

Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

Seguridad radiológica de las instalaciones de irradiación de rayos gamma, electrones y rayos x

Guía de Seguridad Específica

Nº SSG-8



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.

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*.

SEGURIDAD RADIOLÓGICA DE LAS
INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN DE RAYOS
GAMMA, ELECTRONES Y RAYOS X

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

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

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

COLECCIÓN DE
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° SSG-8

SEGURIDAD RADIOLÓGICA
DE LAS INSTALACIONES DE
IRRADIACIÓN DE RAYOS GAMMA,
ELECTRONES Y RAYOS X

GUÍA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2015

DERECHOS DE AUTOR

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

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

© OIEA, 2015

Impreso por el OIEA en Austria
Diciembre de 2015
STI/PUB/1454

SEGURIDAD RADIOLÓGICA DE LAS
INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN DE RAYOS
GAMMA, ELECTRONES Y RAYOS X
OIEA, VIENA, 2015
STI/PUB/1454
ISBN 978-92-0-304314-4
ISSN 1020-5837

PRÓLOGO

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

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

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

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

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

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

ANTECEDENTES

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

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

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

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

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

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

LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA se basan en el Estatuto de éste, que autoriza al OIEA a establecer o adoptar, en consulta y, cuando proceda, en colaboración con los órganos competentes de las Naciones Unidas y con los organismos especializados interesados, normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y proveer a la aplicación de estas normas.

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

Las medidas de seguridad tecnológica y las medidas de seguridad física¹ tienen en común la finalidad de proteger la vida y la salud humanas y el medio ambiente. Las medidas de seguridad tecnológica y de seguridad física deben diseñarse y aplicarse en forma integrada, de modo que las medidas de seguridad física no comprometan la seguridad tecnológica y las medidas de seguridad tecnológica no comprometan la seguridad física.

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

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

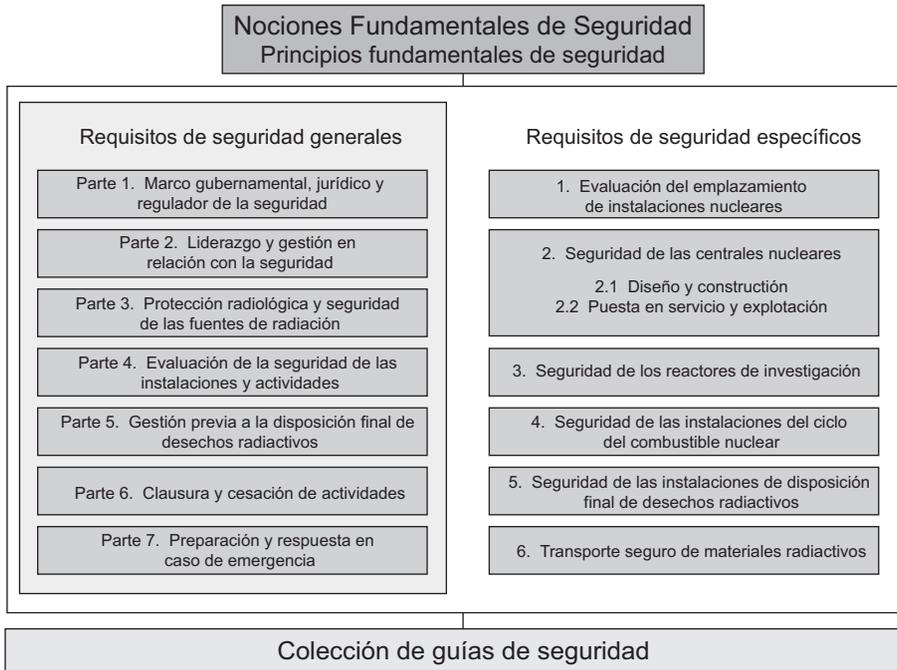


FIG. 1. Estructura a largo plazo de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA.

Requisitos 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 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 figura 2).

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

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

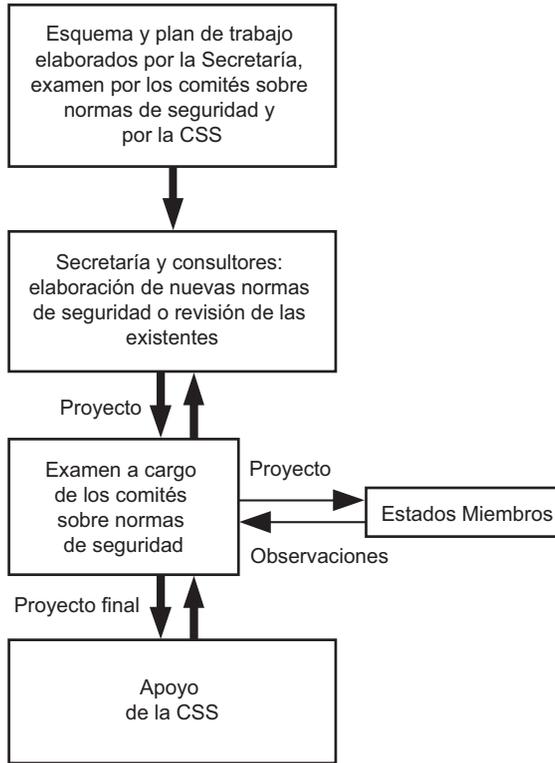


FIG. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente.

INTERACCIÓN CON OTRAS ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

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

INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

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

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

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

Cuando figuran en la publicación, los apéndices se consideran parte integrante de la norma de seguridad. El material que figura en un apéndice tiene el mismo valor que el texto principal y el OIEA asume su autoría. Los anexos y notas de pie de página del texto principal, en su caso, se utilizan para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Los anexos y notas de pie de página no son parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. La información procedente de otras fuentes que se presenta en los anexos ha sido extraída y adaptada para que sea de utilidad general.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
	Antecedentes (1.1–1.5)	1
	Objetivo (1.6)	2
	Alcance (1.7)	2
	Estructura (1.8–1.10).....	3
2.	JUSTIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS (2.1–2.4)	3
3.	TIPOS DE IRRADIADORES	5
	Instalaciones de irradiación de rayos gamma (3.1–3.6).....	5
	Instalaciones de irradiación con generadores de radiaciones (3.7–3.9).....	7
4.	PRINCIPALES ELEMENTOS DE LAS PRÁCTICAS	12
	Notificación y autorización de la práctica (4.1–4.2)	12
	Responsabilidades de la entidad explotadora (4.3–4.12)	12
	Responsabilidades en materia de gestión y de organización (4.13–4.37)	15
	Normas locales (4.38)	25
	Capacitación y enseñanza (4.39–4.47)	27
5.	VIGILANCIA RADIOLÓGICA INDIVIDUAL DE LOS TRABAJADORES	29
	Evaluación de la dosis individual y mantenimiento de registros (5.1–5.12)	29
	Investigación de las dosis (5.13–5.16)	32
6.	VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE LOS PUESTOS DE TRABAJO	33
	Vigilancia radiológica de los puestos de trabajo (6.1–6.2)	33
	Detectores de radiación y monitores de radiación (6.3–6.8)	34
	Mantenimiento y calibración (6.9–6.12)	36
	Uso de los detectores de radiación (6.13–6.16)	37
	Registros de los estudios radiológicos (6.17–6.20)	39

7.	CONTROL DE LAS FUENTES RADIATIVAS (7.1–7.7)	41
8.	DISEÑO DE LOS IRRADIADORES (8.1)	43
	Irradiadores gamma, por electrones y con rayos X (8.2–8.47)	43
	Irradiadores gamma (8.48–8.97)	55
	Irradiadores por haces de electrones e irradiadores 68 con rayos X (8.98–8.120)	67
	Modificaciones de la instalación (8.121–8.122)	73
9.	COMPROBACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO (9.1–9.2)	73
	Comprobaciones semanales (9.3)	74
	Comprobaciones mensuales (9.4–9.5)	75
	Comprobaciones semestrales (9.6)	77
	Comprobación de la estanqueidad de las fuentes radiactivas (9.7–9.11)	77
	Registros (9.12–9.14)	78
	Mantenimiento y modificación de la instalación (9.15–9.26)	79
10.	TRANSPORTE, CARGA Y DESCARGA DE FUENTES RADIATIVAS	81
	Transporte (10.1–10.2)	81
	Carga y descarga de fuentes (10.3–10.8)	82
11.	PREPARACIÓN Y RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA (11.1–11.4)	84
	Elaboración de planes de emergencia (11.5–11.12)	85
	Equipo de emergencia (11.13–11.14)	88
	Capacitación para casos de emergencia (11.15–11.17)	88
	Revisiones periódicas de los planes de emergencia (11.18–11.19)	89
	REFERENCIAS	91
	COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN	94
	ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA	95

1. INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1.1. Las aplicaciones de la radiación ionizante aportan muchos beneficios a la humanidad, desde la generación de electricidad a los usos que se le dan en la medicina, la industria y la agricultura. En diversas aplicaciones beneficiosas se emplean irradiadores que utilizan la radiación ionizante, como la irradiación de alimentos y la esterilización de productos médicos. Sin embargo, la radiación ionizante también puede ser nociva si no se controla correctamente. Los irradiadores industriales producen durante la irradiación tasas de dosis elevadísimas, tales que una persona que se encuentre accidentalmente en la sala de irradiación¹ podría recibir una dosis letal en minutos o incluso segundos.

1.2. Se han producido varias víctimas mortales en irradiadores gamma en diversos Estados. Además, han ocurrido sobreexposiciones graves en irradiadores por haces de electrones en varios Estados. El OIEA ha investigado esos y otros accidentes y ha publicado un informe [1] sobre las enseñanzas extraídas para poder evitar en el futuro accidentes similares.

1.3. Los accidentes descritos en la Ref. [1] afectaron a trabajadores que habían entrado en salas de irradiación sin saber que había en ellas tasas de dosis elevadas. Los irradiadores gamma pueden encerrar además otros peligros de radiación, entre ellos la contaminación de fuentes radiactivas dañadas, que las fuentes se salgan de sus soportes, los accidentes ocurridos al manejar las fuentes, los incendios y las infracciones de la seguridad física.

1.4. Las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (NBS) [2] establecen los requisitos básicos para la protección de las personas contra la exposición a la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación². La aplicación de estos requisitos en las instalaciones de irradiación tiene por objeto prevenir accidentes del tipo aquí descrito y, en general, proporcionar las mejores medidas de protección y seguridad posibles en las circunstancias reinantes. Las magnitudes y la probabilidad de las exposiciones y

¹ La sala de irradiación es la parte del irradiador que está rodeada por el blindaje contra la radiación y que es inaccesible cuando se está utilizando la fuente de radiación.

² El término “fuente de radiación” abarca las fuentes radiactivas y los generadores de radiación. En las normas de seguridad del OIEA “radiación” significa radiación ionizante.

las cantidades de individuos expuestos deben ser las mínimas que quepa alcanzar razonablemente, habida cuenta de los factores económicos y sociales.

1.5. Salvo que se diga otra cosa, los términos se utilizan con el significado que se les adscribe en el Glosario de seguridad del OIEA (edición de 2007) [3].

OBJETIVO

1.6. El objetivo de esta Guía de seguridad es formular recomendaciones acerca de cómo cumplir los requisitos de las NBS con respecto a las instalaciones de irradiación. Esta Guía de seguridad proporciona recomendaciones prácticas específicas sobre el diseño y el funcionamiento seguros de los irradiadores de rayos gamma, por haces de electrones y con rayos X destinadas a las entidades explotadoras y los diseñadores de esas instalaciones, así como a los órganos reguladores.

ALCANCE

1.7. Las instalaciones a que se refiere esta publicación comprenden cinco tipos de irradiadores, tanto si se explotan con fines comerciales como si lo son para fines de investigación y desarrollo. Esta publicación se ocupa de cuestiones atinentes a la seguridad radiológica, no de los usos de los irradiadores, y tampoco trata de la irradiación del producto³ ni de la gestión de su calidad. Los cinco tipos de irradiadores son:

- los irradiadores panorámicos de almacenamiento en seco de la fuente (véase la figura 1);
- los irradiadores subacuáticos, en los que la fuente y el producto que se irradia están bajo el agua (véase la figura 2);
- los irradiadores panorámicos de almacenamiento en medio húmedo de la fuente (véase la figura 3);
- las instalaciones de irradiación por haces de electrones, en las que se realiza la irradiación en una zona a la que puede tener acceso el personal, pero que se mantiene inaccesible durante el proceso de irradiación (véase la figura 4);

³ En este contexto, se entiende por “producto” los objetos o materiales que se irradian deliberadamente.

- las instalaciones de irradiación con rayos x, en las que se realiza la irradiación en una zona a la que puede tener acceso el personal, pero que se mantiene inaccesible durante el proceso de irradiación (véase la figura 5).

El examen de los riesgos no relacionados con la radiación y de los beneficios que produce la explotación de los irradiadores queda fuera del alcance de esta Guía de seguridad. Las prácticas de radioterapia y radiografía también quedan fuera del alcance de esta Guía de seguridad. Los irradiadores gamma de categoría I (es decir, los irradiadores “autoblindados”) tampoco se tratan en esta Guía de seguridad.

ESTRUCTURA

1.8. Los diseños de las instalaciones de irradiación se clasifican en categorías atendiendo al tipo de radiación y a los métodos de accesibilidad y blindaje, que se describen en la sección 3 de esta Guía de seguridad. En la sección 4 se trata de la notificación y autorización de las prácticas de irradiación, de las responsabilidades de la entidad explotadora y de diversas cuestiones generales relativas a la seguridad radiológica. Las secciones 5 y 6, se ocupan, respectivamente, de la vigilancia radiológica individual de los trabajadores y de la monitorización radiológica de los puestos de trabajo.

1.9. En la sección 7 figura una descripción de las medidas de seguridad física apropiadas para controlar las fuentes radiactivas. La sección 8 se ocupa de los aspectos de la seguridad relativos al diseño y operacionales de las instalaciones de irradiación. En la sección 9 se abordan las comprobaciones y el mantenimiento del equipo.

1.10. La sección 10 se centra en el transporte y la carga y descarga de las fuentes radiactivas. La sección 11 trata de la preparación para casos de emergencia y de la respuesta en caso de emergencia.

2. JUSTIFICACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

2.1. Los Principios fundamentales de seguridad [4] determinan que el objetivo fundamental de la seguridad es proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Según el principio 4, Justificación de las instalaciones y actividades, “Las instalaciones y actividades

que generan riesgos asociados a las radiaciones deben reportar un beneficio general”. Cabe considerar que esta afirmación es equivalente al principio bien establecido de la justificación de las prácticas, de las que es un ejemplo la explotación de instalaciones de irradiación [2].

2.2. Los requisitos básicos en materia de protección radiológica impuestos a las prácticas en las NBS [2] son: la justificación de las prácticas, los límites de dosis individuales y la optimización de la protección y la seguridad. El requisito básico en lo relativo a la justificación de las prácticas se formula del modo siguiente:

“No debería ser autorizada ninguna práctica o fuente adscrita a una práctica a no ser que la práctica produzca a los individuos expuestos o a la sociedad un beneficio suficiente para compensar los daños por radiación que pudiera causar, es decir: a no ser que la práctica esté justificada, teniendo en cuenta los factores sociales y económicos, así como otros factores pertinentes” (Ref. [2], párr. 2.20).

2.3. Cuando se expresó por vez primera formalmente el principio, muchas prácticas como la explotación de irradiadores ya eran de uso habitual, y en general su justificación era implícita. En condiciones normales, el diseño, la construcción, la explotación y el mantenimiento de irradiadores dan lugar a dosis insignificantes para los trabajadores y el público. Ahora bien, como ya se ha indicado, la explotación de irradiadores da lugar en ocasiones a que los trabajadores reciban dosis superiores a los límites autorizados como consecuencia de accidentes. Además, conlleva otros riesgos de irradiación, entre ellos los asociados a la seguridad física de las fuentes radiactivas, el transporte de fuentes radiactivas y, en último término, la disposición final de las fuentes radiactivas.

2.4. La decisión de si se justifica o no la explotación de irradiadores depende de las circunstancias y beneficios de su uso en cada caso, teniendo en cuenta las prioridades nacionales, motivo por el cual no cabe formular recomendaciones terminantes sobre la justificación. En último término, la decisión de si está justificada la explotación de un irradiador debería tomarla caso por caso la autoridad gubernamental competente, la cual debería sopesar los distintos beneficios y riesgos de su uso para determinar si se justifica la práctica concreta de que se trate. La decisión de la autoridad gubernamental acerca de si se justifica la explotación de irradiadores en el Estado puede tomarse también con carácter general para todos los irradiadores de un tipo determinado.

3. TIPOS DE IRRADIADORES

INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN DE RAYOS GAMMA

3.1. A los fines de esta Guía de seguridad, hay cuatro categorías generales de irradiadores gamma, definidas en función del diseño de la instalación y, en particular, de la accesibilidad y el blindaje de la fuente radiactiva^{4,5}. En esta Guía de seguridad no se tratan los irradiadores de rayos gamma de categoría I (es decir, los irradiadores autoblandados), ya que tienen características propias a los fines de la seguridad radiológica. A los efectos de esta Guía de seguridad, las categorías pertinentes de irradiadores de rayos gamma son la categoría II (irradiadores panorámicos de almacenamiento en seco de la fuente), la categoría III (irradiadores subacuáticos) y la categoría IV (irradiadores panorámicos de almacenamiento en medio húmedo de la fuente).

Categoría II (irradiadores panorámicos de almacenamiento en seco de la fuente)

3.2. Un irradiador panorámico de almacenamiento en seco de la fuente es un irradiador de acceso humano controlado en el que la fuente radiactiva está: encerrada en un contenedor seco construido con materiales sólidos, totalmente blindado⁶ cuando no se utiliza y expuesta en una zona que es inaccesible durante la operación mediante un sistema de control de las entradas (figura 1).

3.3. Las instalaciones de almacenamiento en seco de la fuente consisten por lo general en un contenedor de almacenamiento de fuentes radiactivas, integrado o transportable, construido con materiales sólidos. Se utilizan accesorios de inserción, abrazaderas y otros dispositivos para afianzar o mantener en su lugar

⁴ Las cuatro categorías de irradiadores de rayos gamma se han designado tradicionalmente con los numerales romanos I–IV. No hay que confundir las categorías de irradiadores gamma con las categorías recogidas en la Clasificación de las fuentes radiactivas [5] del OIEA, que emplea los numerales arábigos 1–5.

⁵ En este contexto se puede aplicar el término “fuente radiactiva” o bien a una fuente sellada, o bien, colectivamente, a varias fuentes radiactivas que forman un conjunto de fuentes.

⁶ Se entiende por “totalmente blindado” que las condiciones en que se almacena la fuente son tales que se optimizan las tasas de dosis en la sala de irradiación, lo cual permite que la ocupen los trabajadores.

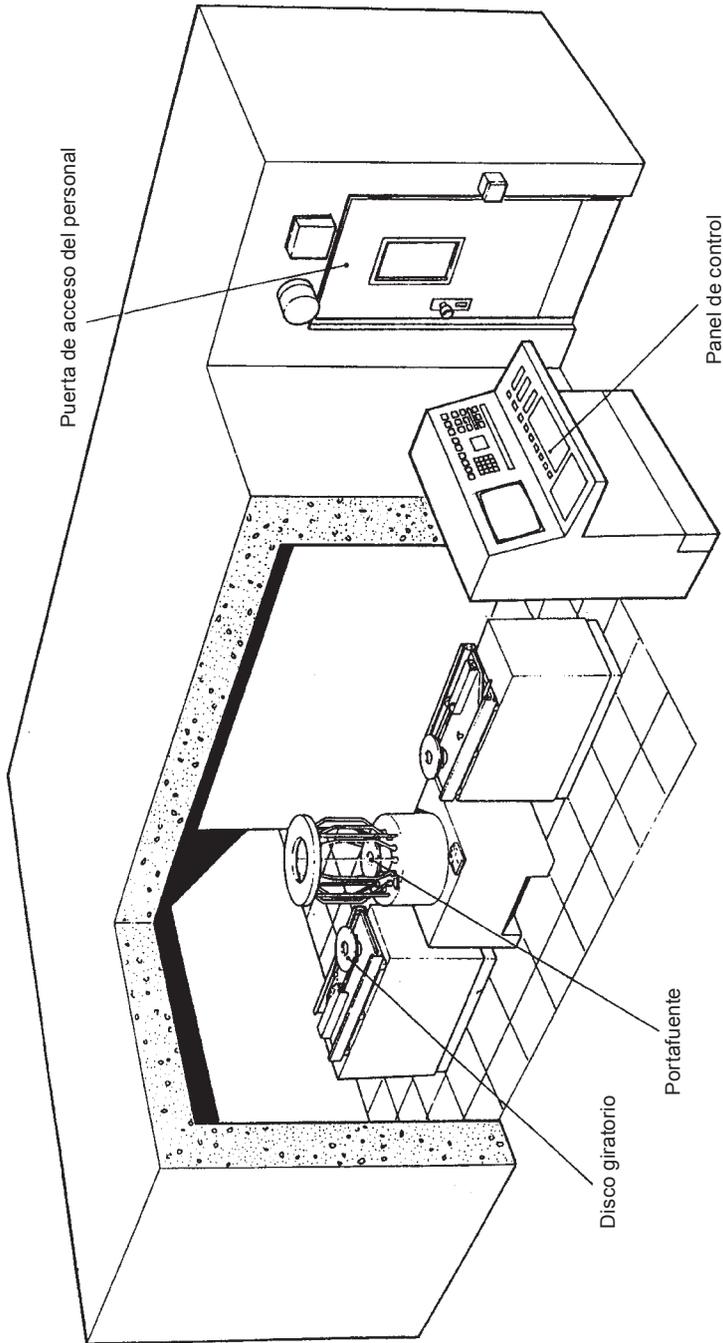


Fig. 1. Instalación de irradiación gamma de categoría II: Irradiador panorámico de almacenamiento en seco de la fuente.

piezas como el portafuente⁷, las barras o cables o cables guía, y diversas tuberías para otros servicios.

3.4. Los componentes de irradiadores que están sometidos a tasas de dosis elevadas deberían ser resistentes a los daños causados por la radiación. Las superficies que se encuentren muy próximas a fuentes radiactivas deberían poder ser descontaminadas fácilmente y estar construidas con materiales resistentes a la corrosión y compatibles metalúrgicamente entre ellos y con otros componentes, incluidas las cápsulas de fuente⁸. El irradiador debería diseñarse de manera que mantuviese la integridad de su blindaje contra la radiación en las condiciones de uso normal, las incidencias operacionales que se prevean y las situaciones de accidente plausibles, por ejemplo, incendios.

Categoría III (irradiadores subacuáticos)

3.5. Un irradiador de blindaje intrínseco con almacenamiento en medio húmedo de la fuente es un irradiador en el que la fuente radiactiva está almacenada en una piscina con agua, la fuente está blindada en todo momento y el acceso de las personas a la fuente y al volumen que se está irradiando está limitado físicamente en su configuración diseñada y su modo de utilización correcto (figura 2).

Categoría IV (irradiadores panorámicos de almacenamiento en medio húmedo de la fuente)

3.6. Un irradiador panorámico de almacenamiento en medio húmedo de la fuente es un irradiador de acceso humano controlado en el que la fuente radiactiva se almacena y blindada totalmente en una piscina llena de agua cuando no se utiliza. La fuente está expuesta en una sala de irradiación que un sistema de control de entradas hace que sea inaccesible cuando está funcionando (figura 3).

INSTALACIONES DE IRRADIACIÓN CON GENERADORES DE RADIACIÓN

3.7. Cabe aplicar una clasificación similar a los irradiadores que utilizan generadores de radiación, siendo los irradiadores de categoría I unidades blindadas

⁷ El portafuente es el componente del irradiador dentro del cual se coloca la fuente radiactiva, comprendidos todos los tornillos, clavijas, grapas de retención, etc.

⁸ La cápsula de la fuente es la envoltura de protección de una fuente sellada que impide fugas de material radiactivo.

