido del haz de radiación no suele ser de más de 60°, y puede utilizarse colimación suplementaria para limitar aún más el ángulo del haz. La exposición de la fuente se lleva a cabo directamente utilizando una manilla en el dispositivo de exposición o por medios de manipulación a distancia.

### *Dispositivos de exposición de tipo proyección*

II-7. En los dispositivos de exposición de tipo proyección, un conjunto móvil de fuentes se proyecta físicamente fuera del dispositivo a lo largo de un tubo guía hueco por medio de un cable retráctil. El extremo del tubo guía se coloca en un colimador para ubicar la fuente en la posición deseada y limitar el haz al tamaño mínimo necesario para la tarea.

II-8. Los dispositivos de exposición de tipo “curvatura en S” posibilitan que el radiógrafo opere el sistema y exponga la fuente a una distancia segura. Los dispositivos de tipo curvatura en S proporcionan mayor grado de protección que los dispositivos de tipo obturador. En las fuentes de alta actividad es indispensable utilizar los dispositivos de exposición de tipo proyección para asegurar que las dosis que reciban los radiógrafos sean lo más bajas que pueda razonablemente alcanzarse.

II-9. Algunos dispositivos de exposición de tipo proyección emplean aire comprimido en lugar de cables retráctiles para exponer la fuente. Estos dispositivos de exposición se utilizan en general solo como parte de un recinto blindado construido para usos especiales. Los sistemas que dependen de la presión del aire o la gravedad para que la fuente regrese a la posición de blindaje tal vez no estén diseñados a prueba de fallos, y algunos órganos reguladores no autorizan su uso.

II-10. Otros tipos de equipos especializados de radiografía pueden ser el equipo explorador de tuberías y el equipo empleado para la radiografía subacuática.

#### *Equipo de radiografía subacuática*

II-11. Para la radiografía subacuática se proveen dispositivos de exposición con elementos de seguridad complementarios, incluidos los siguientes:

- a) Un indicador de profundidad que señala la profundidad máxima en que puede utilizarse sin riesgo el dispositivo de exposición.
- b) Precintos que impiden la entrada de gas o agua en las piezas del equipo que no están diseñadas para soportarlos. El equipo diseñado para soportar agua y gas tiene precintos que permiten que escapen el gas y el agua durante el ascenso a la superficie.
- c) Un mecanismo para que el equipo pueda operarse con seguridad mientras el buzo se halla fuera de la zona controlada.

#### *Equipo explorador de tuberías*

II-12. El equipo explorador de tuberías se utiliza para radiografiar las soldaduras de tuberías. Las máquinas llevan un conjunto de tubos de rayos X o una fuente gamma en un carro que se arrastra a lo largo del interior del tubo. El equipo explorador se alimenta por baterías situadas en el carro, por un motor de combustión interna o por cables que salen de un generador. El equipo explorador se activa y controla por el radiógrafo desde el exterior del tubo utilizando una

fuelle de control, que consiste normalmente en una fuente sellada de  $^{137}\text{Cs}$  montada en un dispositivo operado manualmente y colimado. Un detector colocado en el equipo explorador recibe la radiación de la fuente de control.

II-13. Por lo general, la fuente de control se desplaza a lo largo del exterior del tubo para impulsar el movimiento del equipo explorador en la dirección de avance o retroceso deseada. La fuente de control se sujeta al exterior del tubo para hacer que el equipo explorador se detenga y espere. La exposición comienza automáticamente unos 10 segundos después que la fuente de control se retira de la superficie del tubo. Algunos equipos exploradores de rayos X llevan incorporada una fuente radiactiva de baja actividad para ayudar a determinar la posición del equipo explorador dentro de la tubería.

II-14. La fuente radiográfica no abandona el dispositivo durante la exposición dentro de una tubería. El equipo explorador está diseñado a prueba de fallos de modo que, si se corta la alimentación eléctrica, la fuente queda automáticamente blindada.

II-15. Los equipos exploradores de tuberías normalmente no cumplen todos los requisitos de la norma ISO 3999 [II-1]. Las entidades explotadoras tendrán que velar por que se adopten más precauciones de seguridad apropiadas para su utilización sin riesgos.

