

# Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

## Estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables

Guía de Seguridad Específica

Nº SSG-19



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

# NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

## NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

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

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

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

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

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

## PUBLICACIONES CONEXAS

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

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

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

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

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

ESTRATEGIA NACIONAL PARA  
RECUPERAR EL CONTROL DE  
FUENTES HUÉRFANAS Y MEJORAR  
EL CONTROL DE  
FUENTES VULNERABLES

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

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

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-19

ESTRATEGIA NACIONAL PARA  
RECUPERAR EL CONTROL DE  
FUENTES HUÉRFANAS Y MEJORAR  
EL CONTROL DE  
FUENTES VULNERABLES  
GUÍA DE SEGURIDAD ESPECÍFICA

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2013

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

Dependencia de Mercadotecnia y Venta

Sección Editorial

Organismo Internacional de Energía Atómica

Centro Internacional de Viena

PO Box 100

1400 Viena (Austria)

fax: +43 1 2600 29302

tel.: +43 1 2600 22417

correo-e: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

<http://www.iaea.org/books>

© OIEA, 2013

Impreso por el OIEA en Austria

Junio de 2013

**ESTRATEGIA NACIONAL PARA  
RECUPERAR EL CONTROL DE  
FUENTES HUÉRFANAS Y MEJORAR**

**EL CONTROL DE  
FUENTES VULNERABLES**

**OIEA, VIENA, 2013**

**STI/PUB/1510**

**ISBN 978-92-0-337110-0**

**ISSN 1020-5837**

# PRÓLOGO

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

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

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

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

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

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

# **NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA**

## **ANTECEDENTES**

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

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

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

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

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

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

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

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

organismos especializados interesados, normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad, y proveer a la aplicación de estas normas.

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

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

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

## **Nociones Fundamentales de Seguridad**

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

## **Requisitos de Seguridad**

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

---

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



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

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

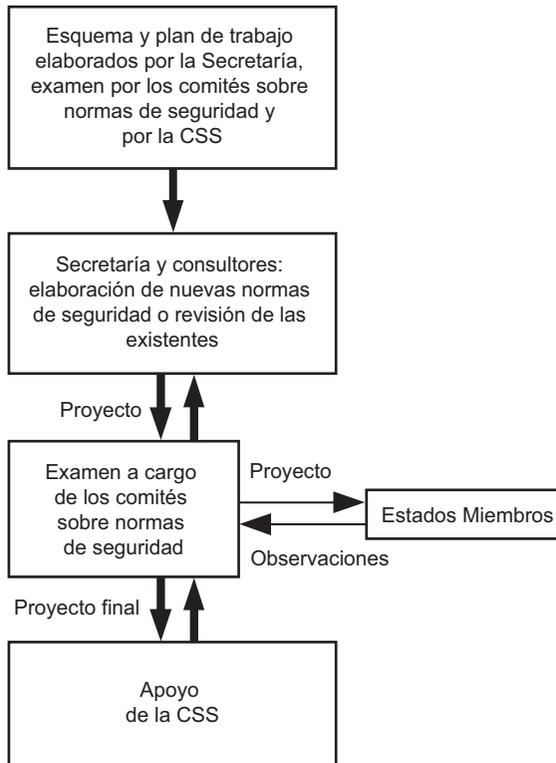


Fig. 2. Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente

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

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

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

Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas de seguridad y formular observaciones sobre los proyectos de norma. Los miembros de la Comisión sobre Normas de

Seguridad son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

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

## INTERACCIÓN CON OTRAS ORGANIZACIONES INTERNACIONALES

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

## INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

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

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

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

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

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



# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Antecedentes (1.1–1.7) .....	1
	Objetivo (1.8) .....	4
	Alcance (1.9–1.10).....	5
	Estructura (1.11) .....	5
2.	EVALUACIÓN DEL PROBLEMA .....	6
	Panorámica (2.1–2.12) .....	6
	Nivel actual y pasado del control reglamentario (2.13–2.18) .....	10
	Calidad del registro de fuentes (2.19–2.24) .....	12
	Usos actuales de las fuentes (2.25–2.29) .....	14
	Sitios previamente militares (2.30) .....	15
	Fuentes en uso antes de la aplicación del control reglamentario (2.31–2.35) .....	15
	Importación y exportación de fuentes (2.36–2.41) .....	17
	Tráfico ilícito (2.42–2.47) .....	18
	Socios comerciales (2.48–2.50) .....	21
	Reciclado de Metales (2.51–2.57) .....	22
	Fuentes en desuso (2.58–2.63) .....	23
	Fuentes que se saben perdidas y halladas (2.64–2.67) .....	25
	Incidentes (2.68–2.70) .....	26
	Sitios de conflicto y catástrofes naturales (2.71–2.73) .....	27
	Seguridad física de las fuentes (2.74–2.76) .....	28
3.	FORMULACION DE LA ESTRATEGIA NACIONAL .....	29
	Panorámica (3.1–3.2) .....	29
	Elaboración de soluciones (3.3–3.7) .....	29
	Priorización de las medidas (3.8–3.15) .....	30
4.	APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA NACIONAL .....	32
	Panorámica (4.1) .....	32
	La decisión de avanzar (4.2) .....	33
	Ejecución del plan de acción (4.3–4.4) .....	33

Evaluación de la eficacia del plan de acción y su actualización (4.5–4.6) .....	33
APÉNDICE I: FORMATO Y CONTENIDO DE UN DOCUMENTO DE ESTRATEGIA NACIONAL .....	35
APÉNDICE II: LA BÚSQUEDA DE FUENTES .....	38
REFERENCIAS .....	57
ANEXO I: CAUSAS DE LA PÉRDIDA DE CONTROL DE FUENTES RADIATIVAS .....	61
ANEXO II: PROBLEMAS COMUNES Y POSIBLES SOLUCIONES ENCONTRADAS EN MISIONES DEL OIEA PARA CONTRIBUIR A ELABORAR LAS ESTRATEGIAS NACIONALES .....	90
COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y EL EXAMEN .....	97
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA .....	99

# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. Las tecnologías que recurren a las fuentes radiactivas se utilizan en el mundo entero en múltiples prácticas. Las fuentes radiactivas se emplean en la agricultura, la industria, la medicina, la minería, la investigación y la enseñanza, y son muchas sus ventajas. El nivel de seguridad de estas tecnologías por lo que respecta a las fuentes radiactivas que usan ha sido en general bueno, si bien a veces la falta de controles adecuados o la burla de los existentes ha provocado la transformación de algunas de ellas en huérfanas o vulnerables, con accidentes radiológicos serios como consecuencia, así como efectos ambientales, sociales y económicos nocivos [1–6].

1.2. Una fuente huérfana es una fuente radiactiva que no está sometida a control reglamentario, sea porque nunca lo ha estado, sea porque ha sido abandonada, perdida, extraviada, robada o transferida sin la debida autorización. Una fuente vulnerable es una fuente radiactiva cuyo control es inadecuado para garantizar su seguridad tecnológica y seguridad física a largo plazo, por lo que podrían hacerse con ella personas no autorizadas con relativa facilidad [7]. La serie de accidentes relacionados con esas fuentes ha suscitado inquietud internacional, y los atentados del 11 de septiembre de 2001 despertaron nuevas preocupaciones ante la posibilidad de que esas fuentes pudieran ser adquiridas y dedicadas a fines perversos, preocupaciones que han incitado a muchos Estados a ocuparse de los problemas relacionados con el control de las fuentes radiactivas y al OIEA a poner en marcha un programa de trabajo sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas. La lectura de las actas de una serie de conferencias internacionales del OIEA sobre este tema [8–11] permite seguir los avances de estas actividades.

1.3. La publicación de la colección Nociones fundamentales de seguridad que lleva por título Principios fundamentales de seguridad [12], establece el objetivo fundamental de la seguridad y diez principios de seguridad fundamentales. El primero, que consiste en “proteger a las personas y el medio ambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante”, se aplica en todas las circunstancias

que originen riesgos asociados a la radiación.<sup>1</sup> El principio 7 estipula que “deben protegerse contra los riesgos asociados a las radiaciones las personas y el medio ambiente del presente y del futuro”. Los requisitos para proteger a la población y el medioambiente de los efectos nocivos de la radiación ionizante y que son adecuados para establecer y mantener el control de las fuentes radiactivas, se estipulan en las Normas básicas internacionales para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (las NBS) [13] (en revisión), así como en la publicación de Requisitos de seguridad titulada Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad [14]. En particular:

- El requisito 9 de la Ref. [14] exige a los Estados que establezcan un “sistema eficaz de medidas protectoras para reducir los riesgos radiológicos indebidos asociados con fuentes no reglamentadas”. En el párrafo 2.25 se explica este requisito: “Cuando existan riesgos radiológicos inaceptables como consecuencia de un accidente, una práctica descontinuada o el control inadecuado de una fuente radiactiva o una fuente natural, el gobierno deberá designar las organizaciones que se encargarían de adoptar las medidas necesarias para la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente. La organización que adopte la medida protectora deberá tener acceso a los recursos necesarios para desempeñar su función.”
- El párrafo 2.11 de la Ref. [13] estipula que “La persona jurídica responsable de una fuente sellada, una fuente no sellada o un generador de radiación deberá, a menos que la fuente sea declarada exenta, solicitar a la autoridad reguladora una autorización que deberá revestir la forma de una inscripción en registro o una licencia.”
- El párrafo 2.34 de la Ref. [13] estipula, en una parte, que “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

---

<sup>1</sup> La expresión “riesgos asociados a la radiación” suele usarse en sentido general para referirse a:

- Los efectos nocivos para la salud de la exposición a la radiación (comprendida la posibilidad de que produzcan esos efectos).
- Cualquier otro riesgo relacionado con la seguridad (comprendidos los relacionados con los ecosistemas del medioambiente) que pudiera surgir como consecuencia directa de:
  - Exposición a la radiación;
  - La presencia de material radiactivo (comprendidos los desechos radiactivos) o su liberación en el medioambiente;
  - La pérdida de control del núcleo de un reactor nuclear, reacción nuclear en cadena, una fuente radiactiva o cualquier otra fuente de radiación.

alguna de las acciones especificadas en las “Obligaciones generales” relativas a las prácticas, estipuladas por las Normas (véanse los párrafos 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”.
- El párrafo 3.10 de la Ref. [13] estipula que “Las entidades intervinientes competentes deberán preparar uno o más planes generales de coordinación y ejecución de las medidas necesarias en apoyo de las acciones protectoras previstas en los planes de emergencia de los titulares registrados y los titulares licenciados, así como para otras situaciones que pueden exigir una intervención rápida. Esto incluye las situaciones suscitadas por las fuentes de exposición tales como las introducidas ilegalmente en un país, las caídas de satélites dotados de fuentes o las sustancias radiactivas liberadas en accidentes ocurridos más allá de las fronteras nacionales.”