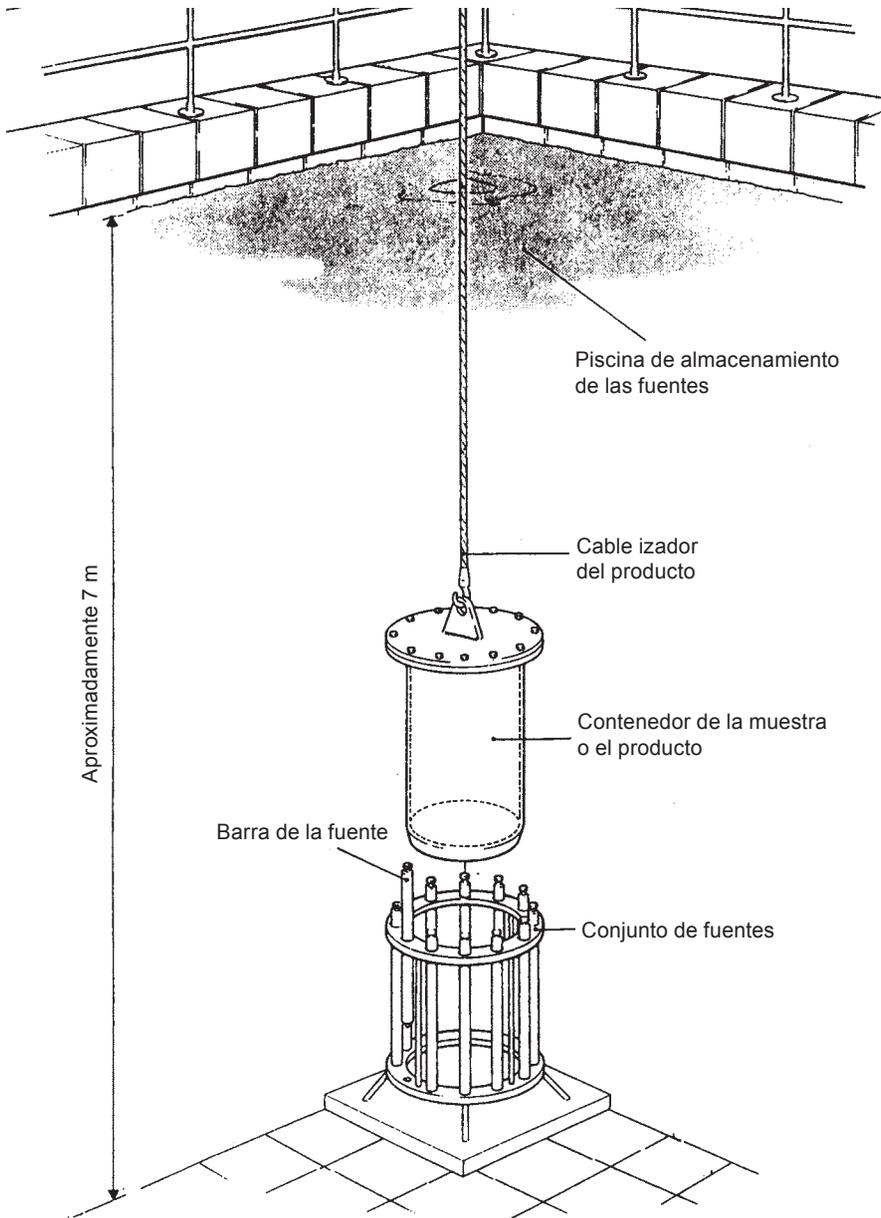


Fig. 2. Instalación de irradiación gamma de categoría III: irradiador subacuático.

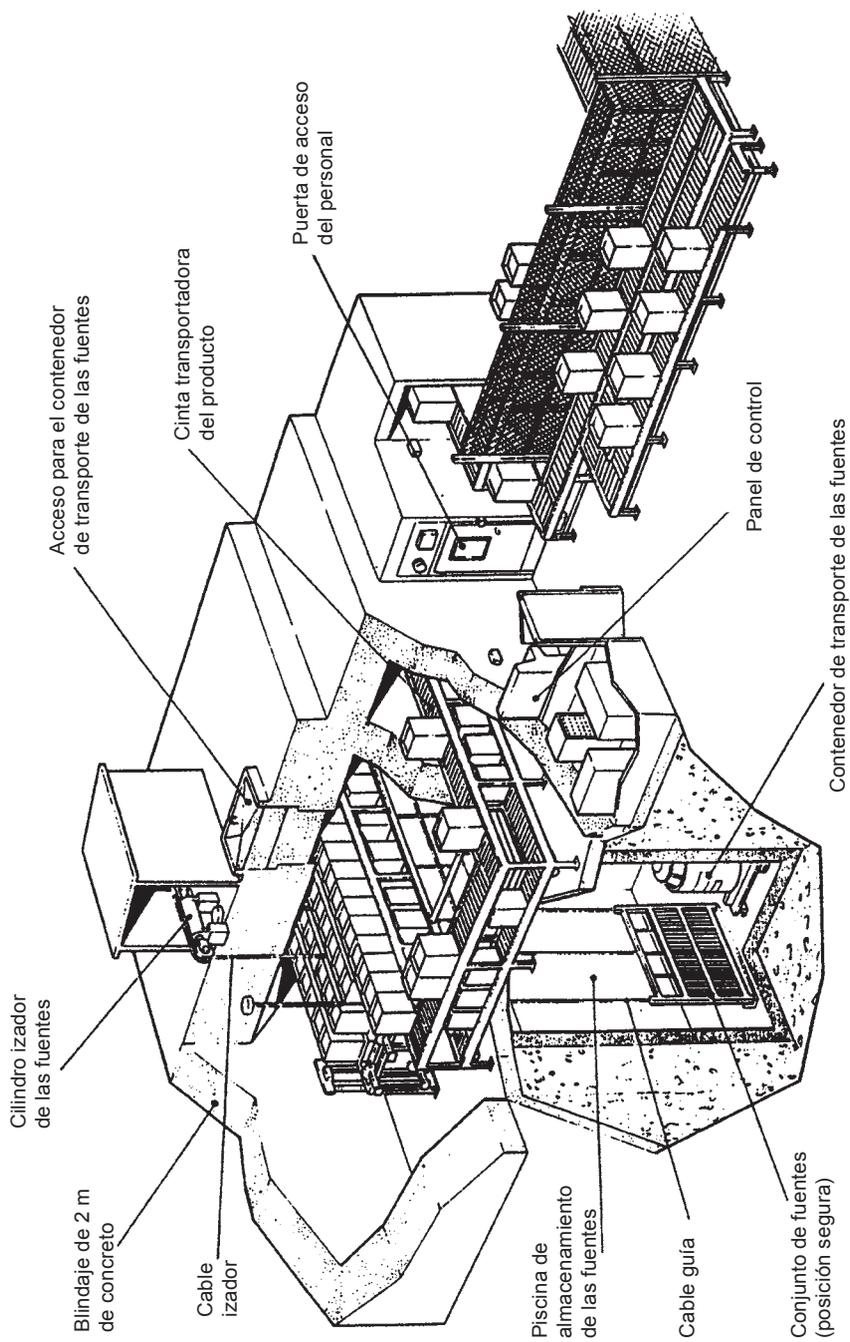


Fig. 3. Instalación de irradiación gamma de categoría IV: Irradiador panorámico de almacenamiento en medio húmedo de la fuente.

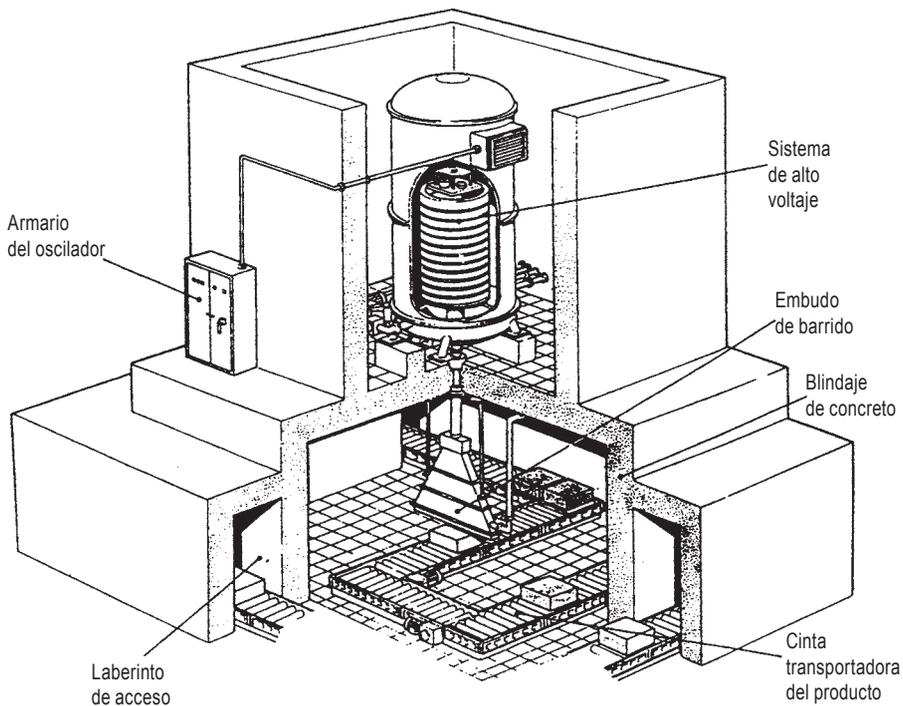


Fig. 4. Instalación de irradiación por haces de electrones de categoría II: La unidad alojada en las salas blindadas es inaccesible durante el proceso de irradiación.

enteramente con circuitos de seguridad (interseguros)⁹. Las instalaciones de irradiación por haces de electrones de categoría I y las instalaciones de irradiación con rayos X no están dentro del alcance de esta Guía de seguridad. Las unidades de categoría II están alojadas en salas blindadas que un sistema de control de la entrada a ellas hace que sean inaccesibles cuando están funcionando (figs. 4 y 5).

3.8. Los irradiadores con generadores de radiación llevan un accesorio que acelera los electrones en un sistema de vacío. Se utiliza el haz de electrones para irradiar directamente un producto o, en los irradiadores con rayos X, se dirige a un blanco para generar rayos X que irradian el producto.

⁹ Un interseguro es un dispositivo concebido para evitar la exposición de una persona, ya sea impidiendo la entrada en la zona controlada, ya sea suprimiendo automáticamente la causa del peligro.

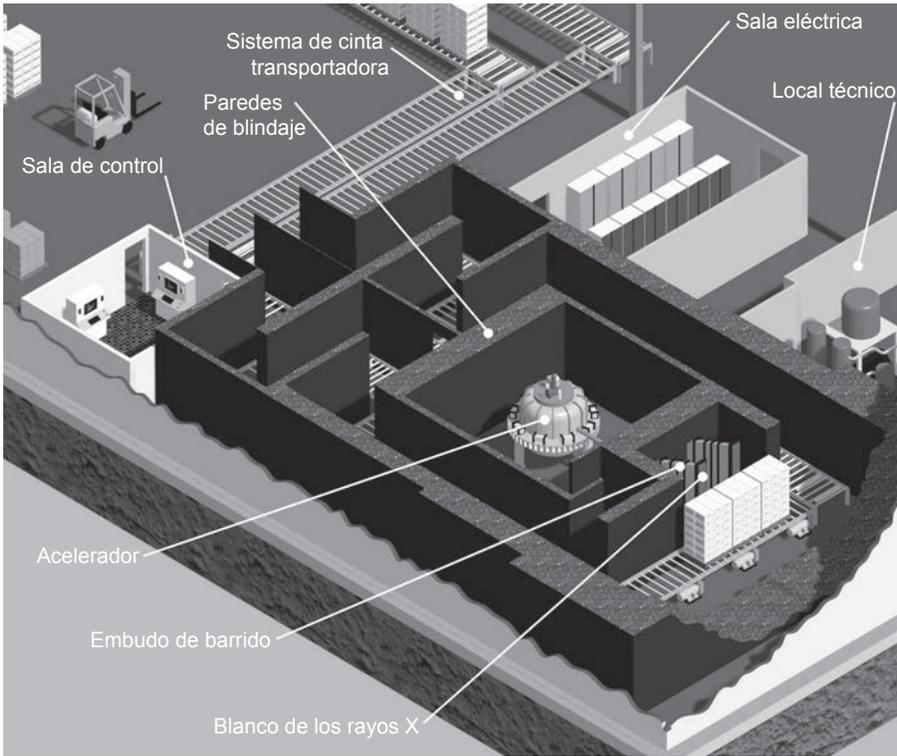


Fig. 5. Instalación de irradiación con rayos X de categoría II: la unidad alojada en las alas blindadas se mantiene inaccesible durante el proceso de irradiación (por cortesía de Sterigenics International).

3.9. Los irradiadores por haces de electrones y los irradiadores con rayos X de categoría II pueden plantear cuestiones en materia de protección radiológica que no atañen a los irradiadores de rayos gamma, con respecto a los campos de irradiación neutrónica y la activación de los materiales. Los umbrales por encima de los cuales esas cuestiones pueden ser de importancia dependen de varios factores, como el material del producto y el material del blanco de los que se trate, pero normalmente solo son significativos en energías superiores a 10 MeV en el caso de los haces de electrones y a 5 MeV en el de los irradiadores con rayos X.

4. PRINCIPALES ELEMENTOS DE LAS PRÁCTICAS

NOTIFICACIÓN Y AUTORIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

4.1. Las NBS [2] prescriben, en sus párrs. 2.10 y 2.11, que la persona u organización que se proponga construir o explotar una instalación de irradiación deberá notificar al órgano regulador su intención de hacerlo y presentar una solicitud de autorización. Dicha solicitud debería contener información que demuestre la seguridad de la práctica. En la Ref. [6] se explica el tipo y la cantidad de información que debería facilitarse en la solicitud. En un suplemento de esa Guía de seguridad [7] figuran directrices específicas sobre la elaboración de una solicitud de autorización de un irradiador, y su examen posterior por el órgano regulador. Conforme exigen las NBS [2], en los párrs. 2.11 y 2.12, habida cuenta de los riesgos que entraña la explotación de un irradiador, la autorización concedida por el órgano regulador debería consistir en una licencia, no en una inscripción en registro.

4.2. La entidad explotadora debería obtener la aprobación del órgano regulador antes de llevar a cabo cualquier modificación del irradiador que pueda tener consecuencias de importancia para la protección radiológica. También habría que ponerse en contacto con el/los fabricante/s del irradiador y de sus fuentes y componentes esenciales, según proceda, a propósito de las modificaciones del irradiador que se tenga intención de efectuar (véase el párr. 9.15).

RESPONSABILIDADES DE LA ENTIDAD EXPLOTADORA

4.3. La dirección de la entidad explotadora es responsable de la explotación y el funcionamiento del irradiador y de su seguridad. En el caso de las nuevas instalaciones, la entidad explotadora obtendrá una licencia del órgano regulador para el emplazamiento, el diseño, la construcción, la adquisición, el almacenamiento y la explotación del irradiador. La entidad explotadora es responsable de la explotación del irradiador de conformidad con los requisitos reglamentarios.

4.4. La entidad explotadora de un irradiador debería velar por que la instalación se diseñe de modo tal que cumpla los objetivos de seguridad radiológica expuestos en los párrs. 4.13–4.16, así como cualesquiera requisitos de seguridad más específicos del órgano regulador relativos a la selección y evaluación del

emplazamiento, la construcción, la instalación, la explotación, el funcionamiento, el mantenimiento y la clausura. Se debería conseguir todo esto:

- Utilizando los servicios de un experto cualificado en seguridad radiológica que esté acreditado conforme a los criterios especificados por el órgano regulador y que sea experto en diseño seguro de instalaciones de irradiación.
- Asegurando que se entreguen los siguientes documentos:
 - Una descripción detallada del diseño y el funcionamiento de los sistemas de seguridad, incluidos diagramas del circuito controlador.
 - Procedimientos de explotación y procedimientos de mantenimiento detallados, comprendidos el tipo y la frecuencia de los controles de seguridad y de los sistemas de control, monitorización radiológica rutinaria y estudios radiológicos.
 - Evaluaciones de la seguridad empleando métodos formales de análisis adecuados al nivel de riesgo que comporte la instalación. Además, la entidad explotadora debería efectuar una evaluación de la seguridad basándose en la información facilitada por el suministrador y las normas administrativas de la entidad explotadora.
 - Las instrucciones y los procedimientos a seguir en caso de emergencia, como se expone a grandes rasgos en la sección 11.

4.5. La entidad explotadora de una instalación de irradiación debería velar por que todos los documentos que proporcionen el fabricante, el suministrador y el instalador (manuales de instrucciones, normas y procedimientos de explotación y procedimientos en caso de emergencia) estén disponibles en el idioma local y que los usuarios los comprenden.

4.6. Las NBS [2], en el párr. IV.23, prescriben que las entidades explotadoras velen por que la información sobre las operaciones tanto normales como anormales, significativas para la protección o seguridad, se difunda o facilite, según proceda, a la autoridad reguladora y a los fabricantes y/o suministradores, conforme especifique el órgano regulador. Esa información abarcaría, por ejemplo, datos sobre el mantenimiento, descripciones de los sucesos, información sobre los defectos de los materiales y el equipo, las fallas de los procedimientos de explotación y las medidas correctoras. La entidad explotadora debería velar por que cualquier nueva información de este tipo que llegue a conocimiento de los fabricantes y suministradores se obtenga de ellos lo antes posible. Podrá ser necesario que la entidad explotadora pida periódicamente esa información al fabricante y/o al suministrador, en lugar de esperar a que ellos la faciliten.

4.7. La entidad explotadora de una instalación debería velar por que las obras de construcción y de instalación no pongan en peligro la seguridad de la instalación. Una vez concluida la instalación, o en los momentos adecuados durante la construcción, la entidad explotadora debería cuidar de que un experto cualificado¹⁰ examinase minuciosa y críticamente la instalación y todas las partes que la constituyan antes de su puesta en servicio. De ese modo se garantizaría que:

- las medidas de seguridad y las señales de advertencia y alarmas han sido instaladas adecuadamente y funcionan correctamente;
- la protección radiológica de los trabajadores y miembros del público y la protección del medio ambiente sean suficientes.

4.8. La entidad explotadora de una instalación debería velar por que el constructor o instalador le proporcionasen información suficiente sobre la manera correcta de explotar, mantener y clausurar la instalación. La entidad explotadora también debería cuidar de que los diseñadores, fabricantes, constructores e instaladores cooperasen para impartir a los empleados la capacitación teórica y práctica necesaria para que puedan trabajar con seguridad.

4.9. La entidad explotadora debería permitir la inspección de sus instalaciones y registros por el órgano regulador.

4.10. La entidad explotadora debería notificar al órgano regulador cualquier modificación que se proponga hacer en el irradiador o cualquier cambio del personal clave, en particular los directivos superiores, el oficial principal de protección radiológica, los expertos cualificados y los operarios del irradiador.

4.11. La entidad explotadora debería notificar al órgano regulador la transferencia o disposición final de las fuentes radiactivas que ya no se utilicen, y presentar el correspondiente plan.

4.12. Al final de la vida útil de la instalación de irradiación, la entidad explotadora debería velar por que: los edificios y el equipo estén libres de sustancias radiactivas y contaminación antes de su disposición final o reventa;

¹⁰ En diversos lugares de esta Guía de seguridad se emplea sin modificación alguna el término “experto cualificado”. Debe entenderse que la persona de que se trata debería ser un experto cualificado en una materia (por ejemplo, la protección radiológica o el diseño y la explotación de instalaciones de irradiación) pertinente para las cuestiones que se describan en cada caso.

se contabilicen fidedignamente todas las fuentes radiactivas¹¹ antes de su devolución al suministrador o de su disposición final de conformidad con los reglamentos nacionales; y se efectúe de conformidad con los requisitos reglamentarios la disposición final de todos los desechos radiactivos a que dé lugar la descontaminación.

RESPONSABILIDADES EN MATERIA DE GESTIÓN Y DE ORGANIZACIÓN

Generalidades

4.13. Las entidades explotadoras deberían proporcionar los recursos humanos y materiales necesarios para garantizar condiciones de trabajo seguras y el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

4.14. Las entidades explotadoras deberían velar por que se tomen en cuenta de forma sistemática todos los aspectos de la protección y la seguridad. Para cumplir este objetivo, las entidades explotadoras deberían establecer y mantener un programa de protección radiológica del que forme parte el compromiso de la dirección de elaborar y promover una cultura de la seguridad que aliente una actitud inquisitiva y de aprendizaje con respecto a la protección y la seguridad y que desaliente el exceso de confianza y la dejadez. El compromiso también debería comprender la asignación de tiempo, personal y equipo suficientes.

Programa de protección radiológica

4.15. El objetivo general de un programa de protección radiológica es poner en práctica la responsabilidad de la dirección en lo relativo a la protección y la seguridad radiológicas mediante la adopción de estructuras de dirección y gestión, políticas, procedimientos y disposiciones en materia de organización acordes con la índole y la magnitud de los riesgos radiológicos. El programa de protección radiológica representa la totalidad de las medidas aplicadas para alcanzar los fines establecidos por la entidad explotadora en materia de protección y seguridad radiológicas. Las dosis recibidas por los trabajadores y miembros del público deberían, pues, mantenerse muy por debajo de los límites de dosis pertinentes que especifican las NBS [2].

¹¹ “Contabilizar” en este contexto quiere decir comprobar materialmente que todas las fuentes radiactivas se encuentran en las ubicaciones en que deben hallarse. Esto se puede realizar mediante un estudio radiológico adecuado.

4.16. La aplicación del principio de optimización debería ser la principal fuerza motriz del establecimiento y la aplicación de los programas de protección radiológica, incluidas en muchos casos medidas para prevenir o reducir las posibles exposiciones y mitigar las consecuencias de accidentes. La existencia de un programa de protección radiológica no basta por sí sola; los gestores y los trabajadores deberían demostrar su compromiso constante con el programa y sus objetivos. En la publicación N° RS-G-1.1 [8] de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* figuran directrices detalladas para establecer y mantener un programa de protección radiológica que se centre en la protección de los trabajadores.

Estructura del programa de protección radiológica

4.17. El programa de protección radiológica puede incluir un documento de política de alto nivel respaldado por procedimientos o “normas locales” detallados y específicos y por un sistema de registros exhaustivo. Esos componentes deberían constar de lo siguiente:

- Un documento de política que especifique:
 - los objetivos;
 - las responsabilidades;
 - la capacitación;
 - la evaluación de la seguridad;
 - la gestión de la calidad.
- Procedimientos y normas locales que abarquen:
 - la explotación (por ejemplo, los procedimientos de control del acceso, puesta en marcha y cierre);
 - el mantenimiento y la carga y descarga de las fuentes radiactivas¹²;
 - el transporte de las fuentes radiactivas (véase la nota 12);
 - la vigilancia radiológica individual;
 - la capacitación;
 - las pruebas de estanqueidad de las fuentes radiactivas (véase la nota 12);
 - el ensayo de los monitores de radiación;
 - los controles habituales efectuados por un oficial de protección radiológica;
 - las auditorías y evaluaciones de la seguridad efectuadas por un experto cualificado;
 - la respuesta a las alarmas visibles y audibles;

¹² Solo se aplica a las instalaciones de irradiación de rayos gamma.

- la presentación de informes y la investigación de los incidentes;
 - la respuesta en caso de emergencia.
- Un sistema de registros que abarque:
- la documentación de la autorización y la correspondencia entre la entidad explotadora y el órgano regulador;
 - el nombre de la persona autorizada responsable del programa de protección radiológica;
 - los informes de las evaluaciones de la seguridad;
 - el diario de funcionamiento;
 - los controles habituales de los sistemas de seguridad efectuados por un oficial de protección radiológica;
 - las dosis individuales (actuales e historial laboral anterior);
 - los resultados de la vigilancia radiológica del lugar de trabajo;
 - los informes de las pruebas de monitorización radiológica;
 - los resultados de las pruebas de estanqueidad de las fuentes radiactivas (véase la nota 12);
 - el inventario de las fuentes radiactivas (véase la nota 12)¹³;
 - los registros de los desplazamientos de las fuentes radiactivas (véase la nota 12);
 - los informes de las investigaciones de los incidentes y accidentes;
 - las auditorías y los exámenes del programa de seguridad radiológica (a cargo de un experto cualificado);
 - la labor de instalación, mantenimiento y reparación;
 - las modificaciones de la instalación;
 - la capacitación impartida (inicial y de actualización);
 - el transporte de las fuentes radiactivas (véase la nota 12):
 - la documentación del transporte;
 - exámenes de la contaminación y exámenes del nivel de radiación;
 - la disposición final o la devolución de las fuentes radiactivas (véase la nota 12);
 - los registros de la capacitación, que deberían comprender la información siguiente:
 - el nombre de la persona que recibió la instrucción o la capacitación;
 - el nombre de la institución o la persona que impartió la instrucción o la capacitación;
 - la fecha y la duración de la instrucción o la capacitación;

¹³ “Inventariar” quiere decir realizar una campaña para controlar materialmente todas las fuentes radiactivas bajo la responsabilidad de una persona u organización, determinando específicamente y singularmente cada una de las fuentes utilizando medios adecuados como el número de serie.

- un resumen o una lista de los temas tratados;
- las calificaciones de los exámenes realizados;
- copias de los certificados de capacitación.

Evaluación de la seguridad

4.18. Para cumplir el requisito del párr. IV.3 de las NBS [2], habría que emplear un método oficial de evaluación de la seguridad como la evaluación probabilista de la seguridad (EPS). Hay ejemplos de la aplicación de las técnicas de la evaluación probabilista de la seguridad a los irradiadores industriales en la ICRP Publication N° 76 [9]. En el N° RS-G-1.10 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* [10] se dan directrices sobre los métodos de la evaluación probabilista de la seguridad.

4.19. En 2003, un proyecto coordinado de investigación del OIEA estudió los beneficios y las limitaciones de la aplicación de las técnicas de evaluación probabilista de la seguridad a las fuentes de radiación. En ese proyecto se aplicaron las técnicas de la evaluación probabilista de la seguridad a un irradiador de rayos gamma de categoría IV. Los resultados del proyecto se expusieron en la publicación IAEA-TECDOC-1494 [11].