## REFERENCIA DEL ANEXO II

[II-1] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Apparatus for Industrial Gamma Radiography — Specifications for Performance, Design and Tests, ISO 3999:2004, ISO, Ginebra (2004).

## Anexo III

### EJEMPLOS DE ACCIDENTES EN RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

III-1. Durante toda la historia de la radiografía industrial ha habido accidentes que han originado altas dosis de radiación para los trabajadores y el público y causado graves lesiones a las personas expuestas, y a veces han requerido amputaciones o incluso han provocado la muerte. Otros muchos accidentes no provocaron lesiones graves, pero tuvieron probabilidades de hacerlo o dieron lugar a exposiciones innecesarias a la radiación.

III-2. En un informe de seguridad del OIEA [III-1] se presentan a grandes rasgos varios accidentes relacionados con fuentes de radiografía industrial que fueron notificados por órganos reguladores, asociaciones profesionales y publicaciones científicas. En el informe de seguridad se describen los escenarios de accidentes en radiografía industrial, se determinan las causas primarias y las enseñanzas que deberán extraerse, y se aportan sugerencias a las personas y autoridades encargadas de la protección y la seguridad en la radiografía industrial. A continuación se reseña un pequeño número de accidentes como ejemplo de los peligros potenciales asociados con las fuentes empleadas en la radiografía industrial si esta no se lleva a cabo correctamente.

#### NO CONEXIÓN DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD

III-3. Una unidad de rayos X se estaba reemplazando. En ese momento, el enclavamiento de la puerta del recinto se desconectó pero no se volvió a conectar más. Un año más tarde, un radiógrafo activó la unidad de rayos X para calentarla antes de efectuar su primera exposición. Más tarde entró en el recinto de radiografía para instalar la película y realizar los ajustes finales de la posición del haz que se iba a radiografiar. Para esta tarea se debía localizar el centro del haz con un péndulo, que el radiógrafo sostuvo en la abertura del haz con el pulgar derecho. No había alarmas dentro del recinto que indicaran que la unidad de rayos X estuviera activada.

III-4. El radiógrafo se percató de que había quedado expuesto al regresar a la consola para comenzar la exposición y encontrar que el haz ya estaba activado. Se calcula que el pulgar derecho del radiógrafo estuvo situado en la abertura del haz durante unos 5 segundos, exposición que originó una dosis estimada de 3,4 Sv en

el pulgar y 29 mSv en el cuerpo entero. La exposición del pulgar del radiógrafo provocó eritema (quemaduras por radiación) y ampollas.

### **Suceso iniciador**

III-5. La reconexión del sistema de enclavamiento no se aseguró cuando se puso en servicio la nueva unidad de rayos X.

### **Factores contribuyentes y prevención**

III-6. Es preciso establecer procedimientos para asegurarse de que todos los sistemas de seguridad están en marcha después de la reparación o sustitución. El radiógrafo no había realizado comprobaciones diarias de los enclavamientos antes de utilizar el recinto. Este tipo de comprobación habría alertado al radiógrafo del hecho de que el sistema de enclavamiento no estaba funcionando. Una exploración radiológica durante la operación habría permitido detectar los niveles de radiación y prevenir esta exposición. El radiógrafo había pasado por alto la señal de alerta en el cuadro de mando.

## **ANULACIÓN DE LAS ALARMAS DE SEGURIDAD**

III-7. Mientras realizaba una radiografía en un recinto blindado, un radiógrafo decidió mantener abierta la puerta del recinto para que el aire circulara dentro, cambió las películas y preparó el equipo para la siguiente exposición. Al hacerlo por primera vez, conectó el interruptor de alarma de “puerta abierta” en la posición de apagado. Este interruptor también anuló la alarma de radiación del recinto.

III-8. En una exposición posterior, el radiógrafo no retrajo la fuente de  $^{60}\text{Co}$  de 3 000 GBq (81 Ci) que se estaba utilizando. El radiógrafo entró en el recinto sin utilizar un medidor de radiaciones, y mientras estaba anulada la alarma de radiación. No llevaba un dosímetro personal. También entró en el recinto un trabajador de producción que trabajaba con el radiógrafo, quien tampoco portaba un dosímetro personal.