1.4. En el Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas (el Código de conducta) [15], que es una empresa de carácter voluntario orientada a ayudar a las autoridades nacionales a garantizar que las fuentes radiactivas se usan dentro del marco adecuado de seguridad tecnológica y física de las radiaciones, se indican medidas para alcanzar y mantener un alto nivel de seguridad tecnológica y seguridad física de las fuentes radiactivas que puedan representar un riesgo importante. El principio básico 7 de la Ref. [15] afirma que “Todo Estado debe, a los efectos de proteger a las personas, la sociedad y el medio ambiente, adoptar las medidas apropiadas que sean necesarias para asegurar: ... a) que las fuentes radiactivas dentro de su territorio, o bajo su jurisdicción o control, se gestionen y protejan en condiciones de seguridad tecnológica y física durante su vida útil y al final de ésta.” El principio básico 8 de la Ref. [15] afirma que “Todo Estado debe establecer un sistema nacional eficaz para el control legislativo y reglamentario de la gestión y protección de las fuentes radiactivas. Ese sistema debe: ... b) minimizar la probabilidad de una pérdida de control; c) incluir estrategias nacionales para adquirir o recuperar el control de las fuentes huérfanas”.

1.5. En esta guía de seguridad se presentan recomendaciones sobre la metodología para formular una estrategia nacional destinada a recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el de fuentes vulnerables. Una estrategia

bien formulada, adaptada a la situación nacional, permitirá hacer una utilización óptima de los recursos que aseguran la recuperación del control de las fuentes más peligrosas en primer lugar. Se da por sentado que la responsabilidad de desarrollar y ejecutar las actividades que se indican en la presente guía de seguridad serán asignadas por el gobierno a un órgano o varios órganos pertinentes, por ejemplo, el órgano regulador; organizaciones de apoyo técnico; ministerios, organismos u otros órganos gubernamentales responsables de campos específicos como la salud, el medio ambiente, la industria, el reciclado de metales, las minas y la agricultura; las autoridades regionales o locales; los organismos encargados de velar por el cumplimiento de la ley, entre ellos las autoridades de aduanas y fronteras; las organizaciones de los servicios de inteligencia; y los institutos científicos y de investigación. Se da por sentado que el órgano o los órganos designados se coordinarán y relacionarán con otras organizaciones pertinentes, según sea necesario, para garantizar la correcta aplicación de la estrategia.

1.6. Complementan esta guía de seguridad las normas de seguridad del OIEA y publicaciones afines del Organismo sobre infraestructura reglamentaria, respuesta en caso de emergencia, seguridad física, tráfico ilícito y supervisión de fronteras, así como gestión de fuentes en desuso [14, 18, 22, 25, 29, 42–44, 48]. Si bien esta guía de seguridad se centra en la formulación y aplicación de una estrategia nacional de medidas reparadoras, se espera que su formulación contribuya a identificar las debilidades que presente el control nacional de fuentes y a abrir caminos para impedir que nuevas fuentes queden huérfanas.

1.7. Los términos empleados en esta publicación tienen el significado que se les atribuye en el Glosario de Seguridad del OIEA [7], según corresponda.

## OBJETIVO

1.8. El objetivo de la presente guía de seguridad consiste en proporcionar una metodología para formular una estrategia nacional destinada a recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el de fuentes vulnerables, con el fin de cumplir los requisitos de seguridad estipulados en las normas correspondientes de seguridad del OIEA [13, 14]. En la presente guía de seguridad se formulan recomendaciones e indicaciones para evaluar de modo sistemático la situación nacional y formular y aplicar a partir de ahí una estrategia general con prioridades para lograr esos objetivos.

## ALCANCE

1.9. En esta guía de seguridad se exponen las medidas que deberían adoptar los gobiernos y los órganos gubernamentales para formular una estrategia nacional destinada a recuperar el control de las fuentes huérfanas y mejorar el de las fuentes vulnerables. En ella se recomienda la aplicación de un planteamiento graduado de conformidad con la categoría de la fuente [16].

1.10. El material nuclear, tal y como aparece definido en la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares [17], queda fuera del alcance de esta guía de seguridad, salvo en el caso de las fuentes radiactivas que incorporan Pu<sup>239</sup>. Igualmente se salen de su alcance las fuentes radiactivas empleadas en aplicaciones militares. Sin embargo, quedan dentro de él las fuentes radiactivas previamente utilizadas en aplicaciones militares que puedan haber sido abandonadas.

## ESTRUCTURA

1.11. Cada una de las tres fases principales de la metodología para formular una estrategia nacional se trata en una sección aparte. En la Sección 2 figuran recomendaciones sobre el proceso de evaluación, que abarca la decisión correspondiente al alcance de la estrategia, el acopio de la información necesaria y la determinación de la índole y la magnitud del problema. En la Sección 3 se proponen recomendaciones para la formulación de la estrategia, que comprenden la identificación y clasificación por grado de prioridad de las medidas para resolverlo. En la Sección 4 se formulan recomendaciones con miras a la aplicación de la estrategia, que se refieren a la obtención del compromiso y los recursos necesarios, la aplicación de soluciones y, por último, la evaluación de sus efectos. El Apéndice I presenta un ejemplo de formato y contenido de un plan de acción para la estrategia nacional. El Apéndice II facilita más información sobre la búsqueda de fuentes. El Anexo I cita ejemplos, procedentes de diversos Estados Miembros, de causas de pérdida del control de fuentes radiactivas, y el Anexo II aborda algunos problemas corrientes que han surgido con el control de las fuentes radiactivas y las soluciones correspondientes.

## 2. EVALUACIÓN DEL PROBLEMA

### PANORÁMICA

2.1. En la fase de evaluación de una estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el de fuentes vulnerables se deben seguir los siguientes pasos:

- Decisión sobre el alcance de la estrategia;
- Acopio de información específica sobre todos los aspectos del grado pasado y actual de control reglamentario de las fuentes radiactivas;
- Identificación de problemas y posibles soluciones (análisis de deficiencias).

Estos tres puntos aparecen desarrollados en los párrs. 2.2–2.12. Figuran a continuación recomendaciones acerca de cómo acopiar y evaluar sistemáticamente información en cada una de las diversas áreas esenciales.

2.2. La evaluación será iterativa a medida que vaya cambiando la situación de un Estado, y cierto nivel de evaluación será continuo. La adopción de algunas decisiones resultará necesaria como parte de la evaluación, particularmente a la hora de decidir el alcance de la misma, al abordar los riesgos descubiertos que requieran medidas urgentes y al modificar la evaluación a la luz de la experiencia. Ahora bien, la función primera de la evaluación es acopiar datos sobre la situación actual para valorarlos y poder formular propuestas de mejora.

#### **La decisión sobre el alcance**

2.3. Hay que determinar el alcance de la evaluación para precisar dónde ha de centrarse la recopilación ulterior de datos. En la mayoría de los casos, el interés debe centrarse al menos en las fuentes capaces de provocar graves efectos deterministas en la salud humana si no se encuentran bajo control. Esas fuentes están clasificadas en las categorías 1, 2 y 3 según la Guía de seguridad sobre la clasificación de las fuentes radiactivas [16], y comprenden agregados de fuentes más pequeñas, que pueden clasificarse de conformidad con sus porcentajes de actividad agregada. No obstante, existen también otras posibilidades. El alcance de una estrategia nacional inicial podría centrarse en uno o más de los puntos siguientes:

- Un tipo particular de fuente o uso de fuentes (p.ej., usos móviles de fuentes radiactivas, entre ellas las fuentes de radiografía industrial; cabe considerar esto apropiado por la frecuencia de los accidentes relacionados con la pérdida de control de esas fuentes);
- Un sector particular de la industria en el que se hayan descubierto problemas (p.ej., recogida y reciclado de chatarra; cabe considerar esto apropiado debido a la frecuencia de sucesos y a los elevados costos económicos y sociales asociados con la fusión no intencionada de una fuente);
- Una región o zona geográfica particular (ya sea por la importancia nacional de esa región o porque se hayan destinado en el pasado menos recursos en ella al control reglamentario);
- Un aspecto particular del control de las fuentes radiactivas, como la importación o exportación de las mismas;
- Fuentes utilizadas antes de que se estableciera un sistema de control nacional;
- Sectores industriales vulnerables a la reducción de la economía y a otros factores del mercado, que pudieran dar lugar a un cese repentino del uso de un tipo particular de fuente;
- Un sector de utilización que resulta crítico para la economía nacional.

Además, la información procedente de los organismos nacionales que realizan evaluaciones de las amenazas puede indicar tipos particulares de fuentes radiactivas que podrían ser vulnerables y que requieren atención en el marco de una estrategia nacional.

2.4. Es probable que el alcance de la evaluación varíe con cada iteración en la formulación de una estrategia nacional. Si bien el punto central apropiado puede ser evidente, en algunos casos habrá que efectuar un análisis minucioso, tal vez con algún acopio preliminar de datos, para determinar cuál será el punto central apropiado. Independientemente de cuál se elija, hay que documentar adecuadamente la definición del alcance y el razonamiento que la sustenta.

2.5. No cabe sobrestimar la importancia de la decisión relativa a un alcance apropiado. Es preciso llevar a cabo una evaluación correcta de los recursos disponibles tanto para la formulación como para la aplicación de la estrategia nacional, ya que es primordial para garantizar el éxito del empeño. Algunos Estados pueden tener la capacidad de dedicar un esfuerzo importante a la formulación de una amplia estrategia nacional. Es probable, sin embargo, que muchos de ellos cuenten con un número limitado de funcionarios adecuadamente formados que puedan abandonar sus actividades normales. En estas

circunstancias, los recursos disponibles tienen que dedicarse a elaborar una estrategia nacional inicial que se centre en cuestiones concretas y establezca medidas por prioridades determinadas en función de las condiciones pasadas y actuales. Esos Estados deben realizar la evaluación de modo iterativo durante un periodo prolongado, pues la estrategia nacional tendrá que actualizarse una vez completados los elementos de las medidas existentes y a consecuencia de cambios de las condiciones. Cada evaluación debe basarse en la labor realizada en evaluaciones anteriores.

2.6. Una vez que se ha definido el alcance de la evaluación, se debe elaborar un programa de trabajo con responsabilidades claras y plazos para las tareas.

### **Acopio de información nacional específica**

2.7. Como parte de la evaluación, es preciso acopiar datos sobre fuentes, tanto aquéllas de las que se sabe que se encuentran en el Estado como las que podrían encontrarse en él. No se puede caracterizar el riesgo de las fuentes huérfanas o las fuentes vulnerables a no ser que se disponga de información acerca de qué fuentes es probable que existan dentro del Estado. La caracterización del riesgo asociado con las fuentes huérfanas ha de conllevar una evaluación tanto del potencial de fuentes huérfanas que existen como de las posibles consecuencias que esas fuentes podrían originar. El proceso de evaluación debe abordar también si las fuentes vulnerables, aunque sometidas actualmente a control, podrían llegar a ser huérfanas en el futuro, y si podrían introducirse en el Estado fuentes huérfanas procedentes de otro Estado.

2.8. Es preciso abordar tres aspectos fundamentales del acopio de información, a saber:

- *¿Qué información es necesaria?*
- *¿De dónde se puede obtener esa información?*
- *¿Cómo puede acopiarse?*

El objetivo fundamental de la Sección 2 de esta guía de seguridad es formular recomendaciones acerca de *qué* información es necesaria. El Apéndice II asesora sobre las posibles fuentes de información (el *dónde*) y los métodos (el *cómo*), dentro del contexto más amplio de la búsqueda de fuentes.