4.20. La entidad explotadora debería demostrar al órgano regulador cómo el diseño de la instalación de irradiación y los correspondientes procedimientos operacionales contribuirán a la prevención de accidentes o a la mitigación de los efectos de accidentes. Esta información debería facilitarse en forma de una evaluación documentada de la seguridad que describa y evalúe la respuesta prevista de la planta a incidentes (con inclusión del mal funcionamiento o las averías del equipo que se prevean, las averías debidas a una causa no excepcional y los errores humanos) y sucesos externos que pudieren dar lugar a situaciones de accidente. Esos análisis deberían contener la previsión de combinaciones de esas averías y mal funcionamiento y de esos errores y sucesos.

4.21. Ejemplos de cuestiones que deberían examinarse en la evaluación de la seguridad:

- pérdida del control del acceso;
- mal funcionamiento y averías de estructuras, sistemas y componentes;
- pérdida del control del sistema establecido para el desplazamiento de fuentes radiactivas, incluido un bastidor de la fuente que se quede atascado en la posición no blindada (véase la nota 12);

- pérdida de la integridad de sistemas o componentes, comprendidas la integridad del blindaje, la encapsulación de fuentes selladas y la integridad de la piscina (véase la nota 12);
- fallos de la distribución eléctrica, desde fallos localizados a la pérdida total de fuentes de energía externas;
- averías de los sistemas de seguridad causadas por incendios en la instalación;
- averías de los sistemas de seguridad debidas a causas externas como tormentas, inundaciones, terremotos o explosiones;
- incumplimiento por el personal de los procedimientos correctos y seguros (por el motivo que fuere);
- quebrantamiento de los procedimientos establecidos para impedir el acceso a la instalación de personas no autorizadas;
- quebrantamiento de los procedimientos administrativos que tenga por consecuencia prácticas no seguras;
- detección de contaminación;
- niveles elevados de radiación en ubicaciones en las que no deberían darse.

La verificación de la seguridad

4.22. En los párrafos 2.38–2.40 de las NBS [2] se prescribe que se realicen actividades de vigilancia radiológica y medición de los parámetros necesarios para la verificación del cumplimiento de las normas de seguridad. Las NBS también imponen que se mantenga correctamente el equipo que se utilice para ese fin y que se pruebe y calibre a intervalos apropiados usando como referencia patrones trazables a patrones nacionales o internacionales.

4.23. Las entidades explotadoras deberían llevar a cabo auditorías periódicas para verificar el cumplimiento de los requisitos del órgano regulador. Ahora bien, el órgano regulador tiene la responsabilidad general de velar por que las prácticas realizadas dentro de su jurisdicción no dejen de cumplir los requisitos reglamentarios. Las auditorías que realiza el órgano regulador cuando el irradiador está siendo puesto en servicio, así como a intervalos regulares durante su explotación, deberían formar parte del proceso de verificación. Hay información de carácter general sobre la inspección de las fuentes de radiaciones y la acción coercitiva reglamentaria, con ejemplos de listas de control para la inspección de irradiadores industriales, en IAEA-TECDOC-1526 [12].

El oficial de protección radiológica

4.24. Un oficial de protección radiológica debería ser una persona técnicamente competente en asuntos de protección radiológica de importancia para un tipo determinado de irradiador que designa la entidad explotadora para que supervise el cumplimiento de los requisitos de las normas de seguridad. Los oficiales de protección radiológica desempeñan una función de supervisión que ayuda a la entidad explotadora a desempeñar sus responsabilidades con respecto a la seguridad radiológica. Un oficial principal de protección radiológica debería informar directamente a la dirección superior y disponer de suficiente autoridad para desempeñar sus funciones.

4.25. En los casos en que pudiere darse un conflicto entre las responsabilidades operacionales, por ejemplo las atinentes al cumplimiento de los objetivos de producción y las responsabilidades en materia de seguridad radiológica, deberían ser prioritarios siempre los requisitos de seguridad radiológica. Debería estar disponible siempre, aunque no forzosamente presente físicamente, por lo menos un oficial de protección radiológica. Además de un oficial principal de protección radiológica, las instalaciones de irradiación tendrán muchas veces varios oficiales de protección radiológica que se encuentran en la instalación durante diferentes turnos de trabajo a lo largo del día. La entidad explotadora debería notificar al órgano regulador el nombramiento de los oficiales de protección radiológica de conformidad con los requisitos reglamentarios.

4.26. Si bien el oficial de protección radiológica supervisa la aplicación de las normas de seguridad, la responsabilidad primordial de la seguridad compete a la entidad explotadora. En el párrafo 1.9 de las NBS [2] se dice que la entidad explotadora tiene la obligación primordial de fijar los objetivos de protección y seguridad en conformidad con los requisitos pertinentes prescritos por las Normas de seguridad y de establecer, ejecutar y documentar un programa de protección y seguridad. No se puede delegar esas responsabilidades a los oficiales de protección radiológica ni al experto cualificado. Las funciones de los oficiales de protección radiológica en las instalaciones de irradiación, para algunas de las cuales puede ser necesario consultar al experto cualificado u obtener su asistencia, deberían ser las siguientes:

- asegurar que todos los operarios del irradiador, el personal de mantenimiento, los contratistas y demás personas y organizaciones pertinentes hayan recibido copias de las instrucciones de funcionamiento en el idioma local, y de que hayan leído y entendido y sigan esas instrucciones;
- determinar las zonas controladas y las zonas supervisadas;

- controlar el acceso a las zonas controladas;
- optimizar los controles de la exposición y los dispositivos mecánicos de mantenimiento y demás equipo que contribuya a controlar la exposición de los trabajadores y miembros del público;
- decidir si son precisas algunas restricciones especiales con respecto a la exposición de las empleadas que puedan estar embarazadas;
- organizar pruebas de los monitores de radiación fijos y la calibración y prueba de los detectores de radiación;
- llevar los registros de la fuente radiactiva (véase la nota 12) y los pertinentes registros de capacitación y seguridad;
- realizar estudios radiológicos y monitorizaciones radiológicas rutinarias del medio ambiente;
- supervisar la entrega y la devolución de los dosímetros personales y analizar los resultados de la dosimetría;
- organizar las pruebas reglamentarias de estanqueidad de sustancias radiactivas (véase la nota 12);
- ejecutar un programa de controles de seguridad periódicos de los sistemas de seguridad y las señales de advertencia y alarmas, y de las condiciones generales reinantes en la instalación, conforme se describen en la sección 9;
- servir de enlace con los contratistas, diseñadores y suministradores en lo relativo a cuestiones de protección radiológica y cambios de importancia en aspectos físicos u operacionales de la instalación;
- organizar la capacitación en protección radiológica de los operarios del irradiador, el personal de mantenimiento, los contratistas y demás empleados, según proceda;
- asegurar la adecuación de las evaluaciones de la seguridad y de los planes de contingencia ante cualesquiera incidentes previsibles razonablemente con consecuencias para la protección radiológica;
- organizar ejercicios periódicos para comprobar la aplicación efectiva de esos planes de contingencia;
- investigar todos los incidentes, comprendidos los cuasi accidentes que se produzcan en la instalación, por ejemplo:
 - que cualquiera de los parámetros operacionales sometidos a controles de calidad periódicos esté fuera de los límites normales establecidos para las condiciones operacionales;
 - cualesquiera averías del equipo, accidentes, errores, sucesos o circunstancias extraordinarios que den lugar, o puedan dar lugar, a dosis superiores a los límites de dosis reglamentarios (por ejemplo, el que la fuente radiactiva no logre volver a la posición blindada).

Los operarios de los irradiadores

4.27. Los operarios de los irradiadores son los trabajadores que trabajan más estrechamente con un irradiador determinado y que por lo general tienen la responsabilidad cotidiana de su explotación segura. Solo se debería autorizar a manejar el irradiador a operarios cualificados del mismo.

4.28. El operario cualificado del irradiador debería:

- efectuar un curso de capacitación que sea aceptable para el órgano regulador;
- estar bien informado de los aspectos básicos del diseño, la explotación y el mantenimiento preventivo del irradiador y de los procedimientos escritos que han de seguirse en la explotación normal y el manejo en caso de emergencia del irradiador;
- estar bien informado de la tasa de dosis en todas las zonas en torno al irradiador;
- estar bien informado de los dispositivos que contribuyen a la seguridad física de las fuentes radiactivas, como las cerraduras, los letreros y señales colocados visiblemente, las luces de advertencia, las señales visibles y audibles y los sistemas de interseguros;
- estar bien informado de los instrumentos de detección de radiación y de los requisitos de la monitorización radiológica individual;
- ser capaz de explotar el irradiador de manera segura y llevar los cuadernos y registros de funcionamiento obligatorios;
- estar bien informado de la estructura general de organización de la gestión del irradiador, comprendidas las delegaciones específicas de autoridad y responsabilidad para explotar el irradiador.

Otros trabajadores

4.29. Además de los operarios cualificados del irradiador, la entidad explotadora debería emplear a otros trabajadores que realicen toda una serie de actividades ordinarias: desplazar el producto en y desde la sala de irradiación, tareas de limpieza y orden de los locales que pueden tener consecuencias en la seguridad radiológica y actividades de mantenimiento ordinario. La competencia de esos trabajadores para desempeñar sus tareas con seguridad debería ser verificada por un oficial de protección radiológica.

4.30. Puede haber ocasiones en que otros trabajadores realicen tareas de revisión técnica en una instalación con carácter temporal; por ejemplo, durante

la carga y descarga de fuentes radiactivas, o en respuesta a averías mecánicas (véase la nota 12). La seguridad de esas operaciones depende, en parte, de la cooperación entre los encargados de la protección radiológica en la instalación y quienes realizan las tareas de revisión técnica. En muchos casos, las efectuará el suministrador de la fuente radiactiva o el diseñador del irradiador. Se podrá conceder una autorización específica a entidades externas como el diseñador del irradiador o el fabricante de la fuente radiactiva para que lleven a cabo actividades concretas que no forman parte de la explotación normal de los irradiadores. Ahora bien, en último término la responsabilidad de la seguridad mientras haya fuentes radiactivas en el emplazamiento compete a la entidad explotadora.

Los expertos cualificados

4.31. Un experto cualificado es una persona a la que se reconoce debidamente, en virtud de la certificación de juntas, consejos o sociedades competentes, de licencias profesionales o cualificaciones académicas y de su experiencia, que posee conocimientos en un campo pertinente de especialización, esto es, en física médica, protección radiológica, salud ocupacional, protección contra incendios, garantía de calidad y cualquier otra especialidad de ingeniería o seguridad pertinente.

4.32. La entidad explotadora podrá designar a uno o más expertos cualificados para que asesoren sobre diversas cuestiones atinentes a la seguridad radiológica en el diseño y la explotación de la instalación. Un experto cualificado no tiene que ser necesariamente un empleado a tiempo completo de la entidad explotadora, puede ser empleado a tiempo parcial o en momentos determinados. Sea como fuere, se debería hacer lo necesario para poder obtener el asesoramiento de un experto cualificado cuando se precise. Lo mismo que sucede con el oficial de protección radiológica, la entidad explotadora no puede delegar su responsabilidad en materia de seguridad a un experto cualificado.

4.33. Un experto cualificado debería tener experiencia en cuestiones relativas a la protección radiológica y poseer:

- capacitación teórica que comprenda capacitación en las propiedades de la radiación utilizada en el irradiador;
- un conocimiento pormenorizado de los peligros asociados a la radiación presente y de las maneras de controlarlos y reducirlos al mínimo;
- comprensión y conocimiento detallado de las prácticas de trabajo seguidas en la instalación, así como conocimientos generales de las prácticas de trabajo aplicadas en otras instalaciones similares;

- un conocimiento práctico detallado de todas las disposiciones reglamentarias, los códigos de práctica y las normas de protección aplicables, los materiales de orientación y demás información necesaria para asesorar respecto de la labor que la entidad explotadora realiza con la radiación;
- conocimientos de la legislación que pudiere atañer a la labor con la radiación sobre la que el experto cualificado presta asesoramiento;
- capacidad para asesorar a fin de que la entidad explotadora pueda cumplir los reglamentos y seguir buenas prácticas de protección radiológica;
- capacidad para comunicarse con los trabajadores y sus representantes;
- capacidad para mantenerse al corriente de las novedades que surjan en la utilización de la radiación en el campo en que el experto cualificado presta asesoramiento y de la evolución de la protección radiológica.

4.34. La entidad explotadora debería facilitar al experto cualificado la información y los recursos necesarios para que trabaje con eficacia. La información debería incluir una declaración diáfana del alcance del asesoramiento que se espera que preste el experto.

4.35. La entidad explotadora podrá consultar al experto cualificado sobre una amplia gama de cuestiones relativas a la seguridad radiológica, entre ellas:

- la optimización de la protección y la seguridad;
- el mantenimiento de los dispositivos mecánicos y demás equipo;
- la dosimetría y la vigilancia radiológica;
- la investigación de las exposiciones anormalmente elevadas y de las sobreexposiciones;
- la capacitación del personal;
- la evaluación de la seguridad y las disposiciones de preparación para contingencias;
- el examen de todos los planos de una planta o unos locales nuevos, o de las modificaciones de una planta o unos locales existentes;
- las auditorías independientes de los sistemas de protección radiológica;
- la gestión de la calidad;
- la realización de ejercicios de emergencia;
- la asistencia a raíz de una emergencia.

4.36. Las NBS [2], en su párr. 2.31, prescriben que se designe a expertos cualificados, de cuyos servicios se pueda disponer para que presten asesoramiento sobre la observancia de las normas de seguridad.

4.37. El párrafo 2.32 de las NBS [2] dice que los titulares registrados y los titulares licenciados deberán informar a la autoridad reguladora de las medidas por ellos adoptadas a fin de disponer de los servicios de expertos necesarios para la prestación de asesoramiento sobre la observancia de las normas de seguridad. La información presentada deberá incluir el alcance de las funciones de todo experto cualificado designado.

NORMAS LOCALES

4.38. La entidad explotadora debería velar por que las instrucciones de funcionamiento sean comprendidas plenamente por los operarios cualificados del irradiador y los demás trabajadores. Las instrucciones de funcionamiento deberían abarcar, como mínimo:

- Una descripción de la índole de los peligros que conlleva la instalación y de los dispositivos de seguridad empleados para reducir al mínimo los riesgos.
- Una referencia a la existencia y la ubicación de los procedimientos de emergencia escritos.
- Una descripción de las funciones, los deberes y las responsabilidades con respecto a la seguridad radiológica de las personas clave de la entidad explotadora, comprendidos el experto cualificado y los oficiales de protección radiológica.
- El método para aplicar las instrucciones de funcionamiento y asegurar que la instalación se explota con seguridad. Debería comprender:
 - Una descripción y el calendario de las inspecciones y los procedimientos de pruebas y ensayos para asegurarse de que todos los sistemas de interseguros y componentes asociados al irradiador funcionan correctamente. Deberían especificarse cada elemento de seguridad y la prueba, el control y la inspección adecuados para él.
 - La obligatoriedad de que los procedimientos de explotación estén disponibles en la consola de control y de que los procedimientos de emergencia estén expuestos de manera muy visible.
- El método para asegurar que las personas que penetren en la zona controlada lleven los dispositivos de monitorización radiológica adecuados y se registren los resultados de la monitorización.
- El método para controlar el acceso a la zona controlada y asegurar que únicamente los operarios cualificados del irradiador puedan utilizar el irradiador en los momentos adecuados. Puede consistir en controlar el acceso a las llaves de la consola de mando y a las llaves de la puerta de la sala que contenga la consola de mando, o bien en otros métodos activos

de evitación del acceso. Se deberían controlar las llaves de la consola de mando para asegurar que el operario cualificado del irradiador que penetre en la sala de irradiación tenga la única llave en la zona de operaciones que pueda iniciar la puesta en servicio o dar acceso. Los dobles de las llaves deberían guardarse en un lugar seguro lejos de la proximidad de la sala de control, por ejemplo, en una caja fuerte bajo el control de un directivo superior.

- Instrucciones por escrito con las medidas que se adoptarán en caso de mal funcionamiento. Esas instrucciones deberían designar a las personas a las que se habrá de avisar en caso de que se produzca un mal funcionamiento y describir a grandes rasgos las medidas de corrección que habrá que adoptar. Las medidas de corrección necesarias podrán atañer a aspectos técnicos de los sistemas de seguridad del irradiador que no corresponden a los procedimientos de mantenimiento normal; también podrán requerir la manipulación de herramientas y equipo que podría dar lugar a sobreexposiciones del personal a la radiación. Sólo deberían tratar de aplicar esas medidas de corrección personas capacitadas específicamente y autorizadas para realizar esa tarea, o que estén bajo la supervisión de tales personas. Después de aplicarse esas medidas, ninguna persona debería penetrar sola en la sala de irradiación. La explotación segura de una instalación dependerá de que los operarios cualificados del irradiador sigan procedimientos definidos claramente establecidos por el fabricante o el suministrador y aprobados por el órgano regulador.
- Instrucciones por escrito para asegurar que se mantiene el irradiador conforme a lo prescrito por el fabricante, prestando especial atención a asegurar que todos los componentes del sistema de posicionamiento del producto¹⁴, las cajas de productos y los portaproductos sigan cumpliendo las especificaciones previstas en el diseño. Por ejemplo, habría que asegurar que se utilizan las cajas o los portaproductos correctos y que se mantienen en un estado tal que no causarían una avería o un mal funcionamiento del irradiador.
- Instrucciones por escrito que obliguen al operario del irradiador a llevar un detector de radiación portátil cuando penetre en la sala de irradiación. Se debería utilizar una fuente de verificación para comprobar si el detector de radiación funciona antes de cada entrada en la sala. Tendría que haber un detector similar de recambio para utilizarlo cuando sea necesario calibrar o reparar el monitor.

¹⁴ El sistema de posicionamiento del producto es el medio por el que se mueve el producto en la sala de irradiación y delante de la fuente de radiación para ser irradiado.

- Instrucciones por escrito que prescriban que el operario del irradiador compruebe si todos los indicadores visuales del estado de la planta muestran que se puede entrar con seguridad en la sala de irradiación. Además, se deberían establecer procedimientos para la vigilancia continua de los niveles de radiación con un detector de radiación portátil cuando una persona penetre en la sala de irradiación.

CAPACITACIÓN Y ENSEÑANZA

4.39. Los requisitos en materia de capacitación y enseñanza de los trabajadores deberían ser proporcionales a las funciones y responsabilidades de sus puestos de trabajo con respecto a la explotación del irradiador. Las categorías de trabajadores a los que se imparte capacitación suelen ser las siguientes:

- los directivos que desempeñan funciones ejecutivas;
- los oficiales de protección radiológica;
- los operarios cualificados del irradiador;
- otros trabajadores que puedan tener que entrar en zonas controladas para desempeñar diversas tareas, por ejemplo para desplazar el producto o para el mantenimiento habitual y la limpieza de los locales.

4.40. A las personas que pueden tener que prestar asistencia en caso de emergencia se les debería impartir capacitación para familiarizarlas con la instalación y los peligros a que pueda dar lugar su explotación. Esa capacitación debería abarcar al personal de los servicios de bomberos y policía y las organizaciones médicas.

4.41. Las entidades explotadoras deberían velar por que a las mujeres que puedan penetrar en zonas controladas o zonas supervisadas se les informe de los riesgos para un embrión o feto de la exposición a la radiación y de la importancia de que tan pronto como se sospeche un embarazo se notifique a su empleador.

4.42. Un oficial de protección radiológica y un experto cualificado deberían asesorar sobre las necesidades de capacitación del personal y la mejor manera de satisfacerlas. En muchos casos, un oficial de protección radiológica puede impartir buena parte de la capacitación necesaria.

4.43. Las NBS [2], en su párr. I.4 h), prescriben que los empleadores y las entidades explotadoras deberán cuidar de que, en el caso de todos los trabajadores que sean o podrían ser objeto de exposición ocupacional, se les imparta una “capacitación adecuada en materia de protección y seguridad, así como [...]

readiestramiento y puesta al día que sean menester para asegurar el nivel de competencia necesario”.

4.44. Los trabajadores que podrían estar sometidos a exposiciones ocupacionales deberían ser capacitados en los temas siguientes:

- la naturaleza de la radiación;
- los peligros para la salud debidos a la exposición a la radiación;
- los principios y métodos de protección básicos (por ejemplo, el tiempo, la distancia, el blindaje);
- la medición de los campos de radiación y las unidades de medida;
- las medidas que habrán de adoptarse en respuesta a señales de advertencia y alarmas visibles y audibles;
- las medidas que habrán de adoptarse en caso de emergencia.

4.45. Las NBS [2], en su párr. 2.30 a), prescriben que las entidades explotadoras velen por que “todo el personal del que dependan la protección y seguridad posea la capacitación y cualificación adecuadas para tener plena noción de su responsabilidad y desempeñar sus funciones con el discernimiento debido y con arreglo a los procedimientos definidos”.

4.46. Además de los temas antes descritos, las entidades explotadoras deberían asimismo velar por que los operarios cualificados del irradiador y los oficiales de protección radiológica conozcan y entiendan lo siguiente:

- el funcionamiento del irradiador, incluidos los dispositivos de seguridad;
- los reglamentos aplicables;
- las condiciones de la licencia;
- el programa de protección radiológica;
- los requisitos relativos a la vigilancia radiológica individual y a la vigilancia radiológica de los puestos de trabajo;
- los requisitos sobre contabilidad y control y seguridad física de las fuentes radiactivas;
- los peligros detectados en la evaluación de la seguridad;
- las normas locales;
- los procedimientos a seguir en caso de emergencia;
- historias de casos de accidentes o de problemas que han afectado a irradiadores.

4.47. Las entidades explotadoras deberían preparar y llevar registros de la capacitación inicial y permanente de todos los trabajadores. Esos registros de capacitación deberían contener la siguiente información:

- nombre de la persona que recibió la instrucción o capacitación;
- nombre de la institución o persona que impartió la instrucción o capacitación;
- fecha y duración de la instrucción o capacitación;
- un resumen o una lista de los temas tratados;
- los resultados de los exámenes realizados;
- copias de los certificados de capacitación.

Los registros de capacitación deberían ser comunicados a los destinatarios de la capacitación, especialmente si una persona pasa a trabajar con otro empleador.

5. VIGILANCIA RADIOLÓGICA INDIVIDUAL DE LOS TRABAJADORES

EVALUACIÓN DE LA DOSIS INDIVIDUAL Y MANTENIMIENTO DE REGISTROS

5.1. Los párrafos I.33 y I.34 de las NBS [2] rezan respectivamente como sigue:

“Cuando un trabajador realice normalmente sus actividades en una zona controlada, o trabaje ocasionalmente en una zona controlada y pueda sufrir una exposición ocupacional significativa, deberá ser objeto de vigilancia radiológica individual siempre que ello sea procedente, adecuado y factible.”

“Cuando un trabajador realice habitualmente su actividad profesional en una zona supervisada, o entre solo ocasionalmente en una zona controlada, no deberá ser necesaria su vigilancia radiológica individual, pero deberá evaluarse su exposición ocupacional. Esta evaluación deberá basarse en los resultados de la vigilancia radiológica del puesto de trabajo o bien en la vigilancia radiológica individual.”

5.2. En las instalaciones de irradiación, las zonas controladas deberían comprender:

- irradiadores subacuáticos de rayos gamma (categoría iii): la sala en que se aloja el irradiador;
- irradiadores gamma panorámicos (categorías ii y iv): la sala de irradiación y el tejado de la sala de irradiación;
- irradiadores por haces de electrones (categoría II) e irradiadores con rayos X (categoría II): la sala de irradiación.

5.3. Las zonas siguientes deberían ser designadas zonas supervisadas, a menos que las circunstancias requieran su designación como zonas controladas:

- irradiadores subacuáticos de rayos gamma (categoría iii): la sala de control;
- irradiadores gamma panorámicos (categorías ii y iv): las zonas de entrada y salida del producto y las zonas de servicio como aquella en la que se encuentra el izador del bastidor de la fuente, las salas de tratamiento del agua y la sala de control;
- irradiadores por haces de electrones (categoría II) e irradiadores con rayos X (categoría II): las zonas de entrada y salida del producto, las zonas de servicio, la sala de suministro de electricidad y la sala de control.

5.4. La designación de estas zonas debería revisarse periódicamente y podrá modificarse o prorrogarse durante la instalación inicial, el mantenimiento y las operaciones de carga y descarga de las fuentes radiactivas.

5.5. Un programa de vigilancia radiológica individual de la exposición a radiación externa tiene por finalidad demostrar que se controlan las exposiciones de los trabajadores, proporcionar información para la optimización de la protección y verificar la adecuación de los procedimientos de trabajo. En la publicación N° RS-G-1.3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* [13] se dan directrices para instaurar programas de vigilancia radiológica de la exposición externa, seleccionar los dosímetros apropiados, interpretar los resultados, llevar los registros y gestionar la calidad.

5.6. Los operarios del irradiador, los oficiales de protección radiológica y el personal de mantenimiento que penetre habitualmente en las zonas controladas deberían estar sometidos a vigilancia radiológica individual de las dosis. Esas personas deberían llevar monitores que abarquen todo el cuerpo (por ejemplo, un dosímetro de película, un dosímetro termoluminiscente o un dosímetro luminiscente estimulado ópticamente).