III-9. El radiógrafo cambió las películas, ajustó el colimador de la fuente y abandonó el recinto junto con el coordinador de producción. Cuando el radiógrafo trató de extraer la fuente a la posición de exposición, se dio cuenta de que la fuente no se había retraído después de la exposición anterior y que él y el trabajador de producción habían quedado expuestos.

III-10. La reconstrucción del incidente mostró que el radiógrafo recibió una dosis estimada en los ojos de cerca de 90 mSv y una dosis en las partes de la mano con las que había ajustado el colimador de la fuente que superaba 42,5 Sv. El trabajador de producción recibió una dosis estimada en los ojos de 40 mSv.

### **Suceso iniciador**

III-11. El enclavamiento y la alarma de radiación del recinto fueron anulados deliberadamente.

### **Factores contribuyentes y prevención**

III-12. El sistema de alarma debe diseñarse de manera que al anularse la alarma de la puerta no se anule la alarma de radiación. No se aplicaron los procedimientos operacionales necesarios para verificar que la fuente había vuelto a la posición de blindaje y que se llevaban todos los dosímetros apropiados. Si se hubiera llevado una alarma, el radiógrafo habría sido alertado de los altos niveles de radiación. La índole de participación del trabajador de producción demostró la falta de cultura de la seguridad imperante en la entidad explotadora.

## **RESPUESTA INCORRECTA A UN EQUIPO AVERIADO**

III-13. En 1994, un radiógrafo trabajaba de noche con un dispositivo de exposición que contenía una fuente de  $^{192}\text{Ir}$  de 780 GBq (21 Ci) y tenía dificultades para cerrarlo. Observó que su dosímetro de lectura directa daba una lectura fuera de escala, pero como su medidor de radiaciones estaba averiado, no registró ninguna radiación. Golpeó el conjunto de enclavamiento con un martillo para que se cerrara y luego dejó desatendido el dispositivo de exposición en el emplazamiento mientras regresaba a la instalación para recoger otro medidor de radiaciones.

III-14. El radiógrafo regresó seguidamente al emplazamiento, pero observó que tenía el mismo problema con el conjunto de enclavamiento. Su dosímetro de lectura directa todavía daba una lectura fuera de escala y el segundo medidor de radiaciones tampoco funcionaba correctamente. Al volver a la instalación para buscar otro medidor de radiaciones, se olvidó de llevar consigo su dosímetro termoluminiscente personal y continuó trabajando en el emplazamiento sin él. El dosímetro indicó una exposición de 8,5 mSv, en la que probablemente se incurrió mientras el radiógrafo estaba manipulando incorrectamente al inicio el conjunto de enclavamiento del dispositivo de exposición.

## **Suceso iniciador**

III-15. Se experimentaron dificultades para cerrar el dispositivo de exposición.

## **Factores contribuyentes y prevención**

III-16. El radiógrafo no aplicó los procedimientos operacionales de seguridad ante el mal funcionamiento del equipo. Concretamente:

- Trató de reparar el dispositivo de exposición utilizando procedimientos no aprobados;
- No confirmó la capacidad de funcionamiento del medidor de radiaciones suministrado;
- Pasó por alto la lectura fuera de escala de su dosímetro;
- Dejó desatendido el dispositivo de exposición en el emplazamiento del cliente;
- No utilizó un dosímetro personal.

Si el radiógrafo hubiera cumplido alguno de estos requisitos, podría haber minimizado su exposición.

## **EXPOSICIÓN DENTRO DE UNA TUBERÍA**

III-17. Un radiógrafo llevaba a cabo trabajos de radiografía de rayos X en una tubería de una estación de compresores de gas, para lo cual poseía un permiso. Una barrera indicaba claramente la delimitación de la zona controlada, y se dieron señales de alerta previa de exposición y de exposición antes de que comenzara el trabajo.