La figura 1 ilustra los insumos de datos importantes para la fase de acopio y evaluación de la información, cada uno de los cuales se aborda por orden en la Sección 2 de esta guía de seguridad.

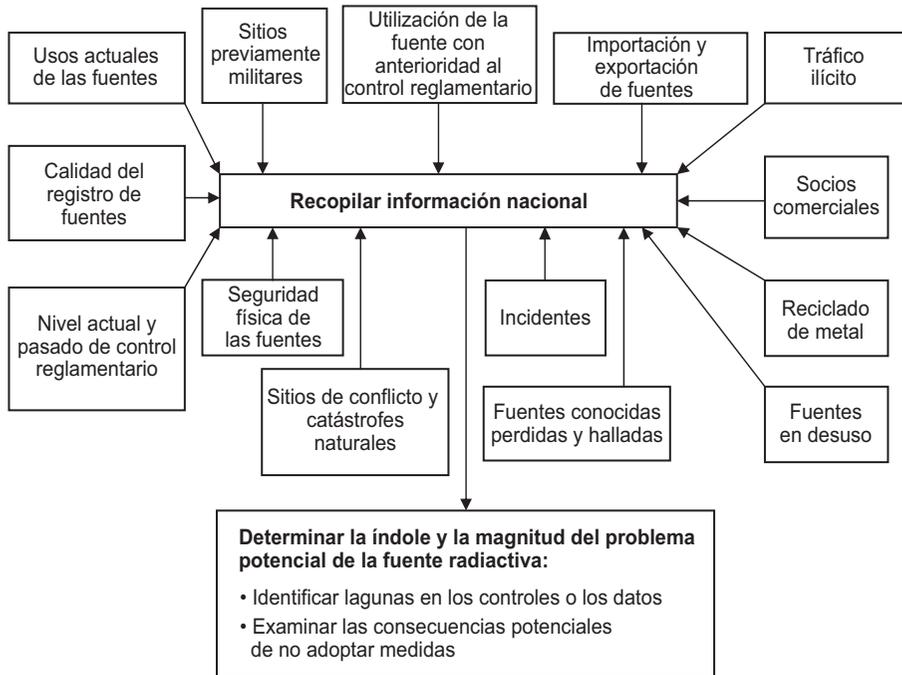


Fig. 1. Evaluando el problema.

## Identificación de problemas y posibles soluciones

2.9. Mientras se produce el acopio de datos hay que determinar los problemas y las dificultades potenciales. A medida que se formulen y respondan preguntas, se irá viendo con claridad dónde existen lagunas en la información o dónde se plantean problemas.

2.10. Hay que efectuar una evaluación de la índole y magnitud de los problemas asociados con el control de las fuentes radiactivas, comparando la situación real con la situación ideal. La situación ideal se puede caracterizar como la conformidad total y exhaustiva con las leyes y los reglamentos nacionales correspondientes, así como con las normas y directrices internacionales [12–14, 18–25]. El Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [15], y sus Directrices complementarias sobre la importación y la exportación de las fuentes radiactivas [26] resultan particularmente útiles en este sentido, porque sientan los principios y las directrices básicos que son específicos de las fuentes radiactivas.

2.11. Como parte del proceso de evaluación hay que determinar si las desviaciones descubiertas de las normas requieren una intervención inmediata. Los criterios para esta determinación deben establecerse sobre la base de las consecuencias potenciales del problema. Estas dependerán básicamente de la categoría de la fuente implicada. Por ejemplo, la pérdida de una determinada fuente de categoría 1, 2 o 3 en una ciudad exigiría una intervención inmediata. Por otra parte, la no inclusión en el registro nacional de la totalidad de los indicadores fijos que se encuentran en una determinada planta industrial sería algo que habría que corregir; no obstante, al ser poco probable que diera lugar a una situación peligrosa inmediata, tendría una prioridad más baja.

2.12. Las personas dedicadas a formular una estrategia nacional tienen que saber cómo se debe manejar el control de las fuentes radiactivas dentro del Estado y deben tener experiencia suficiente para establecer prioridades entre las discrepancias y los problemas descubiertos. Si no se dispone de esos expertos en un Estado, hay que solicitar una misión de revisión a cargo de homólogos para conseguir asistencia.

## NIVEL ACTUAL Y PASADO DEL CONTROL REGLAMENTARIO

2.13. La evaluación de la situación nacional debe empezar por una revisión del nivel actual y pasado del control reglamentario de las fuentes radiactivas. La referencia [14] establece requisitos para una infraestructura reglamentaria efectiva, que comprende: legislación y reglamentación; un órgano regulador facultado para autorizar e inspeccionar las actividades reguladas y hacer cumplir la legislación y los reglamentos; y recursos suficientes y un número adecuado de personas capacitadas. Otros requisitos relativos a la infraestructura reglamentaria se exponen en la Ref. [13], y en el Código de conducta [15] se ofrecen directrices.

2.14. Al analizar la infraestructura reglamentaria, hay que centrarse en aquellos elementos de la misma que ejercen una influencia directa en la probabilidad de pérdida del control de fuentes, en particular las que se encuentran en categorías de mayor riesgo. La lista parcial de esos elementos comprende la concesión de licencias, la inspección, la importación, la exportación, la posesión, el uso y la disposición final de fuentes.

2.15. En muchos Estados, las fuentes radiactivas habrán estado en uso antes del desarrollo de la infraestructura reglamentaria vigente. Además, las infraestructuras reglamentarias cambian con frecuencia. Así pues, la probabilidad de pérdida del control de una fuente no depende únicamente de su uso histórico,

sino también de la condición legal de la infraestructura reglamentaria en el pasado.

2.16. Es preciso examinar la calidad de las autorizaciones y los inventarios vigentes, así como la frecuencia y calidad de las inspecciones efectuadas en el pasado, ya que así se determinará el nivel de confianza que puede depositarse en el control reglamentario de las fuentes en aquel tiempo.

2.17. Una revisión del control reglamentario ejercido en el pasado puede resultar difícil por falta de documentación contemporánea y problemas para encontrar a las personas que podrían contribuir a explicar los procedimientos y las prioridades de entonces. La revisión histórica debe tratar de descubrir lo que se sabía de inventarios y usos de fuentes por entonces, pero puede resultar difícil establecer esta información. Esta revisión histórica debe servir para aclarar pérdidas reales y probables del control de fuentes y sus posibles causas. La revisión de la estructura actual generará un sentido del nivel de confianza en la seguridad tecnológica y física de las fuentes existentes, y puede poner de manifiesto ámbitos que requieran más atención y modificaciones.

2.18. Los problemas o cuestiones típicos relacionados con deficiencias del control son los siguientes:

- Ausencia de leyes y reglamentaciones apropiadas que rijan el control de las fuentes radiactivas;
- Falta de independencia efectiva del órgano regulador en la realización de sus actividades;
- Un organismo regulador con recursos insuficientes y un número inadecuado de personas capacitadas;
- Un proceso inadecuado de autorización, concesión de licencia o registro de las fuentes radiactivas;
- Un registro nacional de fuentes inexistente, incompleto o mal mantenido (ver párrs. 2.19–2.24);
- Ausencia de autorización o licencia específicas de fuentes radiactivas propiedad del gobierno;
- Inspección, coacción y seguimiento insuficientes;
- Falta de sanciones y medidas disuasorias;
- Una estructura de tasas por licencia que fomenta un comportamiento indeseado por parte de los usuarios, por ejemplo, la imposición de elevadas tasas por licencia a usuarios que simplemente poseen una fuente en desuso puede dar lugar a que haya personas que no pidan autorizaciones para esas fuentes;

- Priorización de los recursos basada en las regiones geográficas, las regiones políticas o el uso, y no en las categorías de las fuentes.

## CALIDAD DEL REGISTRO DE FUENTES

2.19. Es preciso considerar atentamente la existencia de un registro nacional de fuentes radiactivas y la calidad del mismo, pues será el principal indicador de la posibilidad de que se produzcan problemas relacionados con fuentes huérfanas o vulnerables. Si no existe un registro de fuentes o está incompleto, hay que otorgar una elevada prioridad en la estrategia nacional que se formule a su creación e integridad. Se debe acudir a las siguientes fuentes de información para contribuir a la creación o terminación de un registro de fuentes:

- Documentos del inventario de las fuentes mantenido por los usuarios u otros que puedan almacenarlas;
- Documentos de los fabricantes de las fuentes, los distribuidores y los proveedores de servicios;
- Documentos de las empresas de transporte o expedición, comprendidas las declaraciones de aduanas;
- Informes de inspección de cualquier autoridad que pueda haber inspeccionado por cualquier motivo una instalación determinada;
- Informes y notificaciones de sucesos;
- Documentos de concesión de licencia, comprendidas las notificaciones y solicitudes originales de autorización.

2.20. Además de encontrar la información contenida en los documentos existentes, existen otros métodos de acopio de datos para un registro de fuentes, varios de los cuales se comentan de modo detallado en el Apéndice II.

2.21. Incluso en caso de que exista un registro nacional de fuentes, puede suceder que esté incompleto, lo que podría implicar la presencia en el Estado de fuentes huérfanas. Por lo tanto, hay que examinar el registro de fuentes existente con ojos críticos para verificar su calidad, racionalidad y coherencia interna. Las cuestiones que hay que considerar en esta evaluación deben ser:

- ¿Están recogidos en el registro todos los tipos de fuentes empleadas en todas las actividades industriales y médicas que se sabe o se presume que se llevan a cabo en el Estado?
- ¿Son apropiados para la aplicación de la fuente los radionucleidos y las actividades identificados? (El cuadro 2 del Apéndice I de la Ref. [16], que

presenta la gama típica de actividades utilizada en diversas aplicaciones, puede resultar útil al efectuar esta revisión.)

- ¿Están incluidos en el registro todas las presuntas empresas o usuarios de una determinada práctica?

2.22. Al crear un registro nacional de fuentes o evaluar la integridad o la exactitud de un registro, hay que dar prioridad a asegurarse de la recuperación del control de las fuentes peligrosas (fuentes de categoría 1, 2 y 3), aun reconociendo que los recursos suelen escasear. De las fuentes de categorías más bajas hay que ocuparse tras haber recuperado el control de las de mayor actividad. Sin embargo, cuando se tengan o se encuentren datos sobre las fuentes de categorías más bajas, deben consignarse en el registro de fuentes al mismo tiempo que los datos relativos a cualquier fuente peligrosa. El Código de conducta [15] proporciona también directrices en este sentido: “Todo Estado debe establecer un registro nacional de fuentes radiactivas. Este registro comprenderá, como mínimo, las fuentes radiactivas pertenecientes a las categorías 1 y 2 que figuran en el anexo 1 del presente Código”. (Principio básico 11).