5.7. Los instrumentos y procedimientos para la vigilancia radiológica individual de la exposición de los trabajadores, comprendidos el tipo de dosímetro que se

precise y la frecuencia necesaria de su sustitución, deberían escogerse en consulta con un oficial de protección radiológica o un experto cualificado, de conformidad con los requisitos del órgano regulador. Los dosímetros debería suministrarlos y procesarlos un laboratorio o una empresa que haya autorizado el órgano regulador y que se pueda trazar a un laboratorio de calibración dosimétrica aprobado por el órgano regulador.

5.8. La entidad explotadora debería adoptar las disposiciones precisas para asegurar que se lleven registros de dosis de cada uno de los trabajadores de la manera que se especifique en los requisitos reglamentarios. Las entidades explotadoras deberían velar por que se entreguen los registros de dosis personales a los trabajadores cuando terminen su contrato de trabajo y por que estén a disposición de las personas en otros momentos.

5.9. Las entidades explotadoras deberían elaborar procedimientos que describan la manera como se administrarán los dosímetros personales, procedimientos que deberían comprender lo siguiente:

- el pedido y la recepción de los dosímetros del laboratorio de dosimetría;
- la distribución de los dosímetros a los trabajadores bajo vigilancia radiológica;
- la recogida de los dosímetros y su envío al laboratorio de dosimetría para su análisis;
- el examen y el mantenimiento de los registros de dosis.

5.10. Las entidades explotadoras deberían dotarse de instalaciones de almacenamiento adecuadas para los dosímetros personales que no se utilicen; esas instalaciones de almacenamiento tendrían que proteger los dosímetros de la exposición involuntaria a la radiación y de condiciones ambientales negativas como temperaturas extremas y/o humedad. No se deberían almacenar los dosímetros personales cerca de todas las zonas en que las tasas de dosis están por encima de los niveles naturales normales. Los dosímetros no deberían ser sometidos a sistemas de inspección de correo que utilizan rayos X.

5.11. Los trabajadores bajo vigilancia radiológica deberían estar obligados a cuidar sus dosímetros y a adoptar precauciones para protegerlos contra pérdidas, robos, manipulación o daños y contra la exposición involuntaria a radiaciones. Los trabajadores deberían devolver los dosímetros con prontitud cuando concluya el período determinado en que debieron llevarlo. Los trabajadores deberían informar a un oficial de protección radiológica sin demora si ha desaparecido un

dosímetro o ha resultado dañado, o si ha estado expuesto a radiación cuando no lo llevaba nadie.

5.12. Si se perdiese un dosímetro, las entidades explotadoras deberían tomar todas las medidas razonables para recuperarlo. Si no se logra localizar el dosímetro, las entidades explotadoras deberían llevar a cabo una investigación y redactar un informe en el que figure un cálculo de la dosis que haya recibido el trabajador durante el correspondiente período. En algunos Estados Miembros, puede ser necesario solicitar la aprobación de los órganos reguladores antes de anotar esos cálculos en el registro de dosis de una persona.

INVESTIGACIÓN DE LAS DOSIS

5.13. La entidad explotadora debería ordenar a los trabajadores que si saben o sospechan que han sido expuestos a una radiación elevada, lo comuniquen inmediatamente a un oficial de protección radiológica. Si esa persona llevaba un dosímetro personal, se debería enviarlo de inmediato al laboratorio de dosimetría, informando al laboratorio de la urgencia del caso.

5.14. Un oficial de protección radiológica debería inspeccionar los resultados de las lecturas de los dosímetros personales y determinar si se han señalado algunas dosis imprevistamente elevadas y si las personas mantienen sus dosis todo lo bajas que sea razonablemente alcanzable, habida cuenta de su volumen de trabajo y de las limitaciones impuestas en cuanto a las dosis.

5.15. La entidad explotadora debería realizar una investigación oficial, conforme a lo prescrito por el órgano regulador, cada vez que la dosis registrada sobrepase el nivel de investigación. La investigación debería iniciarse lo antes posible después del suceso y se tendría que elaborar un informe escrito sobre su causa, en el que tendrían que figurar la determinación o verificación de las dosis recibidas, los pormenores de las medidas de corrección o mitigación e instrucciones o recomendaciones para evitar que se repita el suceso.

5.16. El informe debería entregarse a todas las partes interesadas en el plazo adecuado prescrito por el órgano regulador.

6. VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE LOS PUESTOS DE TRABAJO

6.1. Las NBS [2] prescriben, en sus párrs. I.37–I.39, que:

“Los titulares registrados y los titulares licenciados, en cooperación con los empleadores si procede, deberán establecer, conservar y mantener bajo revisión un programa de vigilancia radiológica de los puestos de trabajo, con la supervisión de un experto cualificado y de un oficial de protección radiológica si así lo prescribe la autoridad reguladora.

La naturaleza y frecuencia de la vigilancia de los puestos de trabajo deberá:

- a) ser suficiente para permitir:
 - i) la evaluación de las condiciones radiológicas existentes en todos los puestos de trabajo;
 - ii) la evaluación de la exposición en las zonas controladas y en las zonas supervisadas; y
 - iii) el examen de la clasificación de las zonas controladas y supervisadas; y
- b) depender de los niveles de dosis equivalente ambiental y de concentración de la actividad, cuenta habida de las fluctuaciones previstas y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.

Los programas de vigilancia radiológica de los puestos de trabajo deberán especificar:

- a) las magnitudes que han de medirse;
- b) dónde y cuándo han de efectuarse las mediciones y con qué frecuencia;
- c) los métodos y procedimientos de medición más apropiados; y
- d) los niveles de referencia y las medidas a adoptar, si son rebasados.”

6.2. Para evaluar y controlar la exposición ocupacional, es necesario conocer las tasas de equivalente de dosis de las diversas zonas de trabajo. Los estudios radiológicos de los puestos de trabajo tienen por objeto principal proporcionar información sobre las tasas de dosis en esas zonas. Esta información se utilizará para designar la zona como zona controlada o zona supervisada y para adoptar decisiones sobre su ocupación.

DETECTORES DE RADIACIÓN Y MONITORES DE RADIACIÓN

6.3. En la publicación N° RS-G-1.3 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* [13] se dan directrices sobre la selección del instrumento adecuado para efectuar estudios radiológicos de una aplicación dada. También figuran directrices en la publicación del OIEA *Practical Radiation Technical Manual on Workplace Monitoring for Radiation and Contamination* [14].

6.4. En cuanto a los detectores de radiación portátiles, los criterios generales son la portabilidad (por ejemplo, el peso, el tamaño y la configuración física), la resistencia a condiciones duras, la facilidad de uso y de lectura, la facilidad de efectuar las revisiones técnicas y la fiabilidad. Deberían proporcionarse detectores de radiación portátiles de rayos X y gamma. En las instalaciones de haces de electrones que funcionan por encima de 10 MeV y en las de rayos X que lo hacen por encima de 5 MeV, también podrá ser obligado monitorizar los neutrones. Los detectores de radiación que se utilicen deberían ser capaces de indicar claramente las tasas de dosis encontradas durante la explotación normal del irradiador y tener un comportamiento satisfactorio en caso de sobrecarga. Téngase en cuenta que algunas cámaras de ionización también podrían responder a las radiaciones de radiofrecuencia y que es posible que arrojen falsas lecturas en exámenes efectuados en instalaciones de aceleradores.

6.5. Algunos detectores de radiación que utilizan un detector Geiger-Müller, especialmente los instrumentos anticuados, dan una lectura cero cuando se ha saturado el detector Geiger-Müller, lo cual ha sido un factor concurrente de que haya habido personas que han penetrado en zonas con niveles de radiación elevados por creer que la lectura cero del detector de radiación indicaba que la situación era segura. Todo detector de radiación que se utilice para mediciones del nivel de radiación externa en un irradiador debería ser de un tipo que no arroje una lectura cero al saturarse. Esta condición tiene especial importancia en los instrumentos que se lleven a la sala de irradiación para verificar si la fuente radiactiva está totalmente blindada.

6.6. En general, las siguientes observaciones se aplican a la selección de los instrumentos para una instalación de irradiación:

- Los detectores de estado sólido, en especial los detectores de yoduro de sodio, son adecuados para detectar niveles de radiación bajos como los que se podrían encontrar al efectuar la vigilancia radiológica de la contaminación del agua de la piscina de almacenamiento de la fuente (véase la nota 12). En cambio, los detectores de yoduro de sodio en general

son inadecuados para efectuar mediciones de tasas de dosis, a causa en gran parte de su dependencia de alta energía.

- Los detectores Geiger–Müller de discos han sido concebidos para la respuesta beta y son adecuados para los estudios de la contaminación. En cambio, su escasa eficiencia con respecto a la radiación de rayos gamma hace que sean inadecuados para mediciones de tasas de dosis, por ejemplo, en estudios del blindaje del irradiador.
- Los detectores Geiger–Müller de ventana lateral son en general adecuados para mediciones de tasas de dosis, pero su relativa insensibilidad a la radiación beta hace que no sean adecuados para estudios de la contaminación.
- Los detectores de radiación que utilizan cámaras de ionización y los detectores Geiger–Müller de energía compensada son adecuados para mediciones de tasas de dosis, pero suelen ser menos sensibles que los detectores Geiger–Müller de ventana lateral.

6.7. Las instalaciones de irradiación también utilizan monitores de la radiación que son fijos en lugar de portátiles. Concretamente, las aplicaciones para instrumentos fijos son como los monitores de la sala de irradiación y los monitores de contaminación del agua de la piscina de almacenamiento (véase la nota 12). Esos instrumentos están fijos en un lugar y no se utilizan para efectuar estudios radiológicos; deberían, en cambio, utilizarse esos aparatos como indicadores “pasa–falla”. Es decir, que si el nivel de radiación llega a un punto predeterminado, el instrumento activa una situación de alarma. En esta aplicación, no se cuantifican las tasas de exposición ni los niveles de contaminación.

6.8. Los criterios para seleccionar monitores de radiación fijos son similares a los criterios para seleccionar monitores portátiles, a los que hay que sumar las siguientes consideraciones:

- *Nivel de saturación.* Los monitores de la sala de irradiación están concebidos para detectar niveles de radiación elevados si se produce un accidente (por ejemplo, niveles de radiación elevados cuando se espera que las fuentes radiactivas estén en la posición totalmente blindada o que el haz de electrones esté apagado). Otros monitores de radiación fijos han sido concebidos para detectar niveles de radiación elevados donde el producto sale de la sala de irradiación (véase la nota 12), que pueden indicar que se ha desplazado material radiactivo y que está siendo sacado de la sala de irradiación. En tales situaciones, los niveles de radiación elevados en condiciones de fallo o avería pueden saturar y tal vez dañar el detector hasta el punto de volverlo inutilizable. La selección de un detector para

esas aplicaciones deberían tener en cuenta el nivel de radiación al que se saturará el detector y las posibles consecuencias sobre los aparatos de monitorización y los sistemas de seguridad en caso de que se produzca una situación de fallo. Obsérvese que si el instrumento falla en tales condiciones, eso no significa forzosamente que ese detector concreto sea inadecuado para esa utilización. Si el sistema ha sido concebido “a prueba de fallos”, de manera que un fallo o avería del detector produzca el mismo resultado que una lectura que arroje cifras de radiación elevadas (es decir, impide el acceso a la sala de irradiación), el instrumento podrá cumplir su finalidad aunque el detector esté dañado.

- *Sensibilidad del monitor de contaminación del agua de la piscina.* Para vigilar la contaminación del agua de la piscina de almacenamiento (véase la nota 12) es necesario utilizar un instrumento sensible que detecte la contaminación al nivel más bajo posible para reducir al mínimo la posible difusión de la contaminación. Para ello, normalmente se utilizan detectores de estado sólido, sobre todo detectores de yoduro de sodio. Para calcular la sensibilidad que se precisará, se debería tener en cuenta el diseño del sistema de monitorización radiológica del agua de la piscina. Si se recogiese y monitorizase el agua, harían falta instrumentos más sensibles, por ejemplo, un detector de yoduro de sodio de 5,1 cm × 5,1 cm (2 pulgadas × 2 pulgadas). Si se evalúa la contaminación del agua en puntos de monitorización del sistema de tratamiento del agua en los que sería de prever que se acumulase la contaminación, puede ser apropiado un detector menos sensible, por ejemplo, un detector de yoduro de sodio de 2,54 cm × 2,54 cm (1 pulgada × 1 pulgada).

MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN

6.9. Los detectores de radiación portátiles deberían ser calibrados antes de su primera utilización, después de haber sido reparados y a los intervalos que se especifique en los requisitos reglamentarios. La prueba previa a la primera utilización tendría que comprender una prueba del comportamiento del instrumento en caso de sobrecarga; es decir, que se debería probar el instrumento para verificar que funcionará correctamente hasta la máxima tasa de dosis previsible.

6.10. Una vez efectuada la calibración, habría que poner una pegatina informativa en el instrumento, con el nombre de la entidad que haya efectuado la prueba, el número del certificado de la prueba, la fecha de la misma o la fecha en que se realizará la siguiente prueba, según proceda. Debería realizar las pruebas una

entidad que mantenga campos de radiación de referencia trazables a un organismo nacional de normalización.

6.11. Los instrumentos de monitorización radiológica fijos no están calibrados en el mismo sentido que los detectores de radiación. Como su funcionamiento es “a prueba de fallos”, los instrumentos fijos deberían ser sometidos a pruebas operacionales periódicas para asegurar que conservan la capacidad de responder a niveles de radiación significativos. Por ejemplo, se podrán utilizar mensualmente fuentes de verificación para verificar si el monitor de radiación de la sala de irradiación y el monitor de contaminación del agua de la piscina (véase la nota 12) responden adecuadamente. En algunas aplicaciones, como el empleo de un analizador de un solo canal para monitorizar la contaminación del agua de la piscina, habría que calibrar periódicamente el instrumento para asegurar que sigan siendo aplicables el voltaje y la configuración de las ventanas del detector.

6.12. En la publicación N° 16 de la *Colección de Informes de Seguridad* [15] hay más información sobre el establecimiento y el funcionamiento de las instalaciones de calibración de instrumentos para realizar estudios radiológicos y los procedimientos de calibración recomendados.

USO DE LOS DETECTORES DE RADIACIÓN

6.13. Los detectores de radiación se utilizan para evaluar las condiciones radiológicas reinantes en los puestos de trabajo, especialmente en las siguientes situaciones:

- *Estudio del blindaje.* Antes de que comience la explotación de la instalación, se debería realizar un estudio radiológico de la zona fuera del blindaje de la sala de irradiación, con las fuentes radiactivas en la posición expuesta si se trata de un irradiador panorámico, o con el haz de electrones a plena potencia en el caso de un irradiador por haces de electrones. Habría que efectuar estudios adicionales de la zona situada fuera del blindaje a intervalos no superiores a tres años, y antes de reanudar las operaciones tras la introducción de nuevas fuentes radiactivas o después de cambios en la orientación, la energía o la potencia del haz de electrones. Cualquier modificación de la estructura del blindaje de la sala de irradiación que pudiese aumentar la tasa de dosis también requiere un estudio adicional.
- *Estudios de la piscina de almacenamiento o del contenedor de almacenamiento.* En los irradiadores gamma, se debería realizar un estudio radiológico inicial de la zona situada sobre la piscina de almacenamiento

o el contenedor del almacenamiento seco de la fuente. El examen debería efectuarse después de que se hayan cargado las fuentes radiactivas pero antes de que se inicie la explotación de la instalación.

- *Estudios del nivel de radiación con posterioridad al cierre.* Las tasas de dosis pueden ser temporalmente elevadas en las instalaciones de irradiación por haces de electrones y las instalaciones de irradiación con rayos X incluso después de que se haya parado la instalación, debido a la corriente oscura¹⁵ y a la presencia de productos de activación en el acelerador, el blindaje y el equipo auxiliar del proceso (por ejemplo, el interruptor del haz o el sistema de posicionamiento del producto). Habría que efectuar estudios del nivel de radiación en esas zonas antes de que se autorice a entrar al personal.
- *Exámenes de la contaminación.* La finalidad de los exámenes de la contaminación es detectar la contaminación resultante de los productos de activación en las instalaciones de haces de electrones y de rayos X para impedir su propagación. Los estudios de la contaminación deberían realizarse en conformidad con las normas de la industria. En los estudios cuyos resultados deben ser registrados y comparados con los resultados de estudios anteriores o futuros, debería asegurarse la coherencia del procedimiento del estudio.

De producirse un cambio aparente en los niveles de contaminación que no se pueda atribuir a causas conocidas, se tendría que realizar una evaluación para determinar la causa. Esa evaluación puede consistir en:

- verificar si los instrumentos utilizados para los estudios funcionan correctamente;
- repetir el estudio para verificar el cambio aparente de los niveles de contaminación;
- realizar estudios con más frecuencia;
- consultar al suministrador de la fuente radiactiva.

6.14. Deberían efectuarse estudios en distintos lugares de la instalación y a los intervalos que aconseje un experto cualificado o un oficial de protección radiológica. Esos estudios deberían efectuarse para confirmar la situación de las

¹⁵ El término “corriente oscura” se refiere a la situación en que un acelerador genera radiación cuando no hay corriente que fluye hacia el cátodo, pero se sigue aplicando el voltaje de aceleración (es decir, un voltaje alto). Se puede seguir emitiendo y acelerando electrones del cátodo frío, lo que da lugar a un haz de electrones, aunque no haya corriente que fluya al cátodo.

zonas controladas y las zonas supervisadas y para indicar cualquier fallo en el control de la fuente de radiación.

6.15. Un operario del irradiador debería efectuar la entrada inicial en la sala de irradiación, utilizando un detector de radiación portátil para determinar los niveles de radiación ambiental. Debería comprobarse el correcto funcionamiento del detector portátil antes de cada entrada en la sala de irradiación utilizando una fuente de verificación (por ejemplo, 1×10^4 Bq (0,27 μ Ci) de cesio 137) situada cerca de la puerta de la sala de irradiación.

6.16. Cuando se permita a visitantes entrar en la sala de irradiación, se les debería dotar de un dosímetro personal. El operario cualificado del irradiador que haya efectuado el reconocimiento radiológico de la zona inmediatamente antes de la visita debería acompañar a todos los visitantes.

REGISTROS DE LOS ESTUDIOS RADIOLÓGICOS

6.17. Las NBS [2] rezan, en su párr. I.40, que:

“Los titulares registrados y los titulares licenciados, en cooperación con los empleadores si procede, deberán mantener registros apropiados de las conclusiones del programa de vigilancia radiológica de los puestos de trabajo, conclusiones que se pondrán en conocimiento de los trabajadores, por medio de sus representantes cuando así proceda.”

6.18. Los informes sobre los niveles de radiación deberían contener la siguiente información:

- la fecha del estudio;
- la identificación del irradiador (fabricante, número del modelo y número de serie);
- la ubicación del irradiador;
- información sobre la fuente de radiación del irradiador (rayos x o bien haz de electrones) y la intensidad de la fuente en el caso de los generadores de radiación, o la actividad calculada y el radionucleido empleado si se trata de instalaciones gamma;
- información sobre el instrumento del estudio (fabricante, número del modelo y número de serie);
- fecha de calibración del instrumento del estudio;

- los factores de corrección, sustracción de la radiación de fondo, conversiones u otros cálculos respecto del instrumento del estudio, si se han utilizado;
- nombre de la persona que realiza el estudio;
- niveles de radiación y las correspondientes ubicaciones fuera del blindaje, cuando se utiliza la fuente de radiación y cuando la fuente radiactiva está totalmente blindada o los rayos x o el haz de electrones están inactivos;
- niveles de radiación y las correspondientes ubicaciones en la sala de irradiación cuando la fuente radiactiva está totalmente blindada o bien los rayos x o el haz de electrones están inactivos;
- todas las medidas adoptadas basándose en la información que haya arrojado el estudio.

6.19. La entidad explotadora debería llevar registros de contaminación en la instalación. Esos registros tendrían que estar a disposición del órgano regulador para que este los inspeccione. En general, esos estudios deberían realizarse rutinariamente únicamente en las instalaciones de irradiación con rayos X y gamma en las que los campos neutrónicos pudieren dar lugar a productos de activación.

6.20. Los informes sobre contaminación deberían contener la siguiente información:

- la fecha del estudio;
- la identificación del irradiador (fabricante, número del modelo y número de serie);
- la ubicación del irradiador;
- información sobre la fuente de radiación del irradiador (rayos x o bien haz de electrones) y la intensidad de la fuente en el caso de las fuentes producidas con máquinas, o la actividad calculada y el radionucleido empleado si se trata de instalaciones gamma;
- información sobre el instrumento del estudio (fabricante, número del modelo y número de serie);
- fecha de calibración del instrumento del estudio;
- los factores de corrección, sustracción de fondo, conversiones u otros cálculos respecto del instrumento del estudio, si se han utilizado;
- nombre de la persona que realiza el estudio y/o análisis;
- niveles de contaminación y las correspondientes ubicaciones;
- causa de la contaminación, de conocerse;
- todas las medidas adoptadas basándose en la información que haya arrojado el estudio.

7. CONTROL DE LAS FUENTES RADIATIVAS

7.1. Las NBS [2], en su párr. 2.34, prescriben que:

- a) “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 párrs. 2.7–2.9), 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 [...]”.

7.2. En el Código de Conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [16] se formulan recomendaciones a los Estados refrendadas internacionalmente sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes de categorías 1, 2 y 3.

7.3. El objetivo primordial de la seguridad radiológica en las instalaciones de irradiación es controlar la exposición a la radiación emitida por las fuentes de radiación y debería alcanzarse mediante el empleo del blindaje para atenuar la radiación y el control del acceso con la colocación de barreras físicas, sistemas de seguridad tecnológica y la aplicación de procedimientos. Los aspectos de seguridad tecnológica y de seguridad física del control de las fuentes radiactivas están interrelacionados y muchas de las medidas concebidas para mejorar una también mejorarán la otra.

7.4. Por este motivo, muchas de las medidas descritas en esta Guía de seguridad, por ejemplo en la sección 4 (que trata de las normas locales, los procedimientos y las funciones del personal en lo relativo al control del acceso a las zonas controladas) y en la sección 8 (sobre los blindajes contra la radiación, las puertas, los interseguros, los monitores de radiación fijos y las llaves de acceso), cuya finalidad principal es limitar la exposición a la radiación, también contribuirán a la seguridad física de las fuentes radiactivas. En cuanto a las fuentes radiactivas que están en uso, las disposiciones de esta Guía de seguridad para controlar las

exposiciones dimanantes de fuentes radiactivas deberían bastar para asegurar su control ante quebrantamientos involuntarios o no autorizados de la seguridad física que no tengan carácter doloso. Figuran más directrices sobre la seguridad física de las fuentes radiactivas en la publicación N° 11 de la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA [17].

7.5. La seguridad física de las fuentes radiactivas que no están en uso suscita especial preocupación. El grado de control que se aplique a las fuentes radiactivas que están almacenadas temporalmente en embalajes para el transporte u otros contenedores blindados no debería ser inferior al grado de control de las fuentes que estén en uso. En determinadas circunstancias, cabe considerar vulnerables a las fuentes radiactivas en desuso presentes en una instalación de irradiación. El almacenamiento de fuentes radiactivas en desuso en una instalación que ya no funciona es un caso especial porque puede que ya no haya personal de manera habitual en la instalación. Habrá, pues, que prescribir que se tome en cuenta la presencia intermitente de personal para garantizar que se guarden en condiciones de seguridad física esas fuentes radiactivas en desuso. En todos los casos en que haya que dar destino a fuentes radiactivas en desuso, se debería estudiar cuidadosamente la posibilidad de llevar las fuentes en desuso a una instalación de almacenamiento o de disposición final, o a cualquier otro destinatario autorizado, por ejemplo, el fabricante.

7.6. Las NBS [2] prescriben que las entidades explotadoras velarán por que “no se efectúe la transferencia de una fuente a no ser que el destinatario posea una autorización válida” (párr. 2.34 b)). Antes de transferir una fuente radiactiva a otra entidad, la entidad explotadora debería comprobar si el destinatario previsto tiene una autorización válida para poseer fuentes. Cuando se transfieran fuentes radiactivas entre Estados, se deberían seguir las recomendaciones pertinentes del Código de Conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [16] y las Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas [18] que las respaldan.

7.7. Las fuentes radiactivas perdidas, robadas o desaparecidas deberían ser puestas en conocimiento del órgano regulador en conformidad con los requisitos reglamentarios.

8. DISEÑO DE LOS IRRADIADORES

8.1. Las instalaciones de irradiación deberían diseñarse de manera que cumplan los requisitos establecidos en los párrs. 2.24 y 2.25 de las NBS [2], según los cuales la protección y seguridad deberán optimizarse de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de sufrir exposiciones se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales. Los requisitos aplicables al diseño de instalaciones de irradiación y sus fuentes de radiación se encuentran en los Requisitos Principales de las NBS, relativos a la seguridad física de las fuentes radiactivas (párr. 2.34), la defensa en profundidad (párr. 2.35) y la buena práctica tecnológica (párr. 2.36). Las responsabilidades de la entidad explotadora y de los suministradores con respecto al diseño de instalaciones de irradiación se especifican en los párrs. IV.8– IV.14 de las NBS. En el resto de la sección 8 de esta Guía de seguridad se formulan recomendaciones específicas sobre la aplicación de los requisitos de las NBS al diseño de instalaciones de irradiación.