III-18. Se habían hecho ya varias exposiciones y el tubo de rayos X todavía estaba activado cuando el radiógrafo vio a dos hombres salir de la tubería delante de él. Las indagaciones revelaron que los dos hombres también tenían permiso para trabajar, que habían estado inspeccionando la tubería internamente y que se habían arrastrado a través del haz de rayos X dos veces mientras realizaban sus inspecciones.

III-19. La reconstrucción del incidente reveló que los inspectores habían recibido cada uno una dosis estimada de 0,2 mSv.

### **Suceso iniciador**

III-20. El suceso fue causado por una falta de coordinación del trabajo que se debía realizar en el emplazamiento.

### **Factores contribuyentes y prevención**

III-21. El radiógrafo no mantuvo el control requerido de la zona, lo que provocó la exposición de dos personas. El radiógrafo debe obtener toda la cooperación e información necesaria del administrador del emplazamiento antes del inicio de las operaciones, de modo que se pueda mantener el control durante todas las operaciones de radiografía. Los controles requeridos (barreras y señales de alerta) en los puntos de acceso a la zona controlada no se mantuvieron adecuadamente.

## **MUERTES DEBIDAS A UNA SOBREEXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN**

III-22. En 1984 se produjo un accidente de radiación que causó la muerte de ocho miembros del público como resultado de la sobreexposición a una fuente radiográfica. Una fuente de  $^{192}\text{Ir}$  de 1 100 GBq (30 Ci) quedó desconectada del cable impulsor y no se hizo regresar correctamente a su dispositivo de exposición.

III-23. Posteriormente, el tubo guía se desconectó del dispositivo de exposición y la fuente al final cayó al suelo. Un transeúnte recogió el pequeño cilindro metálico y se lo llevó consigo. Aunque el dispositivo de exposición estaba marcado con el símbolo de la radiación (el trébol), la propia fuente no llevaba ninguna marca.

III-24. La fuente estuvo perdida entre marzo y junio de 1984 y en total murieron ocho personas, incluida la persona que se llevó la fuente consigo, los miembros de su familia y parientes; el diagnóstico clínico reveló una hemorragia pulmonar. Al inicio se pensaba que las muertes se debían a un envenenamiento. Solo después de la última muerte se sospechó que todas habían sido causadas por la radiación.

### **Suceso iniciador**

III-25. El conjunto de la fuente se desconectó del cable impulsor, cayó al suelo y permaneció en el lugar de trabajo.

## **Factores contribuyentes y prevención**

III-26. No se realizaron exploraciones radiológicas para verificar que la fuente había regresado a la posición de blindaje total. Si se hubieran realizado, el problema se habría detectado y el accidente podría haberse impedido. Además, el transeúnte que recogió la fuente no reconoció el peligro que esta representaba para la salud. Las consecuencias del incidente podrían haberse mitigado si la fuente hubiera tenido una etiqueta de advertencia.

### **FALLO DEL CIERRE DE UN DISPOSITIVO DESPUÉS DE UN MANTENIMIENTO INCORRECTO**

III-27. Se notificó un suceso radiográfico relacionado con la desconexión del mecanismo de cierre de un dispositivo de exposición que posibilitó la salida de la fuente de  $^{192}\text{Ir}$  de 3 600 GBq (98 Ci) del dispositivo de exposición. El incidente ocurrió después de medianoche, cuando dos radiógrafos que trabajaban con poca iluminación realizaban trabajos de radiografía.

III-28. Las películas se llevaron a revelar y el radiógrafo se quitó su dosímetro de película fotográfica y lo colocó en su tablilla, pensando que su trabajo había terminado. No obstante, hubo que volver a realizar varias exposiciones y para ellas olvidó colocarse de nuevo el dosímetro.

III-29. Para llevar el dispositivo de exposición del primer lugar al segundo con el fin de repetir la exposición, el radiógrafo sostuvo el cable de manivela con la mano izquierda y alzó el dispositivo de exposición con la mano derecha. Después de dar algunos pasos, el cable impulsor se desprendió del dispositivo de exposición y cayó al suelo. Colocó el dispositivo de exposición en la trampilla de carga de un camión pensando que la fuente también se había desconectado. El radiógrafo recogió el cable de manivela aproximadamente a 100 cm de su extremo y movió rápidamente la mano hacia el extremo del conector. Agarró lo que pensaba que era el conector del cable y lo llevó a unos 15 cm de la cara. Cuando se percató de que era realmente la fuente, la dejó caer, alertó al otro radiógrafo y salió apresuradamente de la zona.