2.23. Hay que registrar como mínimo la siguiente información por cada fuente que figure en el registro:

- La organización explotadora autorizada para poseer la fuente y el aparato asociado, comprendida la información de contacto;
- El uso autorizado de la fuente y el aparato asociado;
- La identificación propia de la fuente (fabricante, número de modelo, número de serie y fecha de fabricación);
- La identificación propia del aparato asociado (fabricante, número de modelo y número de serie);
- El emplazamiento de la fuente y/o el aparato asociado (emplazamiento en el que está instalada o ubicación del uso autorizado);
- El radionucleido, la actividad de la fuente y la fecha en que se midió la actividad;
- La categoría de la fuente;
- La forma del material radiactivo (física y química), sin olvidar su condición de forma especial (véase la Ref. [19]);
- Un registro relativo a la procedencia de la fuente o adónde se transfirió;
- La fecha en que la fuente y/o el aparato asociado se inscribieron en el registro;
- La disposición final prevista de la fuente, comprendidas, según corresponda, la fecha planificada de devolución a su proveedor o su transferencia a una instalación para desechos.

2.24. Hay que elaborar y mantener un registro de fuentes radiactivas mediante *software* de base de datos, en vez de programas de hojas de cálculo o tratamiento de texto, que facilite la búsqueda y clasificación de los datos y la elaboración de informes. Existen varios programas comercialmente disponibles para mantener los inventarios de material radiactivo (registros); puede usarse también el Sistema de información para autoridades reguladoras (RAIS) elaborado por el OIEA [27], que comprende un módulo para crear y mantener un registro de fuentes.

## USOS ACTUALES DE LAS FUENTES

2.25. Hay que acopiar información detallada sobre los usos actuales de fuentes radiactivas en el Estado y las organizaciones que las usan. Esta labor es fundamental para crear y mantener un registro nacional de fuentes e identificar las posibles fuentes huérfanas o vulnerables.

2.26. El proceso básico del acopio de datos sobre fuentes basándose en su uso consta de los pasos siguientes:

- Informarse bien de los distintos tipos de aplicaciones de la fuente que se dan corrientemente (El cuadro 2 del Apéndice I de la Ref. [16] facilita ejemplos de prácticas con fuentes radiactivas);
- Determinar cuál de esas aplicaciones o industrias es probable que se use en el Estado;
- Determinar cuáles de ellas entran dentro del alcance de la evaluación (la decisión se adoptará de conformidad con las recomendaciones que figuran en los párrs. 2.3–2.6);
- Acopiar datos del usuario fáciles de conseguir (llevar a cabo una búsqueda administrativa, como se explica detenidamente en el Apéndice II).

2.27. Esa búsqueda contribuirá a determinar si existen fuentes huérfanas o si hay alguna posibilidad de que puedan existir. Los resultados de dicha búsqueda pueden poner también de manifiesto que está justificado efectuar búsquedas administrativas y/o físicas más intensas.

2.28. Esa búsqueda administrativa con el fin de acopiar datos puede hacerse con ayuda de la información facilitada en el Anexo I, en el que se presentan las aplicaciones o prácticas típicas por categoría de las fuentes empleadas, empezando por las prácticas con fuentes de categoría 1. También se indican las industrias de interés en las que deben concentrarse las actividades de acopio de datos, junto con consideraciones relativas a la pérdida del control, que deben

tenerse en cuenta al examinar cada una de las prácticas en las que se emplean fuentes radiactivas.

2.29. En algunos casos, como en el de las instalaciones de irradiación, los encargados de realizar la evaluación podrán concluir, con un alto nivel de seguridad, si existen o no fuentes huérfanas. En otros muchos casos, los evaluadores determinarán que puede haber fuentes en uso o que hayan sido usadas, pero no podrán llegar a conclusiones definitivas sin realizar más búsquedas minuciosas. En muy raras ocasiones, el riesgo potencial descubierto por la evaluación puede justificar que se inicien de inmediato actividades específicas de búsqueda de la fuente, pero, en general, la fase de acopio de datos de la evaluación se limitará a determinar si hay posibilidades de que existan fuentes huérfanas de un tipo determinado. Si se establece su existencia, será preciso incorporar una nueva investigación, más detenida, como parte del plan de acción de la estrategia nacional.

## SITIOS PREVIAMENTE MILITARES

2.30. Aunque los usos militares de fuentes radiactivas están específicamente excluidos del alcance del Código de conducta [15] y de esta guía de seguridad, las fuentes pertenecientes a este sector pueden convertirse y se han convertido en fuentes huérfanas, frecuentemente por abandono. Así pues, hay que evaluar los sitios previamente militares mediante búsquedas físicas y administrativas (véase el Apéndice II) para asegurarse de que no hay en esas zonas fuentes perdidas o abandonadas. Esta tarea resultará más sencilla si se puede obtener información de las autoridades militares competentes acerca de qué fuentes y dónde se han usado y la disposición final de las mismas.

## FUENTES EN USO ANTES DE LA APLICACIÓN DEL CONTROL REGLAMENTARIO

2.31. Hay que proceder a una evaluación para determinar qué fuentes estaban en uso antes de que se les aplicara dentro del Estado el correspondiente control reglamentario y si alguna de ellas sigue sin estar sometida al mismo.

2.32. En numerosos Estados, las fuentes pueden haber sido utilizadas antes de que se establecieran requisitos reglamentarios efectivos y pueden no haber sido objeto de una disposición final apropiada. Por consiguiente, hay que recoger información sobre los “primeros días” de utilización de los materiales radiactivos

lo antes posible, mientras las personas que había por entonces siguen vivas. Lo que se considere como los primeros días variará sensiblemente para los diferentes Estados y podrían oscilar entre antes del decenio de 1920 y el de 1990. Aunque la memoria humana es muy falible, todavía se puede conseguir información útil sobre la situación histórica y la posibilidad de que existan fuentes huérfanas de personas que fueron las primeras en trabajar en los distintos campos de aplicación de las fuentes radiactivas (“pioneros”).

2.33. Típicamente, los usos más remotos de materiales radiactivos en los Estados más desarrollados implicarán radio, sobre todo en aplicaciones médicas y de investigación. En los Estados en desarrollo, lo más probable es que los usos anteriores se hayan producido en el campo médico, concretamente en el tratamiento del cáncer mediante  $\text{Co}^{60}$  o  $\text{Cs}^{137}$ . En cualquier caso, las universidades y otros centros e institutos de investigación serán probablemente los primeros usuarios de las fuentes radiactivas. Así pues, es allí donde conviene iniciar las pesquisas sobre la utilización de las fuentes antes de la aplicación del control reglamentario. Una vez que se ha identificado a los primeros usuarios de las fuentes radiactivas, hay que interrogarlos sobre:

- El tipo y número de fuentes que usaban, y sus actividades típicas;
- Cómo conseguían las fuentes y de quién;
- Para qué servían las fuentes;
- Detalles sobre cualquier incidente relacionado con las fuentes;
- Dónde se almacenaban las fuentes;
- Cómo se procedió a la disposición final de las fuentes;
- Quiénes eran sus compañeros de trabajo y/o alumnos;
- Qué legislación, reglamentación o reglas estaban vigentes y cuándo se establecieron.

2.34. La lista que figura en el párr. 2.33 no es exhaustiva, pero proporciona una indicación de los tipos de preguntas que podrían servir para evaluar la posible existencia de fuentes huérfanas. La información proporcionada durante esas entrevistas debe verificarse, siempre que sea posible, por medio de otras fuentes de información, pero los indicios de la posible existencia de fuentes huérfanas de categorías superiores deben seguir investigándose como parte de la formulación de la estrategia nacional.

2.35. Otras personas que probablemente dispongan de información relevante son las que participaron en la redacción y el cumplimiento de los reglamentos. Hay que reconocer aquí que el control reglamentario y su aplicación pueden haber evolucionado con el paso del tiempo. Una posible fuente de información que

puede llevar al descubrimiento de fuentes huérfanas cuyo control se perdió en un pasado lejano es el registro de los repositorios de desechos radiactivos. Si existen, habrá que examinar esos registros en busca de información sobre los primeros propietarios de las fuentes o las organizaciones de las que éstas procedían. Esa información deberá servir para desarrollar más información sobre la posesión actual de fuentes radiactivas y puede revelar la existencia de fuentes huérfanas.

## IMPORTACIÓN Y EXPORTACIÓN DE FUENTES

2.36. Es preciso evaluar la práctica nacional de importación y exportación de fuentes radiactivas. La experiencia ha demostrado que la ausencia de control efectivo de la importación y exportación de fuentes radiactivas puede contribuir de modo decisivo a que las fuentes se conviertan en huérfanas. La mayoría de los Estados importan una serie de fuentes radiactivas o de aparatos que las contienen, pero solo algunos de ellos exportan nuevas fuentes o aparatos radiactivos.

2.37. Muchos Estados han contraído un compromiso político con el Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas [15] y sus Directrices complementarias sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas [26]. Con independencia de que se haya contraído un compromiso político, todos los Estados deben procurar ajustarse a los principios del Código y aplicar las Directrices. Se reconoce, sin embargo, que pasará tiempo hasta que la mayoría cumplan cabalmente. Así pues, hay que efectuar una revisión de la situación actual y pasada de las prácticas de importación y exportación como parte importante de la evaluación de la situación nacional. En particular, hay que controlar a las grandes empresas multinacionales que importan fuentes para utilizarlas de modo temporal en pruebas no destructivas o diagrafía, ya que en el pasado han surgido problemas relacionados con la falta de notificación a las autoridades nacionales de la importación de esas fuentes.

2.38. El acopio de información sobre la exportación de nuevas fuentes o aparatos radiactivos será por lo general relativamente fácil. Solamente unos pocos Estados son grandes exportadores de fuentes. Si el Estado no tiene la capacidad de fabricar fuentes radiactivas, es probable que la única exportación de éstas sea la reexportación al proveedor o al Estado de origen de fuentes importadas para su utilización temporal en el Estado o de fuentes en desuso.

2.39. Para determinar cuál es la situación de la importación de fuentes radiactivas, hay que empezar por acopiar datos de las autoridades aduaneras y de los usuarios conocidos de fuentes radiactivas. También es probable que los

fabricantes y proveedores de fuentes dispongan de información sobre las que ellos hayan distribuido. Aunque muchos Estados han establecido requisitos reglamentarios para la autorización previa y el permiso para las importaciones, a veces esos requisitos no se cumplen o no se aplican.

2.40. Ha habido en el pasado fuentes radiactivas que se han convertido en huérfanas en los almacenes de las aduanas. Por este motivo, es preciso examinar cuidadosamente los procedimientos de las aduanas aplicables a las importaciones. Las fuentes radiactivas pueden permanecer en las aduanas sin que las reclame nadie por diversas razones, entre ellas:

- Falta de conformidad con los manifiestos de importación de la aduana;
- Posible tráfico ilícito de material radiactivo;
- Imposibilidad de dar con el destinatario;
- Abandono de la fuente por razones como cese de la actividad, bancarrota, o porque la fuente se ha desintegrado hasta el punto de carecer de valor comercial;
- Falta de voluntad o de capacidad por parte del destinatario de pagar cualquier impuesto de importación adeudado;
- Falta de voluntad o de capacidad por parte del destinatario de pagar por la gestión y la disposición final de una fuente en desuso.

2.41. En la referencia [19] se estipulan los requisitos internacionales para el etiquetado de envases que contengan material radiactivo. Si la etiqueta de un envase no especifica claramente que éste contiene material radiactivo, es posible que algunas fuentes no reclamadas puedan pasar al dominio público mediante subastas organizadas más tarde por las autoridades aduaneras.