IRRADIADORES GAMMA, POR ELECTRONES Y CON RAYOS X

Diseño interno

8.2. Todo el equipo que esté en la sala de irradiación de una instalación de irradiación –comprendidos el cableado, los aparatos eléctricos, los avisos y la iluminación– debería seleccionarse de manera que se reduzcan al mínimo las averías debidas a la exposición prolongada a la radiación.

Sistema de posicionamiento del producto

8.3. El funcionamiento incorrecto del sistema de posicionamiento del producto puede desplazar o dañar la fuente de radiación, con el consiguiente peligro radiológico. Se debería monitorizar el correcto funcionamiento de la cinta transportadora del producto, y cualquier mal funcionamiento debería hacer que el bastidor de la fuente radiactiva regresase automáticamente a la posición totalmente blindada o que se desconectase el haz de electrones.

Temporizador de los movimientos del producto

8.4. Se debería utilizar un temporizador para vigilar los movimientos del producto delante de la fuente de radiación. Si el producto no se moviese en el

intervalo temporal predeterminado, el bastidor de la fuente debería volver automáticamente a la posición totalmente blindada o se debería desconectar el haz de electrones, se debería parar el sistema de posicionamiento del producto y se deberían generar señales visibles y audibles para alertar al operario del irradiador del mal funcionamiento. Este dispositivo ayuda a evitar el recalentamiento del producto, que podría provocar un incendio.

Blindaje

8.5. Debería atenuarse a niveles optimizados, mediante el uso del blindaje adecuado, la exposición directa a la radiación de los trabajadores y miembros del público debida a la explotación de instalaciones de irradiación. A menudo se utiliza concreto para construir el blindaje de la sala de irradiación, pero también se pueden utilizar otros materiales como relleno de tierra, acero y plomo. Son bien conocidas las propiedades de blindaje de determinados materiales [19–25], pero habría que tomar en cuenta la experiencia de las instalaciones de irradiación existentes. El blindaje debería causar reducciones adecuadas de los niveles de radiación para mantener las dosis dentro de los límites de dosis establecidos o convenidos por el órgano regulador.

8.6. El blindaje deberá tener unos orificios para la entrada y salida del personal y del producto y para el sistema de ventilación y demás conductos. Esos orificios plantean problemas específicos a quien diseñe el blindaje, que debería asegurar que no haya una vía de fuga directa de radiación y que el empleo de entradas en forma de laberinto y de tapones de protección baste para reducir los campos de radiación externa a niveles optimizados. Cuando no se pueda lograr una reducción suficiente de las dosis, se debería limitar el acceso a la zona. Habría que tener cuidado en asegurar que se evalúen plenamente todas las vías de radiación de importancia, incluidas, en el caso de las instalaciones de irradiación gamma, las que surjan durante el paso de la fuente radiactiva de su posición blindada a su posición de funcionamiento. Cuando sea factible, todos los tubos, tuberías y conductos deberían seguir una vía curva o escalonada a través del material del blindaje para reducir los niveles de radiación externa.

8.7. En los sistemas de irradiadores que utilicen niveles de actividad superiores a $1,85 \times 10^{17}$ Bq (5 millones de Ci) de cobalto 60 o equivalente, habría que evaluar la energía absorbida en las paredes del blindaje y las consiguientes temperaturas máximas del blindaje. Las temperaturas máximas dentro de blindajes de concreto estándar no deberían sobrepasar los 315°C (600°F) [26]. También se debería evaluar la energía absorbida en contenedores de almacenamiento de fuentes en seco debida al calor producido por la absorción de radiación gamma para que

no corra peligro la integridad del blindaje. Asimismo, la temperatura máxima de almacenamiento de las fuentes selladas no debería sobrepasar la especificada por el fabricante.

8.8. Aunque en esta guía de seguridad y en las publicaciones que en ella se mencionan se dan directrices de carácter general sobre el blindaje, todos los cálculos del blindaje que se realicen para diseñarlo deberán hacerlos especialistas.

8.9. Una vez diseñado el blindaje, no se debería efectuar ningún cambio en él, salvo que se haya estudiado muy cuidadosamente y que lo haya autorizado el órgano regulador.

El acceso a la fuente de radiación y los sistemas de interseguros

8.10. Habría que prestar especial atención a la accesibilidad de la sala de irradiación en las instalaciones de irradiación de rayos gamma de categoría II y IV, las instalaciones que utilizan haces de electrones de categoría II y las instalaciones de rayos X. El diseño de esas instalaciones debería ser tal que nadie pudiera penetrar en la sala de irradiación mientras la fuente radiactiva se encuentre en la posición expuesta o mientras esté activado el haz de electrones. Ese control del acceso se basa en gran medida en la utilización de sistemas de interseguros.

8.11. El acceso del personal a la sala de irradiación después de una irradiación, la puesta en condiciones de seguridad de la sala de irradiación antes de iniciar una irradiación y los procedimientos de inicio de la irradiación deberían incorporar una serie de interseguros y controles secuenciales. Esos interseguros y controles deberían estar diseñados de forma que todo intento de sortear los controles o de aplicarlos sin seguir la secuencia prescrita impida automáticamente la operación que se pretenda efectuar.

8.12. A continuación se da un ejemplo de esas operaciones de control secuenciales:

— Acceso del personal:

- 1) Asegurar que los controles del acceso a la sala de irradiación estén activados en la consola de control.
- 2) Verificar que el monitor de la sala de irradiación funciona correctamente y que el nivel de radiación de la sala es aceptable.
- 3) Abrir la puerta de acceso utilizando la llave polivalente.
- 4) En la entrada a la sala de irradiación, monitorizar permanentemente los niveles de radiación con un detector de radiación portátil.

- Secuencia para poner en condiciones de seguridad la sala de irradiación antes de iniciar la irradiación:
 - 1) Asegurarse de que no hay ningún miembro del personal en la sala de irradiación y de que los mecanismos del irradiador están en condiciones de funcionar.
 - 2) Accionar el temporizador de retardo de seguridad.
 - 3) Accionar el control dentro de la sala de irradiación, si es diferente del temporizador de retardo de seguridad.
 - 4) Cerrar con llave la puerta de acceso a la sala de irradiación.
- Iniciar el procedimiento de la irradiación: Activar con la llave polivalente el mecanismo de la consola de control de izado del bastidor de la fuente antes de que haya transcurrido el período de retardo de seguridad predeterminado.

El irradiador se halla entonces a pleno funcionamiento, y no debería ser posible retirar la llave polivalente sin detener el irradiador.

Interseguro de la puerta de acceso del personal

8.13. La puerta de acceso del personal a la sala de irradiación debería estar cerrada y asegurada antes de que se inicie el proceso de irradiación. Los interseguros de la puerta de acceso deberían estar integrados en el sistema de control central de manera que el quebrantamiento del sistema de interseguros o la utilización de la puerta haga que se interrumpa automáticamente la irradiación. Todo quebrantamiento o fallo del interseguro de la puerta de acceso debería activar alarmas visibles y audibles. La apertura de la puerta de acceso del personal tendría que desactivar los medios utilizados para producir radiación¹⁶.

Control auxiliar del acceso — Entrada del personal

8.14. Además del interseguro de la puerta de acceso del personal, cada entrada de la sala de irradiación debería tener un control auxiliar independiente para detectar la entrada de personal mientras la fuente radiactiva esté en la posición no blindada o cuando el haz de electrones esté activado. Ejemplos de controles auxiliares del acceso son las alfombras sensibles a la presión, los detectores de la interrupción del haz luminoso (fotocélulas) y los sensores de movimiento. La detección de entrada de personal mientras el bastidor de la fuente está expuesto o mientras el haz de electrones está activado debería desactivar los medios utilizados para

¹⁶ “Desactivar los medios utilizados para producir radiación” significa hacer que el bastidor de la fuente no se pueda alzar de la posición totalmente blindada o, en un sistema basado en un acelerador, que se desconecte el alto voltaje.

producir radiación y activar alarmas visibles y audibles para advertir del peligro a la persona que penetre en la sala.

Interseguros de los orificios de entrada y salida del producto

8.15. Habría que instalar medios apropiados en los orificios de entrada y salida del producto para impedir la entrada involuntaria de personal en zonas de radiación elevada. Los métodos para conseguirlo son el empleo de portones o puertas que solo se abran para dejar pasar el producto y luego se cierran inmediatamente y de detectores que obliguen a que siempre haya presente un portaproducto a la apertura y que causen un quebrantamiento del interseguro si no hay ninguno. Los orificios deberían estar interasegurados para que una alarma visible o audible indique que el mecanismo de control del orificio de entrada o de salida ha funcionado mal o ha sido eludido o manipulado. Tendría que suceder que cualquier quebrantamiento del sistema de interseguros desactivase los medios utilizados para producir radiación.

Control auxiliar del acceso — Orificios de entrada y salida el producto

8.16. Además de los interseguros de los orificios de entrada y salida del producto, cada orificio de entrada y salida del producto debería tener un control auxiliar independiente para detectar la entrada de personal mientras las fuentes radiactivas no están blindadas o cuando el acelerador de electrones está activado. Son ejemplos de estos controles auxiliares las alfombras sensibles a la presión, los detectores de la interrupción del haz luminoso (fotocélulas), los detectores de infrarrojos y otros medios de detectar la presencia de una persona. La detección de entrada de personal cuando los niveles de radiación son altos debería desactivar los medios utilizados para producir radiación y activar alarmas visibles y audibles.

Tapones extraíbles del blindaje de la sala de irradiación

8.17. Los tapones extraíbles del blindaje de la sala de irradiación deberían estar interasegurados con el sistema de control para desactivar los medios utilizados para producir radiación si se retira un tapón. Para impedir que se manipule, el interseguro no debería ser accesible desde fuera del blindaje contra la radiación.

Monitor de radiación fijo con alarmas

8.18. Se debería instalar un sistema de monitorización para vigilar el nivel de radiación ambiental existente en la sala de irradiación. Se debería utilizar el

monitor de radiación para obtener una verificación independiente cuando se han desactivado los medios utilizados para producir radiación. El monitor debería estar integrado con los interseguros de la puerta de acceso del personal para impedir el acceso a la sala de irradiación cuando el monitor detecte radiación superior a un nivel predeterminado, funcione mal o esté desconectado. El nivel de alarma predeterminado debería ser lo más bajo posible, pero lo suficientemente alto como para evitar falsas alarmas. Se debería diseñar el monitor de radiación de forma que la lectura o el resultado no pase a cero en situaciones de saturación del detector. Antes de abrir la puerta de acceso del personal, el operario del irradiador tendría que verificar si el monitor de radiación está funcionando y si su lectura corresponde a los niveles de radiación de fondo.

8.19. El monitor debería activar alarmas visibles y audibles si el nivel de radiación sobrepasa el nivel predeterminado.

Consola de control

Llave de acceso

8.20. Los controles del irradiador deberían diseñarse de forma que se pueda utilizar una sola llave polivalente para hacer funcionar el irradiador en condiciones de uso normal. Esa llave debería emplearse para manejar la consola de control y tener acceso a la sala de irradiación, y asimismo puede ser la llave utilizada para activar el temporizador de retardo de seguridad.

8.21. La llave polivalente tendría que estar unida a un detector de radiación portátil mediante una cadena o un cable de longitud suficiente para poder manejar fácilmente todos los interruptores clave. Solo tiene que haber una llave polivalente para todo el personal autorizado.

8.22. En los sistemas en que se utilicen dos o más llaves, una llave tendría que permanecer cautiva (es decir, metida en la cerradura) cuando se utilicen las otras.

Dispositivo de parada de emergencia de la consola de control

8.23. Además de cualesquiera otros medios disponibles normalmente en la consola de control para cerrar el irradiador, debería existir en la consola de control un dispositivo de parada de emergencia identificado claramente para impedir, interrumpir rápidamente o cancelar operaciones del irradiador y desactivar los medios utilizados para producir radiación.

Desactivar la fuente de radiación

8.24. Para poder efectuar la revisión técnica del irradiador, tendría que haber un método para desactivar los medios utilizados para producir radiación a fin de que no se pueda poner en marcha la fuente de radiación mientras se estén realizando operaciones de revisión técnica (por ejemplo, mediante un dispositivo de bloqueo del izador del bastidor de la fuente o un dispositivo de bloqueo del alto voltaje de un acelerador).

La sala de irradiación

Temporizador de retardo de seguridad con alarmas

8.25. El irradiador debería estar dotado de un temporizador de retardo de seguridad situado en la sala de irradiación que se active para comenzar la secuencia de puesta en marcha del irradiador. El temporizador debería estar situado en una ubicación tal que, para activarlo, el operario del irradiador tenga que pasar por todas las zonas de la sala de irradiación donde pudiere haber alguna persona. De ese modo se incita al operario del irradiador a controlar visualmente toda la sala de irradiación antes de poner en marcha la fuente de radiación.

8.26. El temporizador de seguridad activará automáticamente señales de advertencia y alarmas visibles y audibles que alerten al personal que pueda hallarse en la sala de irradiación de que ha comenzado la secuencia de puesta en marcha del irradiador. Las alarmas deberían dar al personal tiempo suficiente para dejar la zona o para activar un dispositivo de parada de emergencia identificado claramente que cancelará la secuencia de puesta en marcha.

8.27. El temporizador de seguridad debería estar integrado con el sistema de control para que no se pueda iniciar el funcionamiento de la fuente de radiación mientras no se haya completado la secuencia de puesta en marcha en el tiempo predeterminado y la consola de control no indique que se puede poner en marcha el irradiador con seguridad.

Dispositivo de parada de emergencia

8.28. Se debería dotar a la sala de irradiación de un dispositivo de parada de emergencia para cancelar de inmediato operaciones del irradiador y desactivar los medios utilizados para producir radiación en cualquier momento. El dispositivo de parada de emergencia debería estar identificado claramente y ser fácilmente

accesible al personal que se halle en la sala de irradiación. Tendría que hacer que se generase una alarma visible o audible fuera de la sala de irradiación.

Salida de emergencia

8.29. Para la seguridad de quien se haya quedado encerrado involuntariamente en la sala de irradiación, tendría que haber un medio para que el personal pueda salir de esa sala en cualquier momento. La persona debería activar primero el dispositivo de parada de emergencia y luego abandonar la sala de irradiación. Si no, la persona debería salir de la sala de irradiación por la salida de emergencia, lo que debería activar alarmas visibles y audibles y desactivar los medios utilizados para producir radiación. En caso de que no se active el dispositivo de parada de emergencia antes de que la persona salga de la sala de irradiación, se debería tomar la vía de salida más directa que evite la zona próxima a la fuente de radiación.

Consideraciones con respecto a los sucesos externos

8.30. Se deberían evaluar con arreglo a las características específicas de la instalación de irradiación y del emplazamiento local los sucesos naturales externos como los sucesos relacionados con fenómenos geológicos y meteorológicos extremos y los sucesos de origen humano que podrían menoscabar la integridad del blindaje contra la radiación.

8.31. Se podrá utilizar normas, códigos o patrones convencionales que traten de peligros debidos a sucesos externos para evaluar los posibles peligros y para diseñar instalaciones que puedan resistir esos peligros, teniendo en cuenta los riesgos radiológicos que entraña la instalación.

8.32. En las zonas sísmicas, todas las instalaciones de irradiación deberían estar equipadas con un instrumento que advierta de que se ha producido un suceso sísmico y desactive los medios utilizados para producir radiación. Los instrumentos de sismografía deberían estar sujetos firmemente a una pared de blindaje de concreto. El instrumento puede ser de tipo horizontal, omniaxial, o de tipo vertical, uniaxial. Debería estar programado para activarse al nivel más bajo que sea factible sin que genere falsas alarmas.

8.33. Durante el proceso de selección y evaluación del emplazamiento, se debería dedicar especial atención a los posibles peligros que no pueden afrontarse con medidas tecnológicas, como los peligros relacionados con inundaciones y los

relacionados con fenómenos geológicos en zonas en que se produzcan o puedan producirse hundimientos, elevaciones, derrumbes o fallas.

Ventilación

8.34. La radiólisis del aire produce ozono (O_3), que es inestable y con el tiempo se convierte en oxígeno (O_2). La entidad explotadora de una instalación de irradiación debería evaluar los niveles de ozono que produzca el irradiador y proteger al personal contra la exposición al ozono en concentraciones superiores a los límites fijados por la autoridad sanitaria competente.

8.35. Se debería impedir que el personal entre en cualquier zona en la que pueda haber concentraciones de ozono elevadas. Las instalaciones de irradiación deberían diseñarse de manera tal que el ozono no migre a las zonas ocupadas.

8.36. Habría que aplicar las siguientes medidas de control del ozono:

- un sistema de ventilación para evacuar el ozono y mantener un diferencial de presión bajo en el irradiador, a fin de impedir que el ozono migre a las zonas ocupadas;
- un interseguro con retardo de entrada para dejar que disminuyan los niveles de ozono mediante la reversión al oxígeno diatómico o la eliminación del ozono por el sistema de ventilación.

8.37. El sistema de control del irradiador debería estar diseñado de forma que monitorice el sistema de ventilación para comprobar si funciona. Si se avería el sistema de ventilación, se debería volver el bastidor de la fuente a la posición totalmente blindada o se debería desconectar el haz de electrones. No debería permitirse entrar en la sala de irradiación hasta que no hayan bajado los niveles de ozono.

Avisos y símbolos

8.38. El símbolo de la radiación (trébol) [27] y demás advertencias deberían colocarse en las entradas de la sala de irradiación y en la proximidad del generador de radiaciones o de la fuente radiactiva, de conformidad con los requisitos reglamentarios (figura 6). Las advertencias y los símbolos colocados dentro de la sala de irradiación deberían ser de materiales resistentes a deterioros causados por niveles de radiación elevados y que duren en las condiciones ambientales.



Fig. 6. Símbolo básico de radiación ionizante (trébol) (Norma ISO 361).

8.39. Además del símbolo de radiación (el trébol), se debería usar el símbolo complementario de advertencia de radiación ionizante [28] en los irradiadores gamma de las categorías II, III y IV (figura 7). Ese símbolo complementario tiene por objeto informar a los miembros del público de que la fuente radiactiva constituye un peligro grave para ellos y de que tienen que alejarse de ella. El símbolo complementario debería colocarse muy cerca de la fuente; como las fuentes radiactivas son de pequeño tamaño, normalmente no es posible poner el símbolo complementario sobre una fuente.

8.40. En general, no se debería poner el símbolo complementario de manera que sea visible cuando la fuente radiactiva esté siendo usada normalmente o se encuentre almacenada. Estos son algunos ejemplos de ubicaciones en irradiadores gamma donde se debería poner el símbolo complementario:

- categoría II: En el portafuente, donde se pueda ver al retirar la tapa;
- categoría III: En la estructura que mantiene en su lugar el conjunto de fuentes;
- categoría IV: En el bastidor de la fuente.

8.41. En general, no se justificará la colocación del símbolo complementario en los irradiadores gamma en uso si fuese necesario retirar las fuentes radiactivas.



Fig. 7. Símbolo complementario de radiación ionizante (Norma ISO 21482).

Lo mejor sería colocar el símbolo cuando se construya el irradiador. El símbolo solo debería ser colocado en un irradiador que sea utilizado por una persona cualificada por su capacitación y experiencia y a la que el órgano regulador haya autorizado a realizar actividades de revisión técnica y mantenimiento en irradiadores.

Indicadores de la situación de la irradiación (la fuente)

8.42. Tendría que haber indicadores de la situación de la irradiación que muestren:

- Cuando se ha puesto fin a la irradiación (fuente “abajo” o haz desactivado).
- Cuando se está realizando la irradiación (fuente “arriba” o haz activado).
- Si la fuente radiactiva se encuentra en tránsito o el haz de rayos X o de electrones está a punto de ser activado. (Debería utilizarse además una señal audible para indicar esta situación.)

8.43. Debería haber un indicador de la situación de la irradiación claramente visible en la consola de control y en todas las puertas de acceso del personal y todos los orificios de entrada y salida del producto.

Colores de los indicadores de la situación de la irradiación

8.44. Cuando se utilicen controles iluminados o con los colores de un código, se debería tener presente la conveniencia de emplear los colores siguientes para indicar las situaciones siguientes:

<i>Situación</i>	<i>Color</i>
Emergencia (botones de parada o luces de advertencia)	Rojo
Advertencia o peligro	Trébol internacional o rojo
Información crítica (mal funcionamiento del irradiador)	Rojo
Prudencia (no es una emergencia, pero se pide tener mayor precaución)	Amarillo o naranja
Normal (el irradiador no está funcionando o funciona con seguridad)	ionando Verde
Información	Azul

Señales audibles

8.45. Todas las señales audibles que se utilicen en el sistema de control del irradiador deberían ser claras y lo bastante fuertes como para atraer inmediatamente la atención de las personas que se encuentren en la zona. No deberían poder confundirse con ninguna otra señal que se emplee en la zona. Habría que utilizar una señal audible para indicar que una fuente radiactiva está en tránsito o que el haz de rayos X o de electrones está a punto de ser activado.

Identificación y exposición de información

8.46. Los indicadores y las señales visuales utilizados para alertar a las personas deberían indicar por escrito claramente qué situaciones desencadenan la activación del indicador. Unas señales de advertencia y alarmas visuales, por ejemplo, luces intermitentes o mensajes en la consola de control, deberían proporcionar al operario del irradiador una información inequívoca que baste para determinar la causa de la señal de advertencia o la alarma a fin de poder iniciar las pertinentes medidas correctoras.

8.47. Además de avisos y símbolos, en ubicaciones claramente visibles de la instalación se debería exponer la siguiente información de importancia para la explotación de la instalación de irradiación:

- Copia de la licencia, la inscripción u otro documento del órgano regulador por el que se autorice la explotación del irradiador. Si no fuese practicable poner en lugar bien visible una copia de la autorización, debería ponerse un aviso que indique en qué lugar de la instalación puede consultarse una copia del documento.
- Información sobre los contactos en caso de emergencia, incluidos los nombres y números de teléfono (u otros medios de contacto inmediato) de las personas a las que habrá que avisar si se produce una emergencia.

IRRADIADORES GAMMA

El diseño de las fuentes selladas

8.48. Las fuentes radiactivas utilizadas en las instalaciones de irradiación gamma cumplen los requisitos de las NBS [2] relativos al diseño cuando cumplen las normas en materia de prueba del desempeño y la seguridad relativas a esta práctica, cuyos métodos se especifican en las normas ISO [29, 30]. La norma ISO 2919 [29] establece un sistema de clasificación de las fuentes radiactivas selladas basado en los resultados de las pruebas y especifica unos requisitos generales, pruebas de desempeño, pruebas de producción, marcas y certificación.

8.49. Las pruebas de desempeño que se aplican a las fuentes radiactivas que se utilizan en las instalaciones de irradiación de rayos gamma varían en cuanto a su rigor en función de la forma de las fuentes (pruebas de flexión) y las condiciones ambientales a que se prevé que estén sometidas las fuentes. A las pruebas ambientales sobre las fuentes utilizadas en los irradiadores de las categorías II, III y IV se les ha atribuido el número de clasificación 53424, en el que cada dígito remite al rigor de las siguientes condiciones ambientales de la prueba: temperatura, presión externa, impacto, vibración y perforación.

8.50. Esta clasificación no considera los efectos de otros factores, entre ellos los incendios, las explosiones y la corrosión, ni las posibles consecuencias de sucesos y efectos en las condiciones en que se utilizarán las fuentes radiactivas. La norma ISO 2919 especifica que el fabricante y el usuario tendrán en cuenta la probabilidad de incendio, explosión y corrosión y las posibles consecuencias de los sucesos y efectos si la actividad de las fuentes selladas supera los valores recogidos en el cuadro 3 de la Ref. [29]. Para determinar si son necesarias pruebas especiales se tomarán en cuenta los siguientes factores:

- las consecuencias de la fuga o la dispersión de materiales radiactivos;

- la cantidad de materiales radiactivos que contenga la fuente sellada;
- la radiotoxicidad;
- la forma química y física de las sustancias radiactivas;
- el entorno en que se almacena, mueve y utiliza la fuente sellada;
- la protección otorgada a la fuente sellada o a la combinación fuente–dispositivo.

Requisitos específicos para condiciones de almacenamiento en medio húmedo

8.51. El material de la cápsula exterior de una fuente sellada debería ser tal que no se corra en las condiciones de almacenamiento de la fuente sellada en la piscina de almacenamiento. Al seleccionar el material de la cápsula habría que tener en cuenta la necesidad de que soporte la fatiga térmica.

8.52. El material radiactivo debería ser básicamente insoluble en agua para mitigar las posibles consecuencias de una ruptura de la cápsula. No se debería utilizar cloruro de cesio en irradiadores gamma de almacenamiento de fuentes en medio húmedo. El cloruro de cesio es muy soluble en agua, y los ciclos térmicos como los que se encontrarían en un irradiador de categoría IV suelen aumentar la probabilidad de fallo de la encapsulación de la fuente sellada.