III-30. La reconstrucción del escenario y los cálculos de la exposición a la radiación indicaron que el radiógrafo había recibido una dosis estimada en cuerpo entero y una dosis en el crisalino de 6 mSv. Se estimó que el peor caso de exposición de las extremidades, en este caso de los dedos, era de 19 Sv.

III-31. La cerradura del dispositivo de exposición utilizado se sujeta por dos pasadores cilíndricos. Faltaba uno de los pasadores, y tal vez durante algún tiempo, mientras que el segundo se encontraba en la caja del dispositivo de exposición, pero no dentro de la cerradura. La ausencia de ambos pasadores permitió que la cerradura, el muelle y la inserción móvil se soltaran de la caja. Aunque el cable impulsor estaba conectado al conjunto de la fuente, cuando la cerradura se soltó de la caja, el cable tiró del conjunto de la fuente del dispositivo de exposición, quedando así expuesta la fuente.

### **Suceso iniciador**

III-32. Faltaban los pasadores cilíndricos que aseguran la fuente.

### **Factores contribuyentes y prevención**

III-33. El radiógrafo supuso que la fuente estaba desconectada. No confirmó la situación utilizando un medidor de radiaciones. En un programa de inspección y mantenimiento adecuado, el pasador faltante se habría detectado y reemplazado. En inspecciones diarias se podría haber detectado que la cerradura estaba suelta antes de realizarse la radiografía. Además, la retirada de un dosímetro de película fotográfica antes de concluir un trabajo de radiografía y la no utilización de equipo de monitorización son violaciones de los requisitos reglamentarios e indican una falta de cultura de la seguridad.

## **MANTENIMIENTO INADECUADO CAUSANTE DE SOBREEXPOSICIÓN**

III-34. Un radiógrafo y su asistente trabajaban con una fuente de  $^{192}\text{Ir}$  de 3 000 GBq (80 Ci). Cuando terminaron las exposiciones, el asistente desmontó el equipo, lo colocó en el camión y volvió a la base. Al llegar, acarreo el dispositivo de exposición del camión a la instalación de almacenamiento. Mientras colocaba el dispositivo de exposición en el estante, lo volteó y el conjunto de la fuente cayó al suelo. La alarma de radiación en la instalación de almacenamiento le alertó del peligro, y posteriormente la fuente fue recuperada y bien blindada.

### **Suceso iniciador**

III-35. Las investigaciones indicaron que el dispositivo de exposición no se había sometido a un mantenimiento adecuado. El cerrojo con muelle diseñado para asegurar la fuente en la posición de blindaje total no estaba funcionando; había quedado atascado en la posición de desbloqueo debido a la acumulación de

polvo. Además, el radiógrafo no había girado el control del obturador a la posición de apagado ni había instalado la tapa guardapolvo en la parte delantera del dispositivo de exposición. Esta combinación de circunstancias dio lugar a que la fuente cayera al suelo.

### **Factores contribuyentes y prevención**

III-36. El cierre había quedado atascado en la posición de desbloqueo debido a la acumulación de polvo. Además de la falta de mantenimiento, que provocó el fallo del cierre, no se cumplieron requisitos de seguridad secundarios. El control del obturador no se giró a la posición de apagado y la tapa guardapolvo no se había instalado en la parte delantera del dispositivo de exposición. Si se hubiera adoptado una de estas medidas, la fuente no se habría soltado del dispositivo de exposición.

### **REFERENCIA DEL ANEXO III**

[III-1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad, N° 7, OIEA, Viena (1998).



## COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN

Einav, I.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Friedrich, V.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Hudson, A. P.	Consultor privado (Reino Unido)
Irwin, R.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Jankovitch, J.	Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos (Estados Unidos de América)
Paynter, R. A.	Agencia de Protección de la Salud (Reino Unido)
Roughan, C.	QSA Global Inc. (Estados Unidos de América)
Sonsbeek, R. Van	Grupo Applus RTD (Países Bajos)
Wheatley, J. S.	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. Dos asteriscos indican un suplente.*

### Comisión sobre Normas de Seguridad

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

### Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Wassilew, C.; Argelia: Merrouche, D.; Argentina: Waldman, R.; Australia: Le Cann, G.; Austria: Sholly, S.; Bélgica: De Boeck, B.; Brasil: Gromann, A.; \*Bulgaria: Gledachev, Y.; Canadá: Rzentkowski, G.; Corea, República de: Hyun-Koon Kim; China: Jingxi Li; Croacia: Valčić, I.; \*Chipre: Demetriades, P.; Egipto: Ibrahim, M.; Eslovaquia: Uhrik, P.; Eslovenia: Vojnovič, D.; España: Zarzuela, J.; Estados Unidos de América: Mayfield, M.; Federación de Rusia: Baranaev, Y.; Finlandia: Järvinen, M.-L.; Francia: Feron, F.; Ghana: Emi-Reynolds, G.; \*Grecia: Camarinopoulos, L.; Hungría: Adorján, F.; India: Vaze, K.; Indonesia: Antariksawan, A.; Irán, República Islámica del: Asgharizadeh, F.; Israel: Hirshfeld, H.; Italia: Bava, G.; Japón: Kanda, T.; Libia: Abuzid, O.; Lituania: Demčenko, M.; Malasia: Azlina Mohammed Jais; Marruecos: Soufi, I.; México: Carrera, A.; Países Bajos: van der Wiel, L.;*

*Pakistán*: Habib, M. A.; *Polonia*: Jurkowski, M.; *Reino Unido*: Vaughan, G. J. (Presidencia); *República Checa*: Šváb, M.; *Rumania*: Biro, L.; *Sudáfrica*: Leotwane, W.; *Suecia*: Hallman, A.; *Suiza*: Flury, P.; *Túnez*: Baccouche, S.; *Turquía*: Bezdegumeli, U.; *Ucrania*: Shumkova, N.; *Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Reig, J.; *\*Asociación Nuclear Mundial*: Borysova, I.; *Comisión Electrotécnica Internacional*: Bouard, J.-P.; *Comisión Europea*: Vigne, S.; *FORATOM*: Fourest, B.; *OIEA*: Feige, G. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Sevestre, B.

### **Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica**

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

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

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

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

### **Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos**

*Alemania*: Götz, C.; *Argelia*: Abdenacer, G.; *Argentina*: Biaggio, A.; *Australia*: Williams, G.; \**Austria*: Fischer, H.; *Bélgica*: Blommaert, W.; *Brasil*: Tostes, M.;

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



# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 23

## PEDIDOS FUERA DEL OIEA

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

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

### ALEMANIA

**Goethe Buchhandlung Teubig GmbH**

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

Teléfono: +49 (0) 211 49 8740 • Fax: +49 (0) 211 49 87428

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

### AUSTRALIA

**DA Information Services**

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIA

Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788

Correo electrónico: books@dadirect.com.au • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

### BÉLGICA

**Jean de Lannoy**

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

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

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

### CANADÁ

**Renouf Publishing Co. Ltd.**

5369 Canotek Road, Ottawa, ON K1J 9J3, CANADÁ

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

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

### Bernan Associates

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

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

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

### ESLOVENIA

**Cankarjeva Založba dd**

Kopitarjeva 2, 1515 Liubliana, ESLOVENIA

Teléfono: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35

Correo electrónico: import.books@cankarjeva-z.si • Sitio web: [http://www.mladinska.com/cankarjeva\\_zalozba](http://www.mladinska.com/cankarjeva_zalozba)

### ESPAÑA

**Díaz de Santos, S.A.**

Librerías Bookshop • Departamento de pedidos

Calle Albasanz 2, esquina Hermanos García Noblejas 21, 28037 Madrid, ESPAÑA

Teléfono: +34 917 43 48 90 • Fax: +34 917 43 4023

Correo electrónico: compras@diazdesantos.es • Sitio web: <http://www.diazdesantos.es>

### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

**Bernan Associates**

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

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

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

**Renouf Publishing Co. Ltd.**

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

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

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

### FINLANDIA

**Akateeminen Kirjakauppa**

PO Box 128 (Keskuskatu 1), 00101 Helsinki, FINLANDIA

Teléfono: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450

Correo electrónico: akatilaus@akateeminen.com • Sitio web: <http://www.akateeminen.com>

### FRANCIA

**Form-Edit**

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

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

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

**Lavoisier SAS**

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCIA

Teléfono: +33 1 47 40 67 00 • Fax: +33 1 47 40 67 02

Correo electrónico: livres@lavoisier.fr • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

### **L'Appel du livre**

99 rue de Charonne, 75011 París, FRANCIA

Teléfono: +33 1 43 07 50 80 • Fax: +33 1 43 07 50 80

Correo electrónico: livres@appeldulivre.fr • Sitio web: <http://www.appeldulivre.fr>

### **HUNGRÍA**

#### **Librotade Ltd., Book Import**

PF 126, 1656 Budapest, HUNGRÍA

Teléfono: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472

Correo electrónico: books@librotade.hu • Sitio web: <http://www.librotade.hu>

### **INDIA**

#### **Allied Publishers**

1<sup>st</sup> Floor, Dubash House, 15, J.N. Heredi Marg, Ballard Estate, Bombay 400001, INDIA

Teléfono: +91 22 2261 7926/27 • Fax: +91 22 2261 7928

Correo electrónico: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

#### **Bookwell**

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA

Teléfono: +91 11 2760 1283/4536

Correo electrónico: bkwell@nde.vsnl.net.in • Sitio web: <http://www.bookwellindia.com/>

### **ITALIA**

#### **Libreria Scientifica "AEIOU"**

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milán, ITALIA

Teléfono: +39 02 48 95 45 52 • Fax: +39 02 48 95 45 48

Correo electrónico: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: <http://www.libreriaaeiou.eu/>

### **JAPÓN**

#### **Maruzen Co., Ltd.**

1-9-18 Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, JAPÓN

Teléfono: +81 3 6367 6047 • Fax: +81 3 6367 6160

Correo electrónico: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://maruzen.co.jp>

### **NACIONES UNIDAS (ONU)**

300 East 42<sup>nd</sup> Street, IN-919J, Nueva York, NY 1001, ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Teléfono: +1 212 963 8302 • Fax: +1 212 963 3489

Correo electrónico: publications@un.org • Sitio web: <http://www.unp.un.org>

### **PAÍSES BAJOS**

#### **Martinus Nijhoff International**

Koraalrood 50, Postbus 1853, 2700 CZ Zoetermeer, PAÍSES BAJOS

Teléfono: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698

Correo electrónico: info@nijhoff.nl • Sitio web: <http://www.nijhoff.nl>

#### **Swets Information Services Ltd.**

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, PAÍSES BAJOS

Teléfono: +31 88 4679 387 • Fax: +31 88 4679 388

Correo electrónico: tbeysens@nl.swets.com • Sitio web: <http://www.swets.com>

### **REINO UNIDO**

#### **The Stationery Office Ltd. (TSO)**

PO Box 29, Norwich, Norfolk, NR3 1PD, REINO UNIDO

Teléfono: +44 870 600 5552

Correo electrónico: (pedidos) books.orders@tso.co.uk • (consultas) book.enquiries@tso.co.uk •

Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

### **REPÚBLICA CHECA**

#### **Suweco CZ, spol. S.r.o.**

Klecakova 347, 180 21 Praga 9, REPÚBLICA CHECA

Teléfono: +420 242 459 202 • Fax: +420 242 459 203

Correo electrónico: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

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

Sección Editorial del OIEA, Dependencia de Mercadotecnia y Venta,

Organismo Internacional de Energía Atómica

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria

Teléfono: +43 1 2600 22529 ó 22488 • Fax: +43 1 2600 29302

Correo electrónico: sales.publications@iaea.org • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>

## Seguridad mediante las normas internacionales

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

Yukiya Amano  
Director General

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA

ISBN 978-92-0-338710-1

ISSN 1020-5837