## TRÁFICO ILÍCITO

2.42. El hecho de que se produzcan incidentes de tráfico ilícito de material radiactivo u otros sucesos, como confiscaciones de materiales radiactivos objeto de tráfico, robo o pérdida de fuentes, su desplazamiento o eliminación no autorizados o su recuperación, es sintomático de la debilidad y las vulnerabilidades del control reglamentario y los sistemas de seguridad física. El acopio y la evaluación de información sobre esos hechos puede proporcionar indicaciones valiosas acerca de qué fuentes pueden correr riesgos de verse huérfanas, dónde podrían encontrarse y qué fuentes o instalaciones no están sometidas a control reglamentario, y pueden también apuntar a problemas genéricos en el marco legislativo y reglamentario. Es preciso acopiar información

sobre el tráfico ilícito y otros actos no autorizados en los Estados vecinos y otros más distantes.

2.43. La Base de datos del OIEA sobre tráfico ilícito (ITDB) es un sistema de información para el acopio y la difusión de información relativa a incidentes de tráfico ilícito y otros sucesos como robos y pérdidas de materiales radiactivos, desplazamiento y eliminación final no autorizados de estos materiales y recuperaciones de los mismos [28]. La ITDB es única, en el sentido de que los propios Estados facilitan información sobre los incidentes acaecidos dentro de su radio de acción. La información sobre esos sucesos se recopila también de fuentes abiertas y se recaba la verificación de los Estados implicados. Cada Estado participante en el programa de la ITDB designa un punto nacional de contacto, que tiene acceso a la información contenida en la ITDB y constituirá por consiguiente un recurso útil en la fase de evaluación. La participación en el programa de la ITDB es voluntaria, pero los Estados que no son miembros tienen que estudiar la posibilidad de adherirse como parte de su estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables.

2.44. Un factor importante deducible de los datos detallados almacenados en la ITDB es que la mayoría de las recuperaciones importantes de materiales nucleares han sido el resultado del acopio y el análisis de la información proporcionada por los servicios de inteligencia, lo que muestra la importancia de implicar a los organismos encargados del cumplimiento de la ley, las autoridades aduaneras y los organismos que realizan servicios de inteligencia en las actividades relacionadas con el acopio de información sobre fuentes radiactivas. En la fase de evaluación se debe consultar a los organismos internacionales y nacionales que velan por el cumplimiento de la ley, a las autoridades aduaneras y a los servicios de inteligencia, ya que pueden estar en condiciones de facilitar información actual y pertinente basada en información procedente de fuentes de inteligencia propias del Estado y de redes más amplias.

2.45. Se debe tener en cuenta o reunir la siguiente información como parte de los preparativos para formular una estrategia nacional:

- Número y características de los Estados vecinos y las relaciones políticas con ellos;
- Calidad del control reglamentario de las fuentes radiactivas en los Estados vecinos;

- Tipo de fronteras con los Estados vecinos, esto es, si están abiertas o si el acceso a esos países se ve limitado por barreras naturales o la situación política;
- Número y tipo de los diversos puertos de entrada y salida por tierra, aire o agua;
- Capacidades de detección de la radiación en las fronteras nacionales y otros lugares relevantes;
- Estimaciones de la facilidad de instalación de equipo adicional para la vigilancia de la frontera;
- Documentos de sucesos de tráfico ilícito no cubiertos en operaciones destinadas al cumplimiento de la ley o efectuadas por los servicios de inteligencia o la vigilancia fronteriza existente.

2.46. Debe haber cooperación entre el órgano regulador, los organismos que velan por el cumplimiento de la ley, las organizaciones de servicios de inteligencia, las autoridades aduaneras, los guardias fronterizos y otras autoridades en los puertos de entrada al Estado. Una comunicación efectiva y una asistencia mutua entre dichas organizaciones en cada una de sus áreas respectivas de pericia son necesarias para evaluar correctamente la extensión del tráfico ilícito en el interior del Estado correspondiente.

2.47. Se enumeran a continuación los problemas típicos que pueden surgir en el acopio y la evaluación de la información relativa al tráfico ilícito de fuentes radiactivas;

- No ha habido comunicación entre las diversas organizaciones pertinentes con miras a un planteamiento armonizado para combatir el tráfico ilícito en el Estado;
- La información sobre sucesos de tráfico ilícito no se ha comunicado a los correspondientes organismos encargados de velar por el cumplimiento de la ley o no ha sido transmitida por éstos;
- No se ha procedido a evaluar si el tráfico ilícito representa o no un problema en el Estado;
- Existen pruebas de la existencia de abundante tráfico ilícito en el Estado;
- No se ha impartido capacitación en detección e identificación de materiales radiactivos al personal que podría entrar en contacto con material radiactivo traficado ilícitamente y/o ese personal no está equipado con los correspondientes detectores de radiación;
- No existe cooperación ni hay acuerdos entre las diversas organizaciones que prestan apoyo técnico a las aduanas y las autoridades fronterizas o los organismos que velan por el cumplimiento de la ley;

- Hay falta de vigilancia en las fronteras, incluso en situaciones en que estaría plenamente justificada;
- El equipo de vigilancia de fronteras existente no está en funcionamiento, es ineficiente o insuficiente.

## SOCIOS COMERCIALES

2.48. Hay que evaluar la posibilidad de que materiales importados contengan fuentes huérfanas. Si se pierde el control reglamentario de las fuentes radiactivas, es posible que las propias fuentes puedan mezclarse con otras mercancías o que esas mercancías se contaminen. Las mercancías contaminadas suelen presentar un riesgo para la salud mucho menor que las propias fuentes huérfanas. Ahora bien, la existencia de mercancías contaminadas puede ser un indicador importante de falta de control reglamentario.

2.49. Pocos son los Estados, si es que hay alguno, que cuentan con recursos para muestrear o supervisar de modo efectivo todas las mercancías que entran o salen del Estado. Así pues, las decisiones deben adoptarse durante la fase de formulación de la estrategia nacional para dedicar recursos a la circulación de mercancías que con más probabilidad puedan contener fuentes o estar contaminadas y vigilar aquellos artículos que puedan representar el riesgo más significativo. Por lo general, los recursos deben centrarse en las importaciones destinadas a la industria de reciclado de metales, ya que en el pasado se han producido sucesos en este sector. Hay que evaluar la circulación de esas mercancías (y otras que puedan considerarse interesantes) para determinar si el comercio está restringido a un número limitado de puertos, con objeto de limitar los puntos en los que puede ser necesario aplicar programas de vigilancia. Las decisiones para llegar a establecer medidas de vigilancia son complejas; no obstante, se presentan directrices en el Apéndice II y la Ref. [29].

2.50. Al formular una estrategia nacional, hay que evaluar las posibilidades de que haya radionucleidos de origen natural en las importaciones, ya que estos son algunos de los radionucleidos más comunes descubiertos por los sistemas de vigilancia de fronteras. Los materiales que contienen radionucleidos de origen natural pueden proceder de las industrias que procesan minerales como los siguientes: bastnasita, bauxita, fluorita, ilmenita, monacita, fosfato, pirocloro, arenas de circon, petróleo y gas natural. Las concentraciones pueden variar mucho, según el origen del material y el grado de procesamiento. El empleo de materiales que contienen radionucleidos de origen natural puede representar un

peligro crónico que debe contemplarse en el marco regulador, pero normalmente no supone un riesgo agudo.

## RECICLADO DE METALES

2.51. Se han observado en el pasado importantes consecuencias sanitarias y económicas imputables a fuentes huérfanas contenidas en chatarra en distintas fases de reciclado. Así pues, el reciclado de chatarra debe tratarse como un caso especial, y hay que acopiar información sobre la índole y magnitud de esta industria en el Estado [30–33].

2.52. Si se clausura, desmantela o destruye una instalación en la que se usaban fuentes radiactivas, existe la posibilidad de que no se hayan retirado las fuentes con anterioridad. Por ejemplo, algunos dispositivos de calibración de una planta industrial pueden permanecer fijados a tubos y cañerías que se retiran para reciclarlos como chatarra. Es posible, además, que se puedan enviar a reciclar plomo, tungsteno o uranio empobrecido procedentes del blindaje de la fuente mientras ésta permanece en el interior del blindaje. Como la chatarra se puede transportar por el mundo entero para reciclarla, puede suceder que las fuentes se transporten e importen junto con ella.

2.53. Si no se descubre una fuente radiactiva antes de que sea triturada o fundida junto con la chatarra, el consiguiente escape de material radiactivo puede provocar contaminación del medio ambiente, contaminación importante de la fábrica y enormes gastos relacionados con las actividades de descontaminación (véase el Anexo 1 de la Ref. [30]).

2.54. Si no se descubre la fuente antes o durante la fusión, puede vaporizarse o diluirse y ser incorporada en los nuevos lingotes o escorias de metal. Si sigue sin descubrirse, el material radiactivo pasará a formar parte del producto o desecho final. El metal o los productos metálicos contaminados pueden ser transportados o importados. Las tasas de dosis de los productos metálicos contaminados suelen ser relativamente bajas y no plantean un problema importante a corto plazo. Sin embargo, si se incorpora acero contaminado a artículos que puedan permanecer cerca de las personas durante un periodo prolongado, por ejemplo, sillas, mesas o barras de acero de refuerzo en estructuras de edificios [34–36], las dosis acumuladas pueden llegar a ser significativas.

2.55. Hay que acopiar información sobre traficantes de chatarra y otros implicados en la industria del reciclado de metales. Todos han de ser conscientes

de los riesgos que suponen las fuentes huérfanas. Asimismo hay que considerar medidas, que deben incluirse en la estrategia nacional, para controlar la contaminación de la chatarra y la presencia de fuentes radiactivas. Antes de aplicarlas, deben establecerse los criterios de aceptación y otros niveles de acción.

2.56. La información que debe acopiarse acerca del reciclado de metales comprende:

- Nombre y emplazamiento de las empresas procesadoras de metal en el interior del Estado y sus proveedores, siguiendo la cadena de aprovisionamiento tan lejos como sea razonablemente posible;
- Si esas empresas cuentan con detectores de radiación, ya sean estáticos o móviles;
- Nivel de conciencia entre el personal de esas empresas del riesgo potencial, el símbolo que advierte de la radiación y el aspecto visual de las fuentes típicas y sus típicos blindajes;
- Si hay disposiciones vigentes para tratar las fuentes encontradas en la chatarra;
- Qué empresas, si las hay, importan o exportan chatarra.

2.57. El empleo de detectores de la radiación en diversos puntos a lo largo de todo el proceso de reciclado de metal está casi siempre justificado. También hay que adoptar medidas para tratar las fuentes encontradas. Las personas que trabajan en la industria del reciclado de metal tienen que ser instruidas en cuanto al aspecto visual del símbolo que advierte de la radiación y de las fuentes y los blindajes típicos con que podrían encontrarse. El OIEA ha preparado un juego de herramientas de información que puede resultar útil a este respecto [37]. En la Ref. [38] figuran más recomendaciones para abordar las fuentes huérfanas en las industrias de reciclado y producción de metales.