Certificación y documentación

8.53. El fabricante o suministrador y los usuarios de fuentes selladas deberían llevar registros relativos a la fuente sellada. El órgano regulador podrá exigir esa información para fines como la concesión de licencias, la instalación y el transporte de la fuente radiactiva. Los registros deberían contener los datos siguientes:

- número del modelo, número de serie y número de identificación de la fuente radiactiva, el radionucleido contenido, la actividad de la fuente y la fecha de la actividad de la fuente declarada;
- certificado de conformidad de la fuente a la norma iso 2919 [29];
- certificado de la prueba de flexión (si se precisa);
- certificado de la prueba de estanqueidad;
- certificado de la prueba de contaminación;
- certificado de aprobación de materiales radiactivos en forma especial, de haberlo (véase la Ref. [31]);
- cualquier otra documentación que exija el órgano regulador.

El diseño interno

8.54. Todo el equipo que se encuentre en el interior de la sala de irradiación de una instalación de irradiación, con inclusión del cableado, el equipo eléctrico, los avisos y las luces, debería seleccionarse de modo que se reduzcan al mínimo los fallos y averías debidos a la exposición prolongada a la radiación.

Portafuente y bastidor de la fuente

8.55. El diseño típico de un irradiador gamma consta de fuentes radiactivas que están colocadas en un portafuente, denominado módulo, varias de las cuales están colocadas juntas en un bastidor de la fuente. Esta disposición aparece gráficamente en la figura 8. El bastidor de la fuente debería estar diseñado de

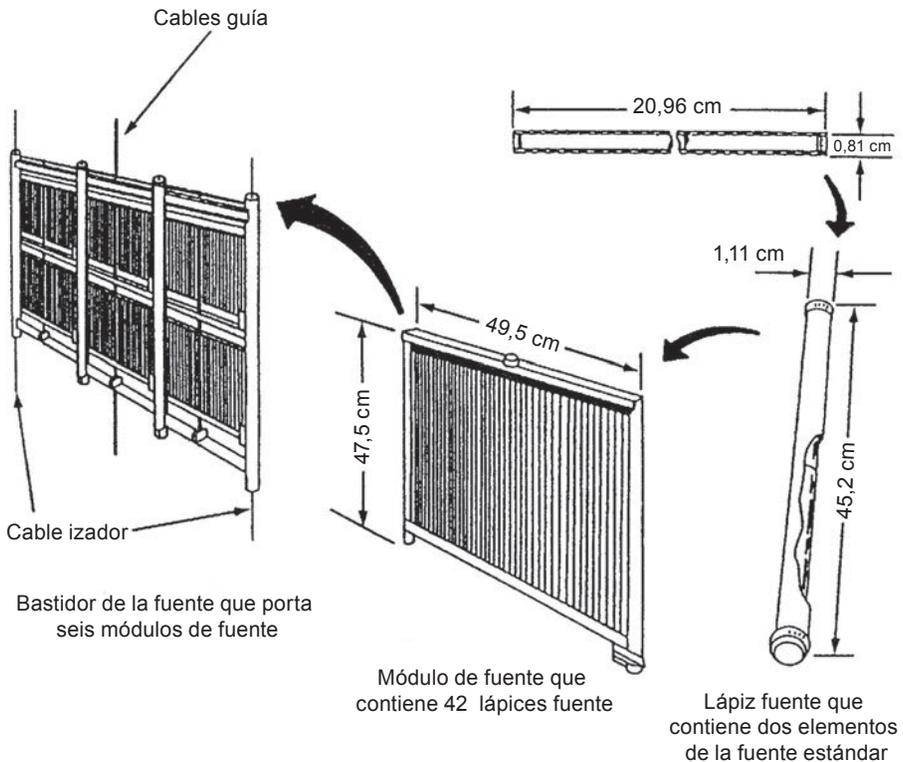


Fig. 8. Bastidor y componentes de la fuente típicos de un irradiador gamma: Bastidor de la fuente con seis módulos de fuente, cada uno de los cuales contiene hasta 42 lápices fuente (por cortesía de MDS Nordion).

modo tal que no haya grietas en el portafuente, o entre la fuente radiactiva y el portafuente, lo que fomentaría la corrosión.

8.56. La fuente sellada debería estar sujeta firmemente en su portafuente y su bastidor de modo que no se pueda sacarla de ellos con facilidad. Tendría que haber los medios necesarios para colocar y mantener la fuente sellada en la posición prevista en el diseño. Los dispositivos empleados para posicionar y retirar las fuentes radiactivas (por ejemplo, las herramientas para manipular las fuentes desde encima de la superficie del agua de la piscina de almacenamiento) deberían poder utilizarse con seguridad desde fuera de los blindajes contra la radiación¹⁷.

8.57. En caso de fallo del módulo de la fuente o del bastidor de la fuente, no debería ser posible que las fuentes pasaran a una posición que pueda causar un peligro radiológico. En caso de interrupción del suministro eléctrico, las fuentes y el bastidor de la fuente deberían poder volver a la posición totalmente blindada sin sufrir deterioros. Un fallo de los cables izadores (o de otros medios de soporte) no debería hacer que el bastidor de la fuente se moviese de tal manera que se causase daño a las fuentes selladas. Si el bastidor de la fuente se atasca en la posición expuesta, debería haber algún medio de liberarlo con un riesgo mínimo para el personal (por ejemplo, utilizando un orificio de acceso de emergencia; véase el párr. 8.62).

Dispositivo protector de la fuente

8.58. El bastidor de la fuente debería estar provisto de un dispositivo protector de la fuente que ofrezca una protección mecánica adecuada contra interferencias y daños causados por objetos como cajas o portaproductos. El dispositivo protector de la fuente puede consistir en una pantalla protectora, en varillas de guía o en guías en el piso en el mecanismo de posicionamiento del producto, por ejemplo. Los mecanismos de posicionamiento del producto deberían estar diseñados para impedir que el producto entre en contacto directa o indirectamente con el bastidor de la fuente.

8.59. Los irradiadores deberían emplear un dispositivo mecánico para impedir colisiones del producto; ese dispositivo debería estar situado en los extremos del bastidor de la fuente para detectar los productos o portaproductos que estén

¹⁷ Los blindajes contra la radiación son estructuras cuya función primordial es atenuar la radiación emitida por la fuente de radiación hasta niveles aceptables.

posicionados incorrectamente cuando entren en el pasafuentes¹⁸ más cercano al bastidor de la fuente y que podría chocar con las fuentes. Si se activa, ese dispositivo debería detener el portaproductos, devolver el bastidor de la fuente a la posición totalmente blindada y generar una señal de avería en la consola de control.

Sistema de refrigeración de emergencia de la fuente

8.60. Algunos irradiadores de categoría IV utilizan un sistema de refrigeración de emergencia de la fuente consistente en un rociador de agua situado en la parte superior del pasafuentes por encima de los bastidores de las fuentes. El agua de la piscina de almacenamiento de la fuente se puede desviar al rociador a través de válvulas situadas fuera del blindaje. Si el bastidor de la fuente se quedase atascado en una posición no blindada, generando calor que podría hacer que el producto se inflamara, habría que rociar con agua de la piscina el bastidor de la fuente para disminuir la temperatura y asegurar la integridad de la fuente.

Temporizador del desplazamiento de la fuente

8.61. Se debería conectar un temporizador del desplazamiento de la fuente a los interruptores “fuente arriba” y “fuente abajo” para asegurar que el tiempo de desplazamiento de la fuente (cuando se mueve arriba o abajo) no sobrepase un nivel predeterminado. Si se excede el nivel prefijado, el sistema de control tendría que indicar un fallo, cerrar el irradiador y activar alarmas visibles y audibles. Este interseguro podría emitir una advertencia temprana de un problema del mecanismo de izado del bastidor de la fuente que requiera una inspección.

Orificios de acceso de emergencia

8.62. Los orificios de acceso de emergencia permiten penetrar en la sala de irradiación a través del blindaje si se da un mal funcionamiento que deja la fuente radiactiva en una posición expuesta. Los orificios de acceso de emergencia solo deberían ser utilizados por el personal autorizado para actuaciones y recuperación de emergencia.

¹⁸ El pasafuentes es el componente del sistema de posicionamiento del producto que lleva el producto ante el bastidor de la fuente.

Indicadores de posición del bastidor de la fuente

8.63. Los interruptores de los indicadores de posición del bastidor de la fuente (“arriba” o “abajo”) deberían estar integrados directamente al sistema de control, no por medio de un controlador lógico programable. Se puede alcanzar la defensa en profundidad haciendo que los interruptores de los indicadores estén instalados en diferentes ubicaciones, por ejemplo, en el mecanismo de izado del bastidor de la fuente y en el propio bastidor. Además de los interruptores de los indicadores, podrá estudiarse la conveniencia de dotarse de medios complementarios de confirmar la posición del bastidor de la fuente, por ejemplo, mediante un detector de radiación o una cámara en el fondo de la piscina de almacenamiento.

8.64. Si los interruptores de los indicadores funcionan mal o no responden ante la presencia del bastidor de la fuente, ya sea en la posición “abajo” (totalmente blindada) o en la posición “arriba”, habida cuenta de los tiempos de tránsito del bastidor de la fuente, se deberían activar alarmas visibles y audibles para alertar al personal que se encuentre en la zona e impedir el acceso a la sala de irradiación.

El acceso a las fuentes radiactivas y los sistemas de interseguros

Acceso a las piscinas de almacenamiento de los irradiadores de categoría III (de blindaje intrínseco con almacenamiento en medio húmedo de la fuente)

8.65. Los irradiadores de blindaje intrínseco con almacenamiento en medio húmedo de la fuente (irradiadores de categoría III) deberían tener una barrera de acceso del personal en torno a la piscina de almacenamiento de la fuente que esté cerrada con llave para impedir el acceso cuando no haya nadie que se ocupe del irradiador. Únicamente los operarios del irradiador y los directivos de la instalación deberían tener acceso a las llaves de la barrera de acceso del personal. Se debería instalar una alarma contra intrusiones que detecte toda entrada cuando la barrera de acceso del personal esté cerrada con llave.

Control auxiliar del acceso — Orificios de entrada y salida del producto

8.66. Además de los interseguros de los orificios de entrada y salida del producto (véase el párr. 8.15), cada orificio de entrada y salida del producto de un irradiador panorámico debería tener un control auxiliar independiente para detectar la entrada de personal mientras el bastidor de la fuente radiactiva esté expuesto. Son ejemplos de estos controles auxiliares las alfombras sensibles a la presión, los detectores de la interrupción del haz luminoso (fotocélulas), los detectores de infrarrojos u otros medios de detectar la presencia de una persona. La detección

de entrada de personal mientras el bastidor de la fuente se halla en la posición expuesta debería hacer que el bastidor volviese a la posición totalmente blindada y activar alarmas visibles y audibles para advertir del peligro a la persona que penetre en la sala.

Tapones extraíbles del blindaje de la sala de irradiación en irradiadores gamma

8.67. Los tapones del techo que tienen por objeto permitir el acceso para desplazar embalajes para el transporte de sustancias radiactivas a la piscina de almacenamiento de la fuente deberían estar situados de manera que, si se cae un embalaje de envío, no caiga sobre el bastidor de la fuente.

Monitor de radiación fijo con alarmas en los irradiadores de categoría III (de blindaje intrínseco con almacenamiento en medio húmedo de la fuente)

8.68. Los irradiadores subacuáticos que no estén en una sala de irradiación blindada deberían tener un monitor de radiación sobre la piscina de almacenamiento de la fuente para detectar niveles de radiación anormales. El monitor debería generar alarmas visibles y audibles en las entradas a la barrera de acceso en torno a la piscina de almacenamiento de la fuente.

Sistema auxiliar para bajar el bastidor de la fuente

8.69. Debería existir un sistema auxiliar para bajar el bastidor de la fuente a la posición totalmente blindada en caso de que se averíe el mecanismo izador del bastidor. En los sistemas de izado mecánico, podrá consistir en un desbloqueo manual del freno que permita la bajada controlada del bastidor de la fuente a la posición totalmente blindada. En los sistemas de izado neumático, tendría que haber una segunda válvula solenoide en el izador del bastidor que sirviera de auxiliar de la válvula solenoide principal del izador del bastidor. Si la válvula principal no evacua, la segunda válvula debería proporcionar el medio de evacuar aire del izador del bastidor, permitiendo con ello que el bastidor de la fuente baje a la posición totalmente blindada. El fallo del medio principal para bajar el bastidor de la fuente debería dar lugar a una situación de fallo y activar alarmas visibles y audibles.

Monitor de radiación de la salida del producto

8.70. Debería existir un sistema fijo de monitorización radiológica, situado de manera que los monitores detecten todos los materiales radiactivos que se saquen

de la sala de irradiación. Esos monitores tendrían que estar interasegurados con los controles del irradiador a fin de que, si los niveles de radiación presentes en el orificio de salida sobrepasan un nivel predeterminado, se detenga el sistema de posicionamiento del producto que lleva el producto de la sala de irradiación al orificio de salida, la fuente radiactiva regrese automáticamente a la posición totalmente blindada y se activen alarmas visibles y audibles.

Irradiadores de almacenamiento de la fuente en medio húmedo

8.71. En los irradiadores con almacenamiento en medio húmedo, el medio de blindaje contra la radiación es el agua. Debería existir un control automático del nivel del agua para mantener el agua a un nivel que constituya un blindaje apropiado para que el personal pueda estar en la sala mientras las fuentes radiactivas se encuentren en la posición totalmente blindada. Todos los componentes del sistema de control automático del nivel del agua que están por debajo del nivel del agua, salvo los interruptores de flotador, deberían ser de un material con una gravedad específica de $1,0 \text{ g/cm}^3$ o superior. Si se utilizan tuberías huecas, deberían estar totalmente ventiladas¹⁹ para que el agua pueda inundar las tuberías y eliminar de ese modo el riesgo de que un haz de radiación de alto nivel energético ascienda por las tuberías.

8.72. La piscina de almacenamiento de la fuente debería limpiarse cuando sea preciso para eliminar las materias extrañas que se hayan acumulado en el fondo.

8.73. Todo sistema de limpieza por aspiración que se utilice para limpiar la piscina de almacenamiento de la fuente debería estar dotado de un filtro en línea. Se debería controlar continuamente la presencia de sustancias radiactivas en el filtro durante la operación de limpieza por aspiración. Si se detectan sustancias radiactivas, debería interrumpirse la operación de limpieza. Todos los sedimentos recogidos en el filtro deberían cumplir los criterios pertinentes antes de su evacuación. El sistema de limpieza por aspiración debería diseñarse de manera que recircule el agua de la piscina de almacenamiento a esta después de filtrada. De ese modo se garantizará que no se libere inadvertidamente agua de la piscina antes de haberse asegurado de que la contaminación es inferior a los límites autorizados establecidos por el órgano regulador.

¹⁹ Se entiende por “totalmente ventiladas” que poseen la característica de diseño necesaria para que los instrumentos, las tuberías, o las barras de control huecos se ventilen totalmente a fin de que el aire se pueda escapar a un ritmo suficiente para que el agua inunde la sección sumergida al penetrar en la piscina de agua de almacenamiento.

8.74. Todos los utensilios que se empleen para la limpieza por aspiración subacuática deberían cumplir las recomendaciones sobre ventilación del párr. 8.71.

Vigilancia radiológica del sistema de tratamiento del agua

8.75. En el sistema de tratamiento del agua se debería instalar un monitor de radiación fijo para detectar la contaminación que pueda surgir si una fuente radiactiva tiene fugas. Son ejemplos de métodos empleados para instalar monitores de radiación fijos el fijar un detector de radiación en la columna de desionización o filtro de partículas, y el medir directamente la actividad en el agua mediante un sistema de toma de muestras en flujo continuo.

8.76. Si los niveles de radiación sobrepasan un valor predeterminado, el monitor de radiación fijo debería activar alarmas visibles y audibles. El monitor tendría que estar interasegurado con los controles del irradiador a fin de que el bastidor de la fuente vuelva a la posición totalmente blindada y se detenga la circulación normal del agua si se activa la alarma. El nivel de la alarma debería fijarse lo suficientemente por encima del nivel de radiación de fondo natural como para evitar un número excesivo de falsas alarmas.

Integridad de la piscina de almacenamiento

8.77. La piscina de almacenamiento de la fuente debería ser impermeable y estar diseñada para que retenga el agua en todas las circunstancias razonablemente previsibles. La piscina debería estar construida con materiales que sean compatibles metalúrgicamente entre ellos y con los demás componentes que habrá en ella, incluidas las fuentes radiactivas. Se debería utilizar una piscina de almacenamiento de acero inoxidable que sea resistente al deterioro por corrosión y radiación y que se descontamine fácilmente. La piscina debería diseñarse de modo que aguante los embalajes para el transporte que se utilicen durante las operaciones de carga y descarga de las fuentes sin poner en peligro la integridad de la piscina.

8.78. No debería haber ninguna penetración (por ejemplo, de tuberías ni de agujeros tapados) a través del fondo de la piscina de almacenamiento. Las perforaciones que se hagan a través del revestimiento estanco de la piscina no deberían estar a más de 30 cm por debajo del nivel normal del agua.

Materiales de los componentes de la piscina

8.79. Todos los componentes permanentes de la piscina de almacenamiento deberían ser de materiales resistentes a la corrosión, ya que los productos de la corrosión pueden menoscabar la integridad de las fuentes selladas. Siempre que se pueda, se debería pasivar los componentes de acero inoxidable (por ejemplo, las abrazaderas o las poleas), especialmente después de la fabricación.

Control del nivel del agua — Nivel normal

8.80. Tendría que haber medios para reponer las pérdidas de agua de la piscina de almacenamiento; esas pérdidas se deberán principalmente a la evaporación. El sistema tendría que ser capaz de mantener el agua de la piscina por encima de un nivel suficiente para mantener un blindaje contra la radiación adecuado. Un control del nivel del agua debería hacer que el agua de reposición fluyera a la piscina mediante un sistema de tratamiento del agua cuando el nivel llegue a la posición de nivel bajo normal del agua, y debería hacer que el agua deje de fluir cuando el nivel llegue a la posición de nivel alto normal del agua.

8.81. Se debería instalar un medidor que registre el consumo del agua de reposición, cuyas variaciones pueden estar asociadas a escapes de la piscina (por ejemplo, mediante el sifonado de agua de regreso por las tuberías del suministro de agua).

8.82. Se debería impedir que el agua de la piscina de almacenamiento migrase a los suministros de agua municipales.

Resultado anormal del control del nivel del agua — Nivel bajo

8.83. Deberían generarse señales visibles y audibles si el agua de la piscina desciende a un nivel que ponga en peligro el blindaje contra la radiación, normalmente a unos 30 cm por debajo del nivel bajo normal del agua. La señal debería alertar al personal para que investigue y adopte medidas correctoras.

Resultado anormal del control del nivel del agua — Nivel alto

8.84. Deberían generarse señales visibles y audibles si el agua de la piscina de almacenamiento sigue subiendo por encima del punto de corte del nivel alto normal del agua. La señal debería alertar al personal para que investigue y adopte medidas correctoras que impidan que se desborde el agua de la piscina.

Acondicionamiento del agua

8.85. La piscina de almacenamiento debería estar equipada con un sistema de acondicionamiento del agua capaz de mantener el agua limpia y a un nivel de conductividad que no sobrepase los 1 000 $\mu\text{S}/\text{m}$ en el funcionamiento de rutina y los 2 000 $\mu\text{S}/\text{m}$ en excursiones temporales no superiores a 90 días. Las mediciones de la conductividad sirven de indicador de niveles potencialmente altos de haluros (por ejemplo, cloruro y fluoruro), que se sabe que corroen el acero inoxidable. Se debería vigilar continuamente la conductividad del agua de la piscina.

8.86. Se debería tener sumo cuidado en evitar la introducción de contaminantes en el sistema del agua de la piscina (por ejemplo, regenerantes desionizadores, productos de limpieza, productos apagafuegos, producto derramado). Los fabricantes de fuentes selladas han formulado recomendaciones sobre los niveles aceptables y las frecuencias de las pruebas con los indicadores de la calidad del agua, como la conductividad, el pH y las concentraciones de cloruro.

8.87. Se debería comprobar la falta de contaminación de todos los filtros y lechos de resina de los sistemas de tratamiento del agua antes de retirar, retrolavar o regenerar el sistema. Solo se deberán liberar los fluidos resultantes del retrolavado o la regeneración si el nivel de contaminación es inferior a los límites autorizados establecidos por el órgano regulador.

Refrigeración del agua de la piscina de almacenamiento

8.88. El proceso de desintegración radiactiva genera cantidades considerables de calor, que harán aumentar las temperaturas del agua de la piscina de almacenamiento. El aumento de la temperatura del agua puede producir elevados niveles de humedad, que pueden deteriorar los aparatos eléctricos y dar lugar a mayores pérdidas por evaporación de la piscina, que podrían poner en peligro el blindaje contra la radiación. Si la actividad de las fuentes selladas en el bastidor es lo bastante alta como para hacer que las temperaturas del agua de la piscina aumenten demasiado, tendría que existir un medio para refrigerar el agua durante su circulación. Las elevadas temperaturas del agua pueden hacer también que se degraden más rápidamente las resinas de desionización.

Tuberías de la piscina

8.89. Como en la piscina de almacenamiento de la fuente se utilizan tuberías para los sistemas de control del nivel y la calidad del agua, tendría que haber

destructores de la acción sifónica que impidan el sifonado del agua de la piscina hasta niveles tan bajos que pudieren poner en peligro el blindaje contra la radiación, es decir, normalmente niveles de más de 30 cm por debajo del nivel normal el agua de reposición. Las tuberías de succión que hacen circular el agua de la piscina deberían tener tomas que no estén a más de 30 cm por debajo del nivel normal del agua de reposición.

Dispositivo protector y tapa de la piscina de almacenamiento

8.90. Habría que instalar una barrera física, por ejemplo, una barandilla o una tapa metálica, para evitar que algún miembro del personal se caiga a la piscina de almacenamiento de la fuente. Esa barrera física debe poderse retirar para realizar operaciones de mantenimiento o revisión técnica.

Protección contra incendios

8.91. Tendría que haber un sistema de extinción de incendios en la sala de irradiación. El sistema de control del sistema de extinción de incendios tendría que estar situado fuera de la sala de irradiación para poder activar el sistema sin necesidad de que el personal penetre en la sala de irradiación.

8.92. Las salas de irradiación equipadas con sistemas de aspersión de agua deberían tener una válvula de cierre fuera de la sala de irradiación para impedir que se inunden las zonas de acceso no limitado. Al seleccionar el adecuado cabezal aspersor se debería tener en cuenta la temperatura tope máxima dentro de la sala de irradiación y los efectos en los cabezales de aspersión de su sometimiento a la radiación y al ozono durante largo tiempo.

8.93. Deberían existir dispositivos detectores de calor y de humo equipados con alarmas visibles y audibles para detectar la combustión en la sala de irradiación. El bastidor de la fuente radiactiva debería ser devuelto automáticamente a la posición totalmente blindada y habría que detener el sistema de posicionamiento del producto y los sistemas de ventilación si se activa el detector de calor o el de humos.

8.94. En los sistemas de extinción de incendios no se deberían utilizar productos químicos ni sustancias corrosivas que puedan dañar la integridad de las fuentes selladas.

Corte de electricidad

Energía eléctrica

8.95. Si se produce un corte de electricidad de más de diez segundos²⁰, el bastidor de la fuente radiactiva debería revertir automáticamente a la posición totalmente blindada.

8.96. Los componentes electrónicos esenciales utilizados en el sistema de control del irradiador deberían estar conectados a un suministro de electricidad ininterrumpible capaz de proporcionar la energía eléctrica necesaria para un cierre controlado del irradiador. El monitor de la sala de irradiación, los interseguos del control del acceso y los indicadores de la posición del bastidor de la fuente también deberían estar alimentados por el suministro de electricidad ininterrumpible para garantizar el cierre del sistema en condiciones de seguridad.

Energía no eléctrica

8.97. La interrupción de la energía no eléctrica (por ejemplo, energía neumática o energía hidráulica) utilizada para controlar o hacer funcionar cualquier dispositivo de seguridad del irradiador debería hacer que el bastidor de la fuente radiactiva volviese automáticamente a la posición totalmente blindada.

IRRADIADORES POR HACES DE ELECTRONES E IRRADIADORES CON RAYOS X

Consideraciones en materia de seguridad en el diseño de los aceleradores de electrones

8.98. Los fabricantes de aceleradores industriales tienen por objetivo diseñar instalaciones de irradiación por haces de electrones cuya explotación sea sencilla y fiable. Para conseguirlo, el diseñador debería ser consciente de la posibilidad de un accidente radiológico con consecuencias muy graves. Se puede producir una exposición involuntaria al investigar una avería del equipo o efectuar el

²⁰ En algunos lugares, suceden con frecuencia breves interrupciones del suministro de electricidad no superiores a diez segundos. En tales casos, podría ser perjudicial para algunos productos que se activase la parada automática del irradiador como consecuencia de breves cortes de electricidad. Es, pues, aceptable que se instalen medios para impedir paradas innecesarias y evitables del irradiador cuando se produzcan cortes de electricidad breves.

mantenimiento de subsistemas del acelerador en funcionamiento mientras las fases de la aceleración están desactivadas incorrectamente o solo lo están parcialmente. Asimismo, mientras queda capacidad de aceleración de electrones, existe la posibilidad de que la corriente oscura genere rayos X (véase la nota 15).

8.99. Habría que tener en cuenta la posibilidad de activación del equipo del acelerador y el equipo auxiliar del proceso (como el dispositivo de parada del haz y el sistema de posicionamiento del producto) y el blindaje al diseñar instalaciones de irradiación por haces de electrones que utilizan electrones con 10 MeV o una energía mayor. Dependiendo de la energía y de la potencia de salida del acelerador, los niveles de radiación debidos a los materiales activados en esos componentes podrán ser considerables inmediatamente después del cierre del acelerador.

8.100. Los procedimientos para el mantenimiento y la reparación del equipo, en particular para la retirada y la disposición final de componentes que pueden estar activados, deberían instaurar la adecuada seguridad radiológica para la protección de las personas que podrían estar expuestas a causa de los materiales radiactivos. Aunque sería de prever que la mayoría de los productos de la activación sean de período relativamente corto, la actividad poco después del cierre del acelerador podría ser importante en cuanto a exposición externa e interna del personal si se efectuasen operaciones como soldaduras o perforaciones en componentes del sistema activados.

8.101. Si bien la fiabilidad de la explotación y el funcionamiento del acelerador disminuye el riesgo de exposición involuntaria al disminuir la necesidad de reparaciones y mantenimiento, se puede reducir aún más el riesgo si gracias al diseño se facilita la solución de los problemas que se presenten. De ese modo también se disminuye la probabilidad de otros sucesos peligrosos como electrocuciones o sobreexposiciones a radiación de radiofrecuencia. A este respecto, habría que contemplar los siguientes elementos en el diseño de un acelerador industrial:

- medios físicos o mecánicos de desactivar el sistema principal de aceleración;
- monitorización incorporada de los parámetros del aparato;
- incorporación del diagnóstico a distancia del aparato.

8.102. Los parámetros de funcionamiento de los aceleradores (voltaje y corriente) deberían estar interasegurados con el sistema de posicionamiento del producto.

8.103. la puesta en servicio y las pruebas se deberían efectuar hasta los parámetros máximos de funcionamiento (voltaje y corriente) y con el equipo de manipulación del producto en operación.

Mecanismo de desactivación del sistema principal de aceleración

8.104. El mecanismo de desactivación del sistema principal de aceleración, que debería suprimir el voltaje aplicado, tendría que desactivar los medios utilizados para la aceleración sin causar daños a los componentes del aparato. El mecanismo debería desactivar el sistema de aceleración de manera tal que deje que siga funcionando el mayor número posible de otros subsistemas para fines de diagnóstico. El dispositivo de desactivación debería estar señalado claramente y el fabricante debería explicarlo en la documentación adjunta al acelerador.

Monitorización incorporada de los parámetros del aparato

8.105. Se debería monitorizar permanentemente los parámetros de funcionamiento del acelerador. La monitorización de los parámetros de funcionamiento da la oportunidad de llevar en un registro de sucesos información sobre las secuencias de fallos y averías para uso de los ingenieros de mantenimiento y a los efectos de planificar las reparaciones.

Incorporación del diagnóstico a distancia del aparato

8.106. Los puntos estratégicos para las pruebas electrónicas deberían estar situados fuera de la sala de irradiación para permitir a los operarios del irradiador y los equipos de mantenimiento efectuar diagnósticos del aparato sobre todo el sistema del acelerador sin tener que recurrir a desactivar el sistema principal de aceleración o a sortear los interseguos del control del acceso. En algunos tipos de acelerador, cabría estudiar el empleo de la monitorización por televisión en circuito cerrado.

Blindaje

8.107. Para la aplicación de electrones de alta energía, hay que sacar el haz de electrones del vacío en el acelerador a una atmósfera a presión ambiental (en una cámara llena de aire o de un gas inerte) a través de una delgada ventana que permita que los electrones pasen con la menor pérdida posible de energía.

8.108. Los electrones tienen una gama finita de materia que depende de su energía inicial y de la densidad del material absorbente. La gama máxima de

los electrones es pequeña en comparación con la de los rayos X que se generan como consecuencia de la interacción entre los electrones y la materia en la que inciden. Al calcular los requisitos de blindaje de las instalaciones de acelerador de electrones, solo habría que tener en cuenta los rayos X generados.

8.109. Hay dos tipos de rayos X generados por la interacción de electrones con materia: la radiación de frenado y los rayos X característicos. Solo se deberían considerar los rayos X característicos en el caso de los aceleradores de electrones hasta 300 keV que estén blindados con un elemento pesado como plomo o uranio empobrecido. En la mayoría de los casos, cuando se determinen los requisitos de blindaje contra la radiación, debería considerarse más importante la radiación de frenado que los rayos X característicos.

8.110. En la medida de lo posible habría que utilizar materiales que contengan elementos de número atómico bajo en las estructuras sometidas a irradiación por haces de electrones, para reducir al mínimo la generación de rayos X. Los cálculos del blindaje deberían efectuarse partiendo del supuesto de que todos los electrones son absorbidos por el elemento más pesado que pueda estar sometido a irradiación por el haz. Se debería tener en cuenta la composición de los materiales estructurales y el producto que se podría irradiar en la instalación. Los cálculos del blindaje se realizan generalmente para la energía máxima y la corriente máxima que puede suministrar el acelerador de electrones.

8.111. Se debería prestar atención a los rayos X “espurios”, sobre todo en los aceleradores que funcionan a alto voltaje con tubos aceleradores situados fuera de la sala de irradiación. Esa radiación espuria tiene varias causas:

- Los electrones retrodispersados pueden poseer suficiente energía para retornar por el tubo acelerador. Este efecto es especialmente pronunciado cuando electrones de alta energía inciden en una sustancia blanca que contiene elementos con alto número atómico, lo que hace que se generen rayos X.
- Durante el acondicionamiento del acelerador de electrones y durante su funcionamiento en condiciones de vacío relativamente poco, puede haber una corriente negra en el tubo acelerador que genere rayos X.

8.112. Salvo en el caso de los aceleradores de la gama de menor energía (hasta unos 500 keV) y los aparatos para cometidos especiales que funcionan a energías más altas, el concreto estándar será el material de blindaje preferido, por razones económicas y para reducir al mínimo el potencial de activación. Ejemplos de cálculo de grosor del blindaje y de trazado de los laberintos para el acceso de las

personas y el transporte del producto a la sala de irradiación y desde ella figuran en las Refs. [20, 25].

8.113. Cuando se ponga en servicio una instalación de irradiación por haces de electrones, se tiene que prestar especial atención a los “puntos candentes”, es decir, las pequeñas zonas de radiación de alta intensidad debida a la radiación espuria que pasa a través de los orificios del blindaje. Se debería reducir a niveles aceptables la radiación que pasa a través de los orificios, cosa que se hace a menudo empleando blindaje extra, por ejemplo blindaje de plomo o acero colado. Se debería poder utilizar la experiencia del fabricante en lo relativo a instalaciones del mismo tipo o de tipo similar existentes.

Consideraciones en materia de seguridad en el diseño de instalaciones de irradiación con rayos X

8.114. En una instalación de irradiación con rayos X, se deberían seguir las recomendaciones formuladas anteriormente para los aceleradores por haces de electrones, ya que el sistema de rayos X consiste en una instalación de irradiación por haces de electrones asociada a un blanco de alto número atómico en que se produce radiación de frenado. Concretamente, el mecanismo principal de desactivación del sistema de aceleración, la monitorización incorporada de los parámetros del aparato y la incorporación del diagnóstico a distancia del aparato, tal como se han descrito respecto de los aceleradores de electrones, se aplican asimismo a las instalaciones de irradiación con rayos X.

8.115. Como el diseño del blindaje de las instalaciones de irradiación por haces de electrones parte de la premisa de la probable producción de rayos X en los componentes del sistema y el blindaje, la evaluación de los requisitos de blindaje de una instalación de irradiación con rayos X es comparable a la de las instalaciones de irradiación por haces de electrones, salvo por el hecho de que en una instalación de irradiación con rayos X los electrones se convierten en rayos X de manera conocida y previsible. Esto hace que los supuestos sobre la generación de radiación de frenado sean menos inciertos que los referentes a las instalaciones de irradiación por haces de electrones. La eficiencia de la conversión de los electrones en rayos X, y por ende la intensidad del haz de rayos X que surge, es mayor para un blanco de rayos X diseñado especialmente que para el proceso secundario de generación de radiación de frenado por electrones que incide en el equipo del proceso o el equipo de posicionamiento del producto, como sucedería en una instalación de irradiación por haces de electrones.

8.116. Por consiguiente, el grosor de la barrera situada directamente ante el haz (barrera primaria) debería ser considerablemente mayor en una instalación de irradiación con rayos X que en una instalación de irradiación por haces de electrones. De modo similar, los rayos X dispersos tendrán una intensidad mayor en una instalación de irradiación con rayos X que en una instalación de irradiación por haces de electrones. Se debería instalar un blindaje adicional en las barreras secundarias y en las vías de dispersión adicionales en los laberintos de entrada y salida en una instalación de irradiación con rayos X.

8.117. Al calcular el blindaje de las instalaciones de irradiación con rayos X que funcionan a 5 MeV o más, habría que tener en cuenta la generación de neutrones en el blanco de los rayos X y su propagación. Aunque el ritmo de fluencia de los neutrones puede no ser un factor importante en la activación del producto que se irradia, el término fuente de neutrones puede tener una influencia sustancial en el diseño final del blindaje y los laberintos.

8.118. A causa del potencial de activación a energías más altas, los blindajes de las instalaciones de irradiación con rayos X, especialmente los de la barrera primaria, no deberían ser de metal. El concreto, que tiene un número atómico efectivo relativamente bajo, es el material de construcción preferido para esos blindajes.

8.119. Al diseñar instalaciones de irradiación con rayos X se debería tener en cuenta la posibilidad de activación del blanco de los rayos X, el equipo del acelerador y el equipo auxiliar del proceso (como el dispositivo de parada del haz y el sistema de posicionamiento del producto) y del blindaje. Dependiendo de la energía y de la potencia de salida del acelerador de rayos X, los niveles de radiación debidos a los materiales activados en esos componentes podrán ser considerables inmediatamente después del cierre del acelerador.

8.120. Los procedimientos que habrán de seguirse para el mantenimiento y la reparación del equipo, en particular para la retirada y la disposición final de componentes que pueden estar activados, deberían instaurar la adecuada seguridad radiológica para la protección de las personas que podrían estar expuestas a causa de los materiales radiactivos. Aunque sería de prever que la mayoría de los productos de la activación sean de período relativamente corto, los riesgos debidos a los materiales radiactivos presentes poco después del cierre del acelerador podrían ser importantes en cuanto a la posible exposición externa e interna del personal si se efectuasen operaciones como soldaduras o perforaciones en componentes del sistema activados.

MODIFICACIONES DE LA INSTALACIÓN

8.121. Toda modificación de la instalación de irradiación podrá necesitar la aprobación del órgano regulador. Las modificaciones deberían ser efectuadas únicamente por personas convenientemente cualificadas. Las modificaciones deberían ser comprobadas minuciosamente para asegurarse de que se hayan efectuado correctamente y de que no se haya puesto en peligro la seguridad de la instalación de irradiación.

8.122. La entidad explotadora de la instalación de irradiación debería consultar a una persona experta en el tema, por ejemplo a un experto cualificado, y solicitar la aprobación del órgano regulador antes de efectuar cualquier modificación que pudiese causar un peligro radiológico. Estos son algunos ejemplos de esas modificaciones:

- modificaciones de los procedimientos de explotación;
- modificaciones del sistema de control de la seguridad;
- modificaciones importantes del irradiador;
- carga, reposición, retirada o redistribución de fuentes radiactivas, o reorientación de haces de electrones, que difieran de algún modo de lo que aprobó el órgano regulador;
- cambios de personal fundamental o de asesores.

9. COMPROBACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

9.1. Las NBS [2], en el párr. IV.16 g) del apéndice IV, dicen que la entidad explotadora debería “velar por que se ejecuten actividades adecuadas de mantenimiento, ensayo, inspección y revisión técnica, según sea preciso para que las fuentes puedan seguir satisfaciendo durante toda su vida útil los requisitos de protección y seguridad previstos en el diseño”.

9.2. Para garantizar la explotación continuada en condiciones de seguridad de la instalación de irradiación, la entidad explotadora debería establecer un programa oficial de mantenimiento y pruebas y ensayos para verificar regularmente todas las funciones de seguridad. Habría que efectuar las siguientes acciones periódicamente (o a los intervalos que se señalan a continuación):

- Se debería prestar especial atención a efectuar pruebas regulares del correcto funcionamiento de los componentes del sistema de interseguros,

de conformidad con las instrucciones del fabricante del equipo. Esas pruebas deberían ser realizadas por personas adecuadamente cualificadas en presencia de un oficial de protección radiológica.

- Los detectores de radiación portátiles deberían ser calibrados antes de que se utilicen por primera vez, después de cada reparación y a los intervalos que se especifiquen en los requisitos reglamentarios. La prueba previa a la primera utilización tendría que comprender una prueba del comportamiento del instrumento en caso de sobrecarga; es decir, que se debería ensayar el instrumento para verificar que funcionará correctamente hasta la máxima tasa de dosis previsible.
- Habría que examinar periódicamente el cable de izado del bastidor de la fuente y los cables guía (véase la nota 12). Habría que reemplazar los cables en los intervalos recomendados por el fabricante.
- Habría que efectuar pruebas periódicas de fugas de las fuentes radiactivas (véase la nota 12) de la manera y con la frecuencia recomendadas por el suministrador de la fuente y de conformidad con los requisitos reglamentarios.

COMPROBACIONES SEMANALES

9.3. Habría que realizar las siguientes pruebas semanalmente:

- *Irradiadores gamma de categorías II y IV.* Si el sistema de evacuación del aire de la sala de irradiación filtra el aire, se debería utilizar un detector de radiación portátil para comprobar los niveles de radiación en los bancos de los filtros del aire. Se deberían registrar todas las lecturas.
- *Irradiadores gamma de categorías III y IV.* Se debería utilizar un detector de radiación portátil para comprobar los niveles de radiación en los lechos de los filtros y de resina desionizadores. Se deberían registrar todas las lecturas. Si el lecho de resina desionizador posee un monitor continuo para comprobar la contaminación del agua de la piscina, no son necesarios otros estudios.
- *Irradiadores gamma de categorías III y IV.* Se debería comprobar si el sistema desionizador del agua funciona correctamente.
- *Irradiadores gamma de categorías III y IV.* Se debería comprobar el refrigerador del agua de la piscina de almacenamiento, y habría que asegurarse de que la temperatura del agua de la piscina esté dentro de los límites autorizados.
- Se debería comprobar si funcionan el sistema de control del acceso, el dispositivo de parada de emergencia de la sala de irradiación y el sistema

de detección de entradas de personal. Esta prueba podrá llevarse a cabo cuando se prueben o activen los componentes durante la secuencia de puesta en marcha del irradiador.

COMPROBACIONES MENSUALES

9.4. Habría que efectuar las siguientes pruebas adicionales mensualmente:

- Compruébese si el monitor de radiación de la sala de irradiación funciona correctamente; la prueba debería realizarse exponiendo la sonda del monitor a una fuente de verificación hasta que suene la alarma.
- Compruébese, siguiendo las instrucciones del fabricante, que se impide el acceso a la sala de irradiación cuando suena la alarma del monitor de la sala de irradiación al exponer la sonda del monitor a una fuente de verificación. Verifíquese el procedimiento de salida de emergencia comprobando si se puede abrir desde dentro la puerta de acceso del personal y si funcionan correctamente otros medios de salida en caso de emergencia.
- Compruébese si el monitor de radiación de la salida del producto funciona correctamente; la prueba debería efectuarse con el irradiador en funcionamiento exponiendo la sonda del monitor a una fuente de verificación hasta que suene la alarma. El sistema de posicionamiento del producto debería detenerse y deberían desactivarse los medios utilizados para producir radiación.
- *Irradiadores gamma de categorías III y IV.* Compruébese si funciona correctamente el aparato de monitorización radiológica continua del sistema de circulación del agua de la piscina de almacenamiento.
- Compruébense los controles del cierre del irradiador mientras esté funcionando si es posible. Compruébense el interruptor de alta temperatura, los interruptores de posición del bastidor de la fuente, el control auxiliar del acceso y el detector de terremotos.
- Verifíquense el mecanismo de izado del bastidor de la fuente, el sistema de ventilación y cualesquiera aparatos similares que contribuyen al funcionamiento en seguridad del irradiador, y el mecanismo de posicionamiento del producto.
- Contrólese si otros elementos principales del equipo relacionados con los medios utilizados para producir radiación funcionan correctamente y no muestran señales de desgaste excesivo ni de un posible fallo o avería.
- Contrólese si todos los contenedores del producto están intactos y en buen estado.

- *Irradiadores de categorías III y IV.* Contrólense si funcionan correctamente los interruptores del control del nivel del agua (nivel normal y nivel anormal).
- Compruébese el correcto funcionamiento del dispositivo de parada de emergencia de la consola de control y de cualesquiera otras ubicaciones.
- Compruébese si funcionan correctamente todas las señales de advertencia y alarmas visuales. Compruébese si se encienden todas las luces de los indicadores de control.
- Inténtese hacer funcionar el irradiador después de haber infringido deliberadamente el procedimiento de puesta en marcha aprobado, para asegurarse de que los interseguros y los controles secuenciales funcionan correctamente.
- Verifíquese si el suministro de electricidad ininterrumpible²¹ (véase la nota 12) funciona correctamente y puede proporcionar energía eléctrica suficiente para cerrar con seguridad el irradiador.
- Verifíquese si los detectores de calor y los detectores de humo funcionan correctamente.
- Verifíquese si funcionan correctamente los interseguros de los tapones extraíbles del blindaje de la sala de irradiación.
- *Irradiadores gamma de categorías III y IV.* Evalúese la cantidad de agua añadida a la piscina de almacenamiento para determinar si la cantidad de agua de reposición añadida es anormal (demasiada o demasiado escasa) Si la cantidad de agua añadida a la piscina es anormalmente elevada, investigúese si se está escapando agua de la piscina. Si la cantidad de agua añadida a la piscina de almacenamiento es anormalmente escasa, investigúese el funcionamiento del sistema de abastecimiento de agua de reposición.
- Verifíquese si los avisos (por ejemplo, las listas de las personas y entidades a quien se habrá de avisar en caso de emergencias) y los símbolos colocados siguen estando en sus lugares y son legibles y claramente visibles.
- Pruébese el temporizador de retardo de seguridad activándolo, esperando a que haya transcurrido el plazo y luego intentando ponerlo en marcha para verificar que no se puede poner en marcha el sistema.

²¹ Un suministro de electricidad ininterrumpible es un suministro de electricidad auxiliar que, en caso de corte o de fluctuaciones de la electricidad, deja tiempo suficiente para cerrar ordenadamente el sistema o para que se ponga(n) en marcha un(os) generador(es) de socorro.

9.5. Si alguna de las pruebas indica la existencia de un fallo o avería o si los interseguros no funcionan correctamente, no se debería utilizar el irradiador mientras no se hayan hecho las reparaciones precisas. La vuelta del irradiador a su explotación normal tendría que ser aprobada por un oficial de protección radiológica.

COMPROBACIONES SEMESTRALES

9.6. Semestralmente (o a otros intervalos aprobados), en el caso de los irradiadores gamma de categorías II y IV, debería realizarse una inspección de toda la longitud de los cables del sistema de izado y suspensión del bastidor de la fuente. Habría que reemplazar los cables que muestren señales de desgaste excesivo. Además, se tendría que inspeccionar visualmente el dispositivo protector de la fuente para asegurarse de que conserva su integridad.

COMPROBACIÓN DE LA ESTANQUEIDAD DE LAS FUENTES RADIATIVAS

9.7. Se deberían efectuar pruebas de rutina para detectar posibles fugas de sustancias radiactivas de las fuentes selladas (véase la nota 12). En los irradiadores del tipo piscina de almacenamiento (categorías III y IV), se podrán utilizar monitores de radiación del agua de la piscina o el sistema de tratamiento del agua como indicadores de fugas de la fuente, o bien recoger muestras del agua de la piscina para analizarlas. En cuanto a los irradiadores de almacenamiento en seco, se deberían recoger muestras, normalmente muestras obtenidas por frotis, de las ubicaciones en que sería de prever que se acumulase la contaminación de una posible fuente con fugas.

9.8. Se deberían efectuar pruebas de estanqueidad con los intervalos que prescriba el órgano regulador. Normalmente, en los irradiadores de tipo piscina de almacenamiento, en los que las pruebas de estanqueidad consisten en monitorizar los niveles de radiación en el agua o el sistema de tratamiento del agua, las pruebas de estanqueidad de las fuentes selladas se realizan permanentemente. En los irradiadores de almacenamiento en seco se deberían efectuar pruebas de estanqueidad cada seis meses.

9.9. Si las pruebas de estanqueidad no muestran una actividad superior al nivel de intervención prescrito, se deberían documentar los resultados de la prueba

y conservarlos como referencia para el futuro. Los registros de las pruebas de estanqueidad deberían comprender:

- la identificación del irradiador;
- la fecha de la prueba;
- el método de la prueba de estanqueidad;
- la identificación del instrumento de medición por su fabricante y modelo y número de serie;
- la fecha de la calibración más reciente del instrumento de medición;
- el cálculo de la actividad detectada;
- la evaluación de los resultados de la prueba;
- el nombre de la persona responsable de la prueba.

9.10. Las pruebas que revelen la presencia de contaminación a niveles superiores al nivel de intervención prescrito deberían ser consideradas indicios fehacientes de que la fuente sellada tiene fugas. En tal caso, se debería interrumpir inmediatamente el funcionamiento del irradiador y habría que adoptar las medidas apropiadas para evitar la exposición del personal y la ulterior dispersión de sustancias radiactivas. Esas medidas deberían comprender la parada del sistema de ventilación de la sala de irradiación y de la circulación del agua de la piscina de almacenamiento. La entidad explotadora debería aislar inmediatamente la zona y notificarlo al órgano regulador, el fabricante del equipo y el suministrador de la fuente radiactiva.

9.11. La retirada de una fuente radiactiva dañada, deteriorada o con fugas y su transferencia a un destinatario autorizado pueden necesitar una autorización especial del órgano regulador. La fuente debería ser retirada sin demora una vez tomada la decisión de hacerlo. La retirada debería ser efectuada por, o bajo la supervisión y en presencia física de, una persona que esté cualificada y, si lo exige el órgano regulador, autorizada específicamente a realizar esas actividades. Ninguna persona no autorizada o no capacitada debería tratar de examinar o descontaminar el irradiador en ninguna circunstancia.

REGISTROS

9.12. Debería llevarse un cuaderno o archivo en el que se registren todas las pruebas, las tareas de mantenimiento, las modificaciones y los cambios efectuados en el irradiador. Asimismo se debería registrar en un cuaderno o archivo todas las utilizaciones del irradiador.

9.13. Los resultados de todas las pruebas antes descritas deberían registrarse en una lista de control oficial firmada por un oficial de protección radiológica que haya presenciado las pruebas.

9.14. Como el fallo de los sistemas de seguridad podría causar la exposición del personal, los inspectores del órgano regulador deberían prestar especial atención a esos registros. Los registros deberían llevarse y ser conservados en conformidad con los períodos prescritos por el órgano regulador.

MANTENIMIENTO Y MODIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN

9.15. Las operaciones de mantenimiento efectuadas en la instalación deberían coordinarse con el fabricante del irradiador y de la fuente de radiación para garantizar que en la instalación se han efectuado las apropiadas reparaciones, modificaciones y actualizaciones del sistema. Se ha citado la falta de coordinación del mantenimiento con el fabricante de la fuente como factor que contribuyó a un accidente en un irradiador gamma [1].

9.16. El órgano regulador podrá autorizar específicamente a los suministradores y fabricantes de fuentes radiactivas a proporcionar conocimientos técnicos especializados y a realizar funciones de mantenimiento que a la entidad explotadora le sea imposible llevar a cabo o cuyo costo le resulte prohibitivo. La entidad explotadora debería coordinarse con el fabricante para determinar el tipo y la amplitud de los servicios que puede y debería prestar.

9.17. En los sistemas de acelerador, el fabricante puede proporcionar conocimientos especializados para ajustar los imanes, las actualizaciones de componentes específicos del equipo y/o la sustitución de las guíasondas o mejoras de estas. En los irradiadores gamma, el suministrador de la fuente puede proporcionar equipo y conocimientos técnicos para inspeccionar la integridad de la fuente. Esta asistencia puede comprender el empleo de cámaras subacuáticas para inspeccionar las fuentes selladas de la instalación de irradiación o la prueba destructiva de cápsulas de fuentes, llevada a cabo en las instalaciones de celda caliente del fabricante.

9.18. El mantenimiento regular de todos los componentes de una instalación de irradiación debería realizarse de conformidad con las instrucciones del fabricante.

9.19. La entidad explotadora no debería estar obligada a comunicar al órgano regulador que está efectuando procedimientos de mantenimiento de rutina,

comprendido el cambio de componentes que no darán lugar a un peligro radiológico ni pondrán en riesgo la seguridad del irradiador, siempre y cuando no se infrinjan los requisitos y condiciones reglamentarios.