## FUENTES EN DESUSO

2.58. Las fuentes en desuso suponen el mayor número de posibles fuentes huérfanas, por lo que se debe prestar especial atención a evaluar la escala del problema. A lo largo de la historia se han producido numerosos accidentes relacionados con fuentes huérfanas por un olvido eventual de fuentes que ya no estaban en uso, con la consiguiente pérdida de control unos años después. Por tanto, hay que procurar identificar todas las fuentes en desuso del Estado y asegurarse de que son sometidas a una adecuada disposición final.

2.59. Es preciso acopiar información sobre la situación al menos de todas las fuentes de categoría 1, 2 y 3 en el inventario de cada organización explotadora o el registro nacional de fuentes, de forma que sea posible evaluar si las fuentes están o no en desuso. Por lo general, esta indagación conllevará preguntar al titular de la licencia o al propietario de la fuente por la frecuencia de su uso. Asimismo el examen de las medidas adoptadas para el almacenamiento de fuentes permitirá comprobar si una fuente está siendo realmente usada y si está almacenada de forma físicamente segura.

2.60. En el Apéndice II se exponen directrices para la realización de búsquedas destinadas a acopiar información sobre fuentes en desuso que no aparecen enumeradas en ningún inventario o en el registro nacional de fuentes.

2.61. Hay que animar a las organizaciones explotadoras a no olvidar y anticipar el probable final de la vida útil de una fuente. Podrán así adoptar las medidas administrativas y presupuestarias apropiadas para la disposición final de la fuente, reduciéndose las probabilidades de que fuentes en desuso permanezcan almacenadas en instalaciones del usuario durante períodos prolongados. Es preciso supervisar en cada fuente los siguientes aspectos:

- Vida de trabajo recomendada;
- Cumplimiento de los certificados de aprobación para los materiales radiactivos de forma especial que podrían afectar la capacidad de la organización explotadora de transferir la fuente al término de su período de uso [19];
- Disponibilidad de un embalaje autorizado para el transporte, sobre todo cuando se exige un embalaje específico para el transporte de una fuente [19];
- Resultados de las pruebas de fuga.

2.62. Hay que alentar por diversos medios a las organizaciones explotadoras, por ejemplo, mediante la imposición de tasas de licencia más altas o requisitos reglamentarios más exigentes, a devolver las fuentes en desuso a su fabricante o expedirlas a instalaciones de disposición final, instalaciones de almacenamiento centralizado u otros destinos autorizados en los que sea posible garantizar un control constante. En algunos Estados, la importación de una fuente está condicionada a su reexportación al final de su vida útil o cuando la tarea para la que se importó haya quedado terminada. En otros Estados solo se conceden las autorizaciones si está ya especificado y planificado el itinerario de la disposición final para la fuente. En algunos Estados se requiere una nueva autorización rutinaria de las fuentes, con el pago de una tasa apropiada, procedimiento que ha

resultado beneficioso para animar a los usuarios a decidir si las fuentes siguen siendo o no verdaderamente necesarias. Las campañas regionales y nacionales para recuperar fuentes huérfanas han reducido considerablemente el número de fuentes en desuso existentes [39].

2.63. Se observa a menudo que las fuentes en desuso están:

- Almacenadas de modo inadecuado (esto es aplicable no solo a las fuentes en desuso en poder de un usuario previo, sino también a fuentes en desuso sometidas a control institucional gubernamental. También fuentes huérfanas recuperadas o fuentes confiscadas a traficantes ilícitos pueden estar inadecuadamente almacenadas).
- Privadas de suficiente seguridad física, por lo que pueden ser relativamente fáciles de robar.
- No recontadas con suficiente frecuencia, lo que da lugar a que pase cierto tiempo antes de que se descubra la pérdida de una fuente.
- No declaradas en desuso, incluso pese a no haber sido usadas varios años (lo que significa que esas fuentes no están sometidas a los requisitos reglamentarios propios de las fuentes en desuso y no se considera su disposición final).
- En una situación en la que podrían ser olvidadas, en particular cuando el personal se marcha por jubilación, cambio de trabajo u otros motivos.
- En una situación en la que no se pueden someter a disposición final, al no haber itinerario, método, mecanismo o incentivo para hacerlo.

## FUENTES QUE SE SABEN PERDIDAS Y HALLADAS

2.64. Es preciso acopiar información sobre fuentes radiactivas que hayan sido previamente perdidas o halladas, con objeto de contribuir a cuantificar la envergadura del problema de las fuentes huérfanas. El mayor empeño en este ámbito debe ponerse en las fuentes de categoría 1, 2 y 3. Los datos sobre fuentes perdidas y halladas procedentes de otros Estados pueden contribuir también a determinar las áreas en las que pueden surgir problemas.

2.65. Aunque los registros históricos pueden estar incompletos, hay que establecer un sistema para asegurarse de que en el futuro se acopian y conservan todos los datos sobre las fuentes perdidas y halladas. Algunos Estados mantienen bases de datos (por ejemplo, la *Nuclear Materials Events Database*, que depende de la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos [40]), y también algunas organizaciones internacionales mantienen bases de datos y registros en

otras formas [28, 29, 41]. Los datos contenidos en esas fuentes de información son limitados, faltando muchas comunicaciones, y no es probable que puedan efectuarse evaluaciones cuantitativas puntuales. Sin embargo, cuando se usan conjuntamente con la información proporcionada en la Ref. [16], se puede realizar una evaluación cualitativa de las fuentes de riesgo alto, medio y bajo.

2.66. La falta de datos sobre fuentes perdidas y halladas puede ser tanto un indicador positivo como negativo. Por el lado positivo, podría significar que el control de fuentes radiactivas es tan bueno que no se pierden ni se encuentran dentro del Estado. Por el lado negativo, que no existen mecanismos ni incentivos para informar de la pérdida o el hallazgo de fuentes, o que nadie está al corriente de que se han perdido.

2.67. Los problemas típicos son los siguientes:

- No se conservan datos sobre ninguna fuente perdida o hallada;
- No se ha hecho ningún intento de buscar las fuentes perdidas o de dar con los propietarios de las fuentes encontradas;
- Se han encontrado varias fuentes, lo que indica que otras siguen perdidas;
- Hay pruebas de que se introdujeron fuentes en el Estado, pero se ignora su paradero actual;
- No se procede de modo rutinario a la búsqueda activa de fuentes;
- No se ha establecido el requisito de notificar a los órganos gubernamentales correspondientes la pérdida, la desaparición y el hallazgo de fuentes.

## INCIDENTES

2.68. Si bien se puede aprender mucho repasando incidentes pasados, comprendidos aquellos en los que están implicadas fuentes radiactivas, el interés en el contexto de la formulación de una estrategia nacional ha de centrarse en cómo llegaron a ser huérfanas las fuentes en cuestión.

2.69. Deben tenerse en cuenta los siguientes pasos al examinar incidentes en los que están implicadas fuentes radiactivas:

- Hay que elaborar una lista de los incidentes pasados con fuentes radiactivas.
- Si en un suceso estaban implicadas fuentes con la licencia o la autorización debidas, aunque se puedan derivar lecciones sobre seguridad de la radiación o la regulación, no es probable que resulten de utilidad para encontrar

fuentes huérfanas; así pues, hay que seleccionar los sucesos con fuentes huérfanas o vulnerables y concentrar en ellos los esfuerzos.

- Es preciso determinar el proceso por el que la fuente radiactiva quedó sin control reglamentario (huérfana), y hay que analizar la secuencia de los hechos para averiguar la causa primera.
- Si se han producido varios sucesos con fuentes huérfanas, habrá que averiguar si existen elementos comunes.
- Hay que examinar los documentos y datos existentes para determinar si otras fuentes pueden haber seguido un proceso defectuoso similar por el que lleguen a quedar huérfanas, pero que no hayan dado lugar todavía a un incidente.
- Cuando corresponda, al examen de la información deben seguir entrevistas o visitas del sitio para confirmar o refutar la existencia de otras fuentes.

2.70. Es obvio que el examen de los incidentes en los que están implicadas fuentes radiactivas presenta un considerable potencial de duplicación con los exámenes de fuentes en desuso y fuentes que se saben perdidas y encontradas; no obstante, proporcionará un punto de partida claramente distinto para iniciar una investigación.

## SITIOS DE CONFLICTO Y CATÁSTROFES NATURALES

2.71. Las agitaciones sociales resultantes de conflictos armados y catástrofes naturales como inundaciones, huracanes y terremotos pueden dar lugar a que se eliminen o deterioren gravemente los mecanismos normales del control reglamentario de las fuentes. Por consiguiente, después de esos sucesos desestabilizadores, hay que proceder a evaluar cuanto antes el potencial de nuevas fuentes huérfanas o vulnerables.

2.72. Las preguntas que hay que formular a raíz de tales sucesos son:

- ¿Qué fuentes se encontraban con anterioridad en la zona y dónde estaban situadas?
- ¿Qué extensión tienen los daños sufridos por instalaciones que utilizan y almacenan fuentes?
- ¿Podría haber fuentes vulnerables o huérfanas como consecuencia de un daño bélico colateral, por ejemplo, una unidad de teleterapia dañada en un hospital abandonado?

- ¿Podrían los daños sufridos por los edificios permitir el acceso no controlado a zonas previamente restringidas, posibilitando así el saqueo o la recogida de materiales radiactivos?
- ¿Han sido abandonadas por las personas autorizadas instalaciones que contienen fuentes radiactivas o se ha reducido la vigilancia que ejercían esas personas?
- ¿Se ha visto afectado el control reglamentario normal?
- ¿Indica la evaluación de las amenazas un mayor deseo por parte de algunos individuos de adquirir ilegalmente fuentes radiactivas?

2.73. Todos estos tipos de sucesos exigen la inclusión en la estrategia nacional de búsquedas administrativas y físicas de fuentes radiactivas (véase el Apéndice II).

## SEGURIDAD FÍSICA DE LAS FUENTES

2.74. Como parte de la evaluación es preciso examinar la situación actual y la aplicación de los requisitos de seguridad física relativos a las fuentes radiactivas.

2.75. Históricamente, muchos Estados carecían de requisitos reglamentarios específicos para la aplicación de medidas de seguridad física a fuentes radiactivas que no estuvieran basadas fundamentalmente en consideraciones de seguridad tecnológica, pero desde los ataques del 11 de septiembre de 2001 se han elaborado nuevas medidas para la seguridad física de las fuentes radiactivas [42]. No todos los Estados, sin embargo, han aplicado aún medidas de seguridad física que respondan al actual clima de amenaza.

2.76. Los problemas potenciales en materia de seguridad física de las fuentes son los siguientes:

- Falta de coordinación entre todas las organizaciones nacionales con responsabilidades en materia de seguridad física;
- Ausencia de un marco jurídico nacional, de requisitos reglamentarios o de directrices en relación con la seguridad física de las fuentes;
- Aplicación inadecuada de los requisitos nacionales de seguridad tecnológica y física en instalaciones que utilizan fuentes radiactivas.

### 3. FORMULACION DE LA ESTRATEGIA NACIONAL

#### PANORÁMICA

3.1. En la fase de formulación de una estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables se deben seguir los pasos siguientes:

- Enumeración de los problemas o dificultades potenciales identificados en la fase de evaluación;
- Elaboración de las medidas para resolver cada problema o, si se trata de una situación compleja, identificación de los primeros pasos hacia la solución del problema;
- Priorización de esas medidas y presentación de las mismas en un formato adecuado para que las examinen los responsables de la adopción de decisiones;
- Identificación de los diversos organismos implicados y obtención de un acuerdo relativo a la asignación de responsabilidades de las distintas medidas.