9.20. Los fabricantes deberían emitir notificaciones para advertir a las entidades explotadoras y al órgano regulador de cualesquiera situaciones no previstas anteriormente que pudieren causar accidentes, o que hayan dado lugar a peligros o posibles peligros. Las notificaciones deberían explicar las medidas correctoras necesarias. Las entidades explotadoras deberían cuidar de que se apliquen las medidas correctoras, salvo que hubiese razones de peso para no hacerlo, en cuyo caso habría que pedir la conformidad del órgano regulador y dejar constancia de los motivos y comunicarlos al fabricante.

9.21. En determinadas situaciones, puede ser necesario sortear o desconectar un interseguro para reparar componentes de sistemas del irradiador. Por ejemplo, la avería del monitor de radiación de la sala de irradiación debería impedir el acceso a la sala de irradiación, porque no se puede verificar independientemente con el sistema de control si se han desactivado los medios utilizados para producir radiación. En tales circunstancias, podría ser necesario desactivar parte del sistema de interseguros para entrar en la sala de irradiación y reemplazar o reparar algún aparato.

9.22. Solo se debería sortear o desactivar un interseguro con la aprobación expresa por escrito de un oficial de protección radiológica. Todas las circunstancias que exijan eludir o desactivar un componente de un interseguro deberían documentarse con una descripción de las circunstancias y las medidas adoptadas, y con la aprobación específica de un oficial de protección radiológica.

9.23. Si fuese necesario sortear o desactivar un interseguro, debería obtenerse una verificación independiente, o bien de que la fuente radiactiva se encuentra en la posición totalmente blindada, o bien de que el acelerador está apagado. Esta verificación se podrá obtener con medios como la interrupción de la corriente eléctrica del acelerador, la determinación de la posición del bastidor de la fuente mediante la observación del izador o los cables del bastidor de la fuente, el empleo de sensores o detectores que monitoricen la posición del bastidor de la fuente (por ejemplo, interruptores limitadores o cámaras subacuáticas) u otros métodos que no exijan penetrar en la sala de irradiación. Todos esos métodos deberían definirse en procedimientos que estén disponibles en el irradiador.

9.24. El componente afectado del sistema de interseguros debería ser eludido o desactivado solo el tiempo necesario para penetrar en la sala de irradiación

y solucionar el problema (por ejemplo, para reparar o reemplazar el monitor), y durante ese tiempo el irradiador no funcionará. Se deberá penetrar en la sala de irradiación siguiendo los procedimientos habituales, entre ellos el empleo de un detector de radiación portátil para monitorizar los niveles de radiación en la entrada.

9.25. De ser necesario sortear o desactivar un componente de un sistema de seguridad, se debería comprobar si dicho componente funciona correctamente después de haber sido colocado de nuevo en su lugar. La prueba que se efectuará dependerá de qué componente se trate, pero debería ser la misma que la prueba de rutina que se realice para verificar si funciona correctamente. Tras verificar que los interseguros han sido devueltos a su función prevista en el diseño, debería obtenerse la aprobación de un oficial de protección radiológica para el retorno a las operaciones normales.

9.26. Como se debe evitar sortear o desactivar cualquier componente del sistema de interseguros salvo en circunstancias anormales, las funciones de mantenimiento de rutina y preventivo deberían concebirse de manera que eviten la necesidad de eludir los interseguros. Por ejemplo, se deben reemplazar periódicamente los monitores de la sala de irradiación para evitar que fallen mientras el irradiador esté en funcionamiento. El intervalo para reemplazar los detectores dependerá de la cantidad de horas de funcionamiento del irradiador y de la intensidad del campo de radiación a que estén sometidos los detectores.

10. TRANSPORTE, CARGA Y DESCARGA DE FUENTES RADIATIVAS

TRANSPORTE

10.1. Las NBS [2], en el párr. 2.9, dicen que el transporte de fuentes radiactivas deberá estar sujeto a lo prescrito por el Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos [31] y a toda convención internacional aplicable. Cuando se transporten fuentes de un irradiador entre Estados, se deberían tener en cuenta las partes pertinentes del Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [16] y las complementarias Directrices sobre importación y exportación de fuentes radiactivas [18].

10.2. Habría que adoptar medidas para asegurar que se mantienen en condiciones de seguridad los materiales radiactivos durante su transporte para impedir que sean robados o dañados y asegurar que no se ceda inadecuadamente el control sobre ellos. Se dan más recomendaciones y directrices sobre la seguridad física de los materiales radiactivos en el transporte en la publicación N° 9 de la *Colección de Normas de Seguridad Física Nuclear del OIEA* [32].

CARGA Y DESCARGA DE FUENTES

Manipulación de fuentes radiactivas

10.3. La descarga y manipulación de fuentes radiactivas a su llegada a la instalación de irradiación o la carga y manipulación de fuentes a su expedición desde la instalación pueden ser operaciones peligrosas y se deberían realizar bajo estrecha supervisión a los efectos de la protección radiológica. En esas operaciones, la seguridad depende de la cooperación entre quienes tienen la responsabilidad primordial de la protección radiológica y quienes cargan o descargan las fuentes radiactivas. En muchos casos, de la carga y descarga se encargará el suministrador de la fuente, que podrá ser autorizado específicamente por el órgano regulador a realizar esa actividad. La responsabilidad fundamental de la seguridad mientras las fuentes radiactivas están en la instalación de irradiación corresponde a la entidad explotadora.

10.4. Los contenedores de fuentes, que son normalmente embalajes para el transporte, se podrán introducir en el irradiador por diferentes vías (por ejemplo, por el techo, siguiendo el laberinto o a través de la pared), según el tipo de irradiador. En los irradiadores de almacenamiento de las fuentes en medio húmedo, se debería colocar el embalaje para el transporte en el fondo de la piscina de almacenamiento y habría que ventilarlo totalmente. Se deberían utilizar instrumentos de mango largo para manipular las fuentes radiactivas bajo el agua. En los irradiadores de almacenamiento de las fuentes en seco, habría que utilizar instrumentos a distancia para manipular las fuentes radiactivas.

10.5. La entidad explotadora debería cuidar de que se efectúe una evaluación de todos los peligros que entrañen la carga, la descarga y la manipulación de fuentes radiactivas. Para esas actividades, la entidad explotadora debería asegurar la optimización de la protección y la seguridad y, en concreto, tendría que asegurar que no corran peligro los interseguros ni el sistema de control del irradiador. Habría que incorporar todos los planes de contingencia necesarios en las instrucciones escritas para la explotación de la instalación.

Estudio de los embalajes para el transporte

10.6. Se deberían efectuar estudios radiológicos de los embalajes para el transporte en los que hubiere fuentes radiactivas cuando se reciban en instalaciones de irradiación. Personas adecuadamente capacitadas tendrían que realizar los siguientes estudios:

- *Estudio de la radiación externa.* Antes de efectuar los estudios de contaminación, la entidad explotadora debería verificar que las tasas de dosis debidas al embalaje para el transporte no superen los requisitos reglamentarios. Se debería hacerlo mediante mediciones efectuadas en la superficie del embalaje y a un metro de su superficie. Se debería efectuar un estudio del vehículo de transporte, comprendidas sus zonas ocupadas, para verificar que cualquier desplazamiento del embalaje que pueda haberse producido durante el transporte no ha dado lugar a niveles de radiación elevados en el vehículo y en torno a él.
- *Estudio de la contaminación eliminable externa.* La entidad explotadora tendría que efectuar un estudio de contaminación de la superficie externa del embalaje para el transporte de la fuente radiactiva, que debería consistir en una serie de frotis para comprobar la presencia de contaminación eliminable.
- *Estudio de la contaminación eliminable interna.* Tendría que haberse comprobado que las fuentes selladas no tienen fugas antes de colocarlas en el embalaje para el transporte. La entidad explotadora tendría que efectuar pruebas para determinar si durante el transporte ha corrido peligro la integridad de la fuente verificando la presencia de contaminación eliminable dentro del embalaje para el transporte. Esa prueba, para cuya realización el suministrador del embalaje para el transporte proporcionará los procedimientos, consiste en hacer pasar un fluido (aire o agua) por la cavidad interna del embalaje para el transporte, filtrar partículas del flujo del fluido y medir los filtros para detectar la contaminación.

10.7. Si las tasas de exposición o los niveles de contaminación sobrepasan los límites autorizados, comprendidos los especificados en la documentación de transporte, o sobrepasan los límites fijados por el suministrador, habría que adoptar medidas para proteger del peligro a los trabajadores y miembros del público. Se debería informar inmediatamente de la situación a un oficial de protección radiológica. También se debería informar al remitente del envío, y habría que notificarlo a los órganos reguladores competentes conforme prescriban los reglamentos. Se debería efectuar una investigación de la causa

de las elevadas tasas de dosis y/o de la contaminación y se deberían tomar las medidas de corrección apropiadas antes de comenzar la carga de la fuente.

10.8. Para devolver el embalaje de transporte vacío después de la carga de una fuente, se debería efectuar la misma serie de estudios, pero el estudio de la contaminación interna debería consistir en tomar por frotis muestras del interior de la cavidad del embalaje, en lugar de en la prueba antes descrita. Si se devuelven fuentes selladas al fabricante, habría que efectuar la misma serie de estudios que se ha descrito para el recibo de fuentes radiactivas en la instalación, salvo el estudio de la contaminación eliminable interna.

11. PREPARACIÓN Y RESPUESTA PARA CASOS DE EMERGENCIA

11.1. Las obligaciones, las responsabilidades y los requisitos básicos en materia de preparación y respuesta para casos de emergencia se establecen en la Ref. [33] y en las NBS [2]. Figuran directrices sobre preparación para una emergencia nuclear o radiológica en la publicación N° GS-G-2.1 de la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* [34]. En la Ref. [35] figura información sobre cómo elaborar y mantener una capacidad de respuesta de emergencia eficaz.

11.2. Si una evaluación de la seguridad llega a la conclusión de que es probable que un accidente afecte a los trabajadores o a los miembros del público, la entidad explotadora tiene la obligación de preparar planes de emergencia para asegurar la protección y la seguridad de todos a quienes pueda afectar el accidente. Se podrá consultar a un experto cualificado cuando se elaboren planes de emergencia.

11.3. La respuesta a una emergencia consiste en medidas iniciales que habrá que tomar inmediatamente y en medidas de seguimiento que se tomarán posteriormente. Algunas medidas de seguimiento podrá tomarlas el fabricante del irradiador o de la fuente radiactiva en lugar de la entidad explotadora, dependiendo de los recursos necesarios para aplicarlas.

11.4. Al especificar las medidas que habrán de adoptarse en respuesta a una emergencia, el plan de emergencia debería prever reducir al mínimo la exposición a la radiación, recuperar el control de la situación para devolver el emplazamiento a sus condiciones normales y tratar a todas las personas que hayan resultado heridas o sobreexpuestas. En general, aparte de los posibles peligros debidos a los productos de activación que pueda haber en el lugar, la desconexión de la corriente eléctrica de un acelerador disminuirá o eliminará los

ulteriores peligros de irradiación en un irradiador por haces de electrones o un irradiador con rayos X.

Habría que tener en cuenta la posibilidad de contaminación al especificar las medidas inmediatas que podrán adoptarse en respuesta a una emergencia relativa a un irradiador gamma. Las medidas inmediatas en respuesta a una emergencia que ataña a un irradiador gamma deberían consistir, en función de las circunstancias, en lo siguiente:

- evacuar la zona próxima al peligro;
- informar a las personas que se encuentren en las proximidades inmediatas del accidente;
- prestar los primeros auxilios a los heridos;
- notificar lo sucedido a un oficial de protección radiológica;
- evaluar la causa y la amplitud del peligro;
- colocar los avisos y barreras apropiados para impedir las entradas no autorizadas en la zona, comprendida la construcción de un blindaje provisional en caso de que se haya puesto en peligro la integridad del blindaje, hasta que hayan concluido las operaciones de recuperación posteriores al accidente.

ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA

11.5. Basándose en la evaluación de la seguridad realizada para la instalación, la entidad explotadora tendría que elaborar un plan de emergencia, el cual debería contener medidas de defensa en profundidad para hacer frente a sucesos identificados. Habría que evaluar la fiabilidad de los sistemas de seguridad (comprendidos los procedimientos administrativos y operacionales y el diseño de la instalación y el equipo). La experiencia operacional, las enseñanzas extraídas de emergencias en instalaciones similares [1] y los errores cometidos en el mantenimiento y en programas de gestión de la calidad también son fuentes de información para elaborar los planes de emergencia.

11.6. En general, las siguientes situaciones deberían ser consideradas sucesos previsibles razonablemente:

- Irradiadores gamma, irradiadores por haces de electrones e irradiadores con rayos x:
 - mal funcionamiento o desconexión deliberada del sistema de interseguros y de los sistemas de control del acceso;

- incendio o explosión en la sala de irradiación;
 - atasco de los sistemas de cintas de transporte automáticos;
 - fenómenos naturales, entre ellos, terremotos, tornados, inundaciones u otros fenómenos, según proceda en función de la ubicación de la instalación.
- Irradiadores gamma únicamente:
- el bastidor de la fuente radiactiva está atascado en una posición no blindada;
 - alarma de radiación del monitor del orificio de salida del producto o del monitor de radiación del agua de la piscina de almacenamiento;
 - detección de fuentes radiactivas que tienen fugas o contaminación de la piscina de almacenamiento de la fuente, o una alarma causada por la contaminación del agua de la piscina;
 - indicador del nivel del agua anormal (bajo o alto), una pérdida o fuga anormal de agua de la piscina de almacenamiento de la fuente;
 - pérdida prolongada de energía eléctrica.

11.7. Con respecto a los irradiadores gamma, habría que prever la posibilidad de un accidente durante el transporte de las fuentes radiactivas. El planeamiento de la respuesta de emergencia a accidentes de transporte no atañerá probablemente solo a la entidad explotadora. La entidad explotadora debería ponerse en contacto con el suministrador y el transportista de las fuentes radiactivas para asegurar que se aborde correctamente la planificación de emergencia con respecto al transporte de fuentes radiactivas a la instalación y desde ella.

11.8. El plan de emergencia debería ser específico de cada situación y comprender, según proceda:

- el señalamiento de los accidentes previsibles razonablemente y de otros incidentes o sucesos y de sus consecuencias previstas;
- los procedimientos de comunicación, comprendida una lista de las personas y entidades a quienes se avisará en caso de emergencia;
- las medidas recomendadas para las situaciones que se especifiquen, la lista de personas capaces de aplicar y asumir la responsabilidad de las distintas partes del plan, y especificación de las situaciones que exijan la evacuación, junto con los procedimientos de ejecución;
- una declaración acerca de las medidas inmediatas que podrán salvar vidas;
- las responsabilidades institucionales y los nombres de las personas capaces de adoptar medidas para desempeñarlas;
- la disponibilidad de equipo de emergencia, comprendida una lista del equipo que debería estar disponible y su ubicación;

- la disponibilidad de material de primeros auxilios, comprendida una lista del material que debería estar disponible, su ubicación y los nombres de las personas capacitadas para utilizarlo (cuando proceda);
- un esquema de los procedimientos de recuperación con posterioridad a la emergencia concebidos para restablecer las condiciones normales de explotación.

11.9. Los procedimientos de emergencia deberían consistir en unas instrucciones concisas, inequívocas y fáciles de seguir. Deberían indicar las situaciones que exigen medidas de emergencia y especificar la actuación que deberá seguirse inmediatamente para reducir al mínimo las exposiciones a la radiación de las personas situadas en la proximidad del irradiador. Deberían prever la aplicación de un plan de contingencia escrito para penetrar en la sala de irradiación.

11.10. El plan debería contener los nombres y números de teléfono de las personas responsables a las que se debe contactar. Dentro de la instalación habría que colocar avisos claramente visibles en ubicaciones donde podrían ser necesarios, que indiquen:

- cómo contactar a un oficial de protección radiológica o a otra persona apropiada, a quien se debería notificar inmediatamente toda emergencia;
- cómo avisar a la brigada de bomberos y a los servicios médicos;
- dónde encontrar equipo de emergencia.

11.11. En una emergencia, se debería mantener el enlace con los servicios u organismos exteriores competentes, según convenga a la situación. Esos servicios u organismos serán los servicios de ambulancias, bomberos, policía y hospital y las autoridades locales y nacionales. En caso de accidente, la entidad explotadora tiene la obligación de poner en marcha los procedimientos de emergencia, coordinar la respuesta inicial de los servicios de emergencia y de otros órganos y de informar al órgano regulador y a todas las partes interesadas.

11.12. En las emergencias en las que se requieran medidas de seguimiento para remediar la situación, por ejemplo que un bastidor de la fuente haya quedado atorado en un irradiador gamma, habría que contactar al fabricante o al suministrador del equipo, además de al órgano regulador. El suministrador del equipo debería poseer conocimientos especializados sobre cómo abordar semejantes situaciones y puede aconsejar inmediatamente por teléfono.

EQUIPO DE EMERGENCIA

11.13. Las entidades explotadoras deberían cuidar de que se disponga fácilmente de todo el equipo necesario para afrontar las emergencias previsibles. Para los accidentes en los irradiadores gamma, debería haber los artículos que se enumeran a continuación. Las instalaciones de irradiador con fuentes de radiación producida por una máquina tal vez no precisen todos los instrumentos de detección de radiación mencionados. Se determinará el equipo específico necesario cuando se elabore el plan de emergencia de la instalación.

- Detectores de radiación adecuados y que funcionen para medir las tasas de dosis y la contaminación;
- alarmas y dosímetros de lectura directa personales (de preferencia, electrónicos);
- otros dosímetros personales (dosímetros termoluminiscentes o dosímetros de película);
- materiales para barreras y avisos;
- aparatos de comunicación (por ejemplo, teléfonos móviles, walkie-talkies);
- pilas de repuesto para los detectores de radiación, dosímetros electrónicos personales, teléfonos móviles y linternas;
- artículos de papelería apropiados, entre ellos un cuaderno de incidentes;
- manuales del equipo;
- equipo de primeros auxilios;
- copia de los procedimientos de emergencia.

11.14. El equipo de emergencia debería guardarse en un armario identificado claramente en un lugar fácilmente accesible. Se debería poner una lista del equipo de emergencia en el armario. Habría que efectuar auditorías periódicas e inmediatamente después de utilizar el equipo para asegurarse de que no falte ningún artículo y de que todos funcionan correctamente, o de que se reemplazan cuando sea necesario.

CAPACITACIÓN PARA CASOS DE EMERGENCIA

11.15. Todas las personas que desempeñen una función en los planes de emergencia deberían ser capacitadas adecuadamente para garantizar que desempeñen sus tareas con eficiencia y eficacia. Esa capacitación debería comprender la familiarización con los planes de emergencia y la comprensión de los mismos, junto con capacitación en utilización del equipo de emergencia. La capacitación debería ser revisada y registrada a intervalos adecuados.

11.16. La entidad explotadora tiene la obligación de informar a su personal de todo plan de emergencia que pudiere atañer a su zona de trabajo y de la función que cada cual deberá desempeñar en caso de ponerse en práctica el plan, y debería organizar la capacitación del personal y los ejercicios de emergencia adecuados a cada situación. De esa capacitación debería formar parte el estudio de las enseñanzas extraídas de las emergencias anteriores.

11.17. A intervalos proporcionales a los posibles peligros, se deberían celebrar ejercicios de emergencia para comprobar la validez de los componentes críticos de los planes de emergencia. Además de para capacitar al personal, estos ejercicios sirven de evaluación de la adecuación del plan de emergencia. Todas las enseñanzas extraídas de la realización de ejercicios de emergencia deberían ser estudiadas, documentadas e incorporadas en los programas de capacitación o los planes de emergencia, según proceda.

REVISIONES PERIÓDICAS DE LOS PLANES DE EMERGENCIA

11.18. La entidad explotadora debería revisar el plan de emergencia a intervalos adecuados, que normalmente no deben ser superiores a 12 meses. Lo hará para asegurarse de que:

- estén al día los nombres de las personas de contacto y los detalles de cómo contactarlas (números de teléfono y de fax, direcciones de correo electrónico, etc.);
- el equipo de emergencia está disponible fácilmente y se mantiene correctamente;
- la planificación de contingencia sigue siendo adecuada para afrontar sucesos razonablemente previsibles.

11.19. Se deberían revisar los planes de emergencia siempre que se produzcan cambios operacionales de importancia y en conjunción con análisis y extracción de enseñanzas de accidentes ocurridos en instalaciones similares o con fuentes de radiación similares.

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, OIEA, Viena (1996).
- [2] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA: Edición de 2007, OIEA, Viena (2008).
- [4] COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1, OIEA, Viena (2007).
- [5] 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).
- [6] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL 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).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Notificación y autorización para utilizar fuentes de radiación: Suplemento de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.5, IAEA-TECDOC-1525, OIEA, Viena (2010).
- [8] 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).
- [9] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources, ICRP Publication 76, ICRP, Oxford, Nueva York y Tokyo (1997).
- [10] 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).

- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Case Studies in the Application of Probabilistic Safety Assessment Techniques to Radiation Sources: Final Report of a Coordinated Research Project, 2001–2003, IAEA-TECDOC-1494, OIEA, Viena (2006).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Inspección de las fuentes de radiación y aplicación coercitiva: Suplemento de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.5, IAEA-TECDOC-1526, OIEA, Viena (2010).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, oficina internacional del trabajo, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Workplace Monitoring for Radiation and Contamination, Practical Radiation Technical Manual, OIEA, Viena (2004).
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Colección Informes de Seguridad, N° 16, OIEA, Viena (2000).
- [16] Código de Conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, IAEA/CODEOC/2004, OIEA, Viena (2004).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security of Radioactive Sources, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 11, OIEA, Viena (2009).
- [18] Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005, OIEA, Viena (2005).
- [19] CONSEJO NACIONAL DE PROTECCIÓN Y MEDIDAS RADIOLÓGICAS, Radiation Protection for Particle Acelerador Facilities, Report N° 144, NCRP, Washington, DC (2003).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiological Safety Aspects of the Operation of Electron Linear Aceleradores, Colección de Informes Técnicos N° 188, OIEA, Viena (1979).
- [21] INSTITUCIÓN BRITÁNICA DE NORMALIZACIÓN, Recommendation for Data on Shielding from Ionizing Radiation, Part 1: 1966, Shielding from Gamma Radiation, BS 4094, BSI, Londres (1988).
- [22] INSTITUCIÓN BRITÁNICA DE NORMALIZACIÓN, Recommendation for Data on Shielding from Ionizing Radiation, Part 2: 1971, Shielding from Gamma Radiation, BS 4094, BSI, Londres (1988).
- [23] CONSEJO NACIONAL DE PROTECCIÓN Y MEDIDAS RADIOLÓGICAS, Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, Report N° 147, NCRP, Bethesda, MD (2004).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities, Colección de Informes de Seguridad N° 47, OIEA, Viena (2006).
- [25] CONSEJO NACIONAL DE PROTECCIÓN Y MEDIDAS RADIOLÓGICAS, Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities, Report N° 151, NCRP, Bethesda, MD (2005).

- [26] ASOCIACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND, Concrete Information Article, “Effect of long exposure of concrete to high temperature”, ST32-3-53, Skokie, Illinois, EE.UU. (1969).
- [27] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Basic Ionizing Radiation Symbol, ISO 361:1975, ISO, Ginebra (1975).
- [28] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Ionizing-Radiation Warning — Supplementary Symbol, ISO 21482, ISO, Ginebra (2007).
- [29] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources – General Requirements and Classification (ISO 2919:1999 (E)), ISO, Ginebra (1999).
- [30] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE NORMALIZACIÓN, Radiation Protection — Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO 9978:1992(E), ISO, Ginebra (1992).
- [31] 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).
- [32] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security in the Transport of Radioactive Material, Colección de Normas de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 9, OIEA, Viena (2008).
- [33] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [34] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas, Colección de Normas de Seguridad N° GS-G-2.1, OIEA, Viena (2010).
- [35] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, EPR-METHOD 2003, OIEA, Viena (2009).

COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y REVISIÓN

MacKenzie, C	Organismo Internacional de Energía Atómica
McKinnon, D.	Consultor (Canadá)
Plante, J.	Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (Canadá)
Reber, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Smith, M.	Steringenics International (Estados Unidos de América)
Tattersall, P.	Agencia de Protección de la Salud (Reino Unido)

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

Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

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

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

Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

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

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

Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

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

Comité sobre Normas de Seguridad de los Desechos

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



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

N° 24

PEDIDOS DE PUBLICACIONES

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

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

ALEMANIA

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

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

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

BÉLGICA

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

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

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

CANADÁ

Renouf Publishing Co. Ltd.

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

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

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

Bernan Associates

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

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

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

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates

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

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

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

Renouf Publishing Co. Ltd.

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

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

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

FEDERACIÓN DE RUSIA

Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety

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

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

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

FRANCIA

Form-Edit

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

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

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

Lavoisier SAS

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

L'Appel du livre

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

HUNGRÍA

Librotrade Ltd., Book Import

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

INDIA

Allied Publishers

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

Bookwell

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

ITALIA

Libreria Scientifica "AEIOU"

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

JAPÓN

Maruzen Co., Ltd.

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

REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd. (TSO)

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

REPÚBLICA CHECA

Suweco CZ, s.r.o.

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

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

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

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 978-92-0-304314-4
ISSN 1020-5837