3.2. Si bien el plan de acción es un plan de trabajo con prioridades y es, por ende, un documento para aplicarlo, debe redactarse teniendo presentes a los responsables de la adopción de decisiones como su público primordial. Esto es así porque se precisarán un nivel muy alto de compromiso y, probablemente, recursos nacionales adicionales, para poner en práctica el plan de acción; también pueden ser necesarios más recursos procedentes de Estados u organismos internacionales donantes.

#### ELABORACIÓN DE SOLUCIONES

3.3. Algunos problemas descubiertos en la fase de evaluación pueden ser suficientemente menores o inmediatos para abordarlos antes de formular una estrategia nacional. El órgano gubernamental correspondiente debe ocuparse enseguida de los problemas menores en el marco de la esfera normal de sus actividades. Hay que registrar esos problemas menores y sus soluciones, tanto para asegurarse de que se aprenden lecciones de ese proceso como para reunir datos que puedan apuntar a un problema más sistémico.

3.4. Del mismo modo, el órgano gubernamental correspondiente ha de afrontar en el acto los problemas que representen un peligro inmediato. Igualmente deben registrarse esos problemas y las medidas aplicadas para mitigarlos. Así pues, puede haber cierto traslapeo entre las fases de evaluación, formulación y aplicación. No obstante, la parte principal de la fase de evaluación implicará la identificación de los problemas y las dificultades que precisan una estrategia nacional para solucionarlos.

3.5. Una vez concluida la evaluación de la situación actual, hay que elaborar una lista de las medidas que se van a adoptar para resolver los problemas descubiertos. Si, por ejemplo, no existe un registro de fuentes en el Estado, una solución sería empezar a crearlo. En el Anexo II se enumeran ejemplos de una serie de problemas comunes y las posibles soluciones que se han encontrado y propuesto en diversos Estados como parte del plan de acción de la estrategia nacional.

3.6. Algunos problemas pueden tener varias soluciones posibles. Por ejemplo, si una fuente en desuso se encuentra en una situación vulnerable, es preciso dotarla de mayor seguridad [42], lo cual podría hacerse aumentando la seguridad de su almacenamiento actual, transportándola a un emplazamiento más seguro o procediendo de forma permanente a su disposición final.

3.7. Resulta difícil a veces determinar el grado de detalle con el que deben presentarse las soluciones en el plan de acción. El grado adecuado de detalle ha de determinarse en conformidad con el proceso para lograr el acuerdo sobre la estrategia nacional por parte de las autoridades correspondientes. Estas, por consiguiente, han de ser identificadas en una fase temprana, y el nivel de detalle del plan de acción debe ajustarse para que esté a la altura de sus necesidades.

## PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS

3.8. Hay que priorizar las medidas formuladas. Típicamente habrá una larga lista de problemas y posibles soluciones, todas las cuales no podrán ponerse en práctica de una vez. En los párrafos 3.9–3.14 se formulan recomendaciones sobre una serie de factores que deben tenerse en cuenta en el proceso de priorización.

### **Grado de riesgo inmediato**

3.9. Si un problema descubierto presenta un riesgo inmediato y puede dar lugar a que una fuente radiactiva provoque muertes o heridas, debe otorgarse a ese

problema la máxima prioridad. Como se ha expuesto en el párr. 3.4, es preciso abordar esos problemas antes de formular una estrategia nacional oficial, pero tienen que plantearse de un modo meticulosamente planificado. Ejemplo de una situación así es el descubrimiento de la pérdida de una fuente de radiografía industrial (categoría 2), que exige una intervención inmediata para localizarla y asegurarla.

### **Grado de riesgo potencial**

3.10. La siguiente consideración ha de ser el nivel de riesgo potencial. Se trata de situaciones que, si no se abordan rápidamente, podrían representar un peligro inmediato. Son “accidentes que están esperando para ocurrir”. Un cabezal de teleterapia (categoría 1) abandonado en una zona carente de seguridad es un ejemplo de ese problema. Situaciones similares han sido precursoras comunes de diversos incidentes que han dado lugar a desenlaces fatales o daños graves.

### **Costo de poner en práctica la solución**

3.11. El costo o la facilidad relativos de la aplicación de la solución de un problema identificado deben tenerse en cuenta en la priorización de las medidas. Las medidas que puedan adoptarse fácilmente sin recursos adicionales deben aplicarse de inmediato. Por ejemplo, si un órgano regulador está inspeccionando o autorizando fuentes en función de ciertas fronteras geográficas, como las provincias, el trabajo debe organizarse por categorías de fuentes, ocupándose en primer lugar de las de categoría 1, o sobre la base de la información procedente de las evaluaciones nacionales de la amenaza.

3.12. La enumeración que figura a continuación propone una clasificación posible de las soluciones según su costo:

- 1) Modificaciones de procedimiento que el personal existente puede aplicar inmediatamente;
- 2) Modificaciones de procedimiento cuya formulación o aplicación requieren un trabajo considerable por parte del personal existente;
- 3) Soluciones que requieren la adquisición de nuevo equipo o nuevos vehículos;
- 4) Soluciones que requieren la contratación de personal adicional;
- 5) Soluciones que requieren la construcción de nuevas instalaciones, por ejemplo, instalaciones para el almacenamiento a largo plazo o la disposición final de fuentes en desuso.

### **Velocidad de aplicación**

3.13. En el proceso de priorización debe tenerse en cuenta la rapidez de la aplicación de una solución. A algunas soluciones se puede llegar con más rapidez que a otras. Por ejemplo, una medida para modificar un formulario de solicitud de licencia para recabar más información puede aplicarse mucho más deprisa que una medida cuyo fin es enmendar una ley o una reglamentación.

3.14. En principio, hay que asignar recursos para aplicar las soluciones que tienen una escala temporal corta y bajo costo, con lo que se consigue la ventaja de poner de manifiesto los resultados y mantener el impulso para mejorar. Ahora bien, las soluciones con escalas temporales más largas pueden tener mayor importancia y más repercusiones, y pueden presentar hitos que hay que cumplir dentro de un periodo determinado. Esas soluciones pueden requerir un análisis más a fondo, el acopio de más datos o la formulación de una propuesta de financiación o política.

### **Formato del documento de estrategia nacional**

3.15. El Apéndice I presenta un ejemplo de formato del documento de la estrategia nacional y su contenido; no obstante, es preciso adaptarlo para que se ajuste a la situación nacional concreta.

## **4. APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA NACIONAL**

### **PANORÁMICA**

4.1. En la fase de aplicación de una estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables hay que seguir los pasos que se indican a continuación:

- Adoptar la decisión de actuar;
- Aplicar el plan de acción;
- Evaluar la eficacia del plan de acción y actualizarlo en consecuencia.

## LA DECISIÓN DE AVANZAR

4.2. Una vez que se ha formulado el plan de acción para la estrategia nacional, es la autoridad correspondiente más alta la que debe adoptar la decisión de aplicarlo. Esta decisión debe registrarse oficialmente. Los responsables de garantizar el mantenimiento y la mejora del control de las fuentes radiactivas deben disponer de la autoridad y los recursos necesarios para ejecutar el plan; si no es así, no resultará eficaz. En caso de que haya medidas a largo plazo o sumamente onerosas que requieran más debate y evaluación antes de su aprobación, dichas medidas recibirán un tratamiento aparte, y se presentará el resto del plan para su aprobación.

## EJECUCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

4.3. Una vez aprobado, seguir adelante con el plan de acción será por lo general relativamente sencillo. La aplicación dependerá del carácter específico de cada una de las medidas. Con todo, las que tengan la máxima prioridad son las primeras que deben aplicarse.

4.4. Si un Estado no dispone de los recursos o los conocimientos especializados necesarios para llevar a cabo determinadas tareas, hay que examinar la posibilidad de conseguir ayuda bilateral o internacional. Hay varias maneras de lograr una asistencia adicional, sobre todo por lo que respecta a las fuentes de categorías más altas que puedan estar perdidas o ser vulnerables. El OIEA cuenta con varios mecanismos para prestar esa ayuda, por ejemplo, por medio de su programa de cooperación técnica.

## EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PLAN DE ACCIÓN Y SU ACTUALIZACIÓN

4.5. El plan de acción de la estrategia nacional debe evaluarse, examinarse y revisarse cada año. A medida que se terminan las intervenciones de prioridad más alta, se debe elevar la prioridad en los planes de acción revisados de aquellas tareas que tenían una prioridad más baja. El propio trabajo dará lugar también a cambios de la situación a medida que se vaya acopiando más información, se disponga o no de recursos y se alcance un mayor nivel de conocimiento.

4.6. La aplicación satisfactoria de una estrategia nacional tendrá como resultado que las fuentes huérfanas quedarán sometidas a control reglamentario y mejorará

el control de las fuentes vulnerables. Así pues, la evaluación de la eficacia del plan de acción y su actualización pueden considerarse también una evaluación del sistema de control reglamentario de las fuentes radiactivas.

## **Apéndice I**

### **FORMATO Y CONTENIDO DE UN DOCUMENTO DE ESTRATEGIA NACIONAL**

I.1. Aunque la estrategia nacional y, por ende, el contenido del documento correspondiente serán específicos de cada Estado, en este apéndice se facilitan algunas directrices sobre el formato y el contenido generales.

#### **INTRODUCCIÓN**

I.2. En la presentación del documento de la estrategia nacional deben figurar los antecedentes, los objetivos, el alcance y la estructura del documento, así como las definiciones de los términos empleados. Si bien el plan de acción es un plan de trabajo priorizado y es, por tanto, un documento para aplicarlo, debe redactarse teniendo presentes a los responsables de la adopción de decisiones como su público esencial, debido a que, para ejecutarlo, se precisarán un alto nivel de compromiso y, probablemente, recursos nacionales adicionales; también pueden resultar necesarios más recursos de Estados u organismos internacionales donantes. Por este motivo, la introducción debe contener una explicación sucinta de los tipos y usos de las distintas fuentes radiactivas que haya en el Estado, junto con información relativa a cómo fuentes similares se han convertido en huérfanas o han sido robadas.

#### **INFRAESTRUCTURA NACIONAL PARA EL CONTROL DE FUENTES RADIATIVAS**

I.3. Esta sección del documento de la estrategia nacional debe presentar un breve resumen de la situación histórica en cuanto a la infraestructura nacional para el control de las fuentes y los requisitos actuales. Hay que exponer el alcance de la cobertura de los mecanismos existentes para el control de fuentes, junto con sus puntos fuertes y débiles, y hay que incluir a las autoridades y las responsabilidades otorgadas al respecto a los diversos órganos nacionales. Si la responsabilidad del control de las fuentes radiactivas recae sobre más de una autoridad, hay que exponer con claridad en esta sección las diversas responsabilidades, así como la coordinación y el enlace entre autoridades. Se deben abordar las implicaciones de todo cambio propuesto de los requisitos nacionales relativos al control de fuentes.

## DATOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN

I.4. En esta sección del documento de estrategia nacional hay que describir la evaluación nacional de cada una de las áreas clave que se tratan en la Sección 2 de esta guía de seguridad. Hay que facilitar a los lectores, que pueden no estar familiarizados con las aplicaciones de las fuentes radiactivas, la información de base sobre cada una de las áreas clave. De este modo, el responsable de la adopción de decisiones podrá entender, por ejemplo, los usos de las fuentes de radiografía, cuán peligrosas pueden ser si se sustraen al control y por qué es importante asegurarse de que estén sometidas al control adecuado.

## EVALUACIÓN DE LOS PROBLEMAS Y LAS SOLUCIONES PROPUESTAS

I.5. Hay que exponer cada uno de los problemas que hayan sido identificados y sus elementos constitutivos, junto con las medidas para solucionar o aproximarse a una solución del problema. Para que sean útiles, las descripciones de cada problema y de la solución propuesta tienen que ser específicas y bastante detalladas.

## PLAN DE ACCIÓN

I.6. Con miras a ayudar a los responsables de la adopción de decisiones, el texto de la sección anterior en el que se describen cada problema y la solución correspondiente debe resumirse en un formato breve y tabular que comprenda los siguientes aspectos:

- a) Una exposición clara del problema identificado;
- b) La medida que debe adoptarse para resolver el problema;
- c) La prioridad de la medida;
- d) Los recursos necesarios;
- e) La asignación de responsabilidad;
- f) La escala temporal para la aplicación.

El formato empleado para cada plan de acción podría ser una versión ampliada de los ejemplos expuestos en el Anexo II.

## CONCLUSIÓN

I.7. En la conclusión del documento de estrategia nacional debe figurar una declaración sobre el nivel actual de control de las fuentes radiactivas, junto con una evaluación de las posibilidades de que existan fuentes huérfanas. El lector tiene que poder formarse rápidamente una idea cabal de la situación nacional por lo que respecta al control de las fuentes radiactivas y la importancia de aplicar la estrategia nacional.

## Apéndice II

### LA BÚSQUEDA DE FUENTES

II.1. La estrategia nacional tiene que incluir algún tipo de búsqueda de fuentes radiactivas. En este apéndice se ofrecen directrices detalladas sobre las metodologías para llevar a cabo esas búsquedas, que pueden ser administrativas o físicas. En una búsqueda física se procurará identificar las fuentes radiactivas tanto visualmente como mediante detectores de la radiación. Una búsqueda administrativa puede descubrir pruebas de que una fuente está perdida y originar su búsqueda física. Las búsquedas administrativas sirven también para priorizar las búsquedas físicas.

II.2. Existen varias razones para efectuar búsquedas como parte de una estrategia nacional, que son las siguientes:

- Crear un registro inicial de fuentes;
- Verificar de manera rutinaria que todas las fuentes están contadas y permitir así actualizar el registro;
- Investigar las causas de daños radiológicos;
- Buscar determinadas fuentes perdidas.

II.3. La desaparición de una fuente puede descubrirse de muchas maneras, que son las que a continuación se indican:

- Los resultados de una búsqueda administrativa;
- El informe de un usuario que indica la pérdida o el robo de una fuente;
- La recepción solamente parcial de una remesa;
- Una entrada indebida en un emplazamiento de almacenamiento de fuentes;
- La observación de resultados anómalos de la vigilancia;
- El hallazgo de un contenedor de fuente vacío y etiquetado;
- El descubrimiento de efectos en la salud provocados por la radiación.

II.4. Las decisiones acerca de si se debe iniciar o no una búsqueda y la prioridad correspondiente dependerán del motivo de la búsqueda, así como de los siguientes factores:

- La probabilidad del riesgo potencial de fuentes sospechosas sin control;
- La categoría de una fuente que se sabe desaparecida;
- El tiempo transcurrido desde la pérdida o el robo de una fuente;

- La cantidad de información disponible que podría resultar útil para la búsqueda;
- El costo previsto de la búsqueda y los recursos financieros disponibles;
- Los planes de futuro desarrollo de una zona en la que se sospecha la presencia de una fuente huérfana;
- La disponibilidad de personal cualificado para la búsqueda;
- El equipo de instrumentos disponible para búsquedas físicas;
- La “tolerancia al riesgo” de las autoridades locales y la población próxima (por ejemplo, si la presencia potencial de una fuente huérfana en un lugar público resultaría tolerable).

II.5. Si se determina que el riesgo de daños a personas es alto (por ejemplo, en caso de extravío de una fuente de categoría 1, 2 o 3), la situación se convierte en una emergencia y debe tratarse como tal [43–47]. “Se deberán adoptar disposiciones para iniciar prontamente la búsqueda y alertar al público en caso de que una fuente peligrosa se pierda o se retire ilícitamente y llegue, posiblemente, a manos del público.” (párr. 4.38 de la Ref. [18]).

## BÚSQUEDAS ADMINISTRATIVAS

II.6. En una búsqueda administrativa se acopia la información sin recurrir a equipo de detección de radiación ni búsquedas visuales de fuentes que se saben o sospechan perdidas, desaparecidas o robadas. Dos aspectos clave de las búsquedas administrativas son determinar cuál es la fuente más útil de información y decidir cuál es el mejor método para acopiar la información de esa fuente.

### **Fuentes de información**

II.7. Una de las primeras tareas de una búsqueda administrativa es elaborar una lista de las personas o instituciones donde podría encontrarse actualmente la información deseada. Figuran a continuación una enumeración y un breve comentario de algunas fuentes típicas de información.

#### *Autoridades gubernamentales*

II.8. Comprenden cualquier sector o nivel del gobierno que tenga alguna autoridad para desempeñar funciones relacionadas con la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas. Pueden estar incluidos los ministerios o departamentos gubernamentales, las autoridades competentes, los órganos

reguladores o las autoridades regionales o locales. Pueden abarcar a los responsables de campos como la seguridad radiológica, la energía nuclear, la salud, el medio ambiente, la industria, las minas, la agricultura, el transporte, la educación, las aduanas y la ejecución de la ley. Hay que proceder con especial precaución si en algún momento pasado se han producido cambios significativos de las autoridades o las responsabilidades. La transferencia de autoridad no siempre va acompañada de una transferencia proporcionada de documentos aplicables, como queda ilustrado en el recuadro II.1. Puede haber también deficiencias del control reglamentario en Estados con un sistema federal de gobierno si no existe una distinción clara entre las responsabilidades ejercidas a nivel estatal y a nivel federal. El proceso de evaluación del problema que plantea una fuente huérfana y las lecciones de experiencias pasadas pueden contribuir a descubrir lagunas en la información.

**Recuadro II.1. Consecuencias de un cambio de la autoridad reguladora:  
Goiânia, Brasil**

En el accidente de Goiânia, Brasil [2], acaecido en 1987, estaba implicada una fuente de categoría 1, concretamente una unidad de teleterapia. Incumbían a la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) la responsabilidad de conceder la licencia de toda nueva instalación de radioterapia y su personal de física de la salud. Se incluían aquí planes para la instalación, la documentación sobre seguridad radiológica, disposiciones en materia de supervisión del personal y planes para contingencias. Las licencias expedidas por la CNEN están sometidas a una serie de condiciones, principalmente que se le informe de todo cambio material, por ejemplo, si se desea desplazar una fuente o proceder a su disposición final. Así pues, cuando se abrió la clínica en 1971 contaba con todos los controles necesarios.

La responsabilidad de la inspección ulterior de esas instalaciones médicas recayó en el inisterio Federal de Salud hasta enero de 1976, cuando, en virtud de un decreto poco conocido, volvió a corresponder a las Secretarías Estatales de Salud, de modo que el grado en que existían los programas de inspección y aplicación de la ley variaba considerablemente de un estado a otro. Aunque la responsabilidad primera en materia de seguridad recaía en el titular de la licencia, un programa de inspección apropiado para una fuente de categoría 1 podría haber descubierto el problema antes de que originara un accidente.

A raíz del accidente, se instauró un sistema por el que los concesionarios de licencias estaban obligados a realizar informes rutinarios sobre las fuentes sometidas a su control.

II.9. Por lo general las autoridades gubernamentales dispondrán de información sobre autorizaciones y licencias actuales y pasadas, solicitudes de licencia e informes de inspección, así como sobre transferencias recientes e históricas de fuentes y sucesos relacionados con ellas. También dispondrán de inventarios de las fuentes en su posesión o bajo su control.

II.10. Debe tenerse en cuenta la necesidad de colaboración internacional entre gobiernos al realizar búsquedas de información, ya que las fuentes pueden desplazarse a través de las fronteras, y el gobierno de un Estado vecino puede disponer de la información necesaria sobre una fuente encontrada, por ejemplo. Debido a los posibles movimientos transfronterizos de las fuentes, es preciso facilitar a los Estados vecinos la información relativa a las fuentes perdidas que se consideran peligrosas. A los Estados partes en la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica [47] se les puede exigir que proporcionen esa información.

#### *Organizaciones no gubernamentales e internacionales*

II.11. Existen muchas organizaciones no gubernamentales e internacionales que tienen conocimiento de las fuentes radiactivas y trabajan con ellas. Figuran entre éstas diversas organizaciones de transporte, organizaciones y sociedades de profesionales, organizaciones de apoyo técnico y asociaciones comerciales o grupos industriales. Los tipos de datos de que disponen pueden variar considerablemente, y puede haber restricciones de su disponibilidad o utilización. No obstante, hay que ponerse en contacto con esas organizaciones si se estima que podrían estar en condiciones de facilitar la información necesaria.

II.12. El OIEA ha elaborado un Catálogo internacional de fuentes y dispositivos radiactivos sellados para que lo utilicen los Estados Miembros. Este catálogo es una recopilación de información y especificaciones técnicas sobre fuentes y aparatos radiactivos, fabricantes y distribuidores. Aunque no es exhaustivo, el catálogo contenía más de 20 000 asientos de fuentes y aparatos en 2010, y se está ampliando constantemente. El acceso al catálogo se permite puntualmente, caso por caso, y requiere el acuerdo de la autoridad gubernamental del Estado Miembro. Sin embargo, un manual [48] ofrece un resumen más manejable y públicamente disponible. Su finalidad es contribuir a identificar las fuentes y los aparatos radiactivos de uso corriente, así como los bultos que contienen materiales radiactivos. El grado de detalle del manual es coherente con la necesidad de reducir al mínimo la difusión de la información para aquellos que pudieran utilizarla con fines dolosos.

II.13. Además del catálogo de fuentes del OIEA y del manual [48], se ha publicado un juego de herramientas para comunicaciones con hojas informativas y folletos [37] con el fin de contribuir a la identificación inicial de fuentes y aparatos radiactivos, así como bultos que contienen material radiactivo, por parte

de personas y organizaciones no especializadas que puedan entrar en contacto con ellos por accidente o en el curso de su ocupación normal.

#### *Usuarios y propietarios*

II.14. Los usuarios y propietarios de fuentes dispondrán de alguna información sobre sus fuentes actuales, pero también tendrán documentos o registros de fuentes que poseyeron o utilizaron en el pasado, que pueden encontrarse ahora en otras instalaciones o pueden haber sido expedidos o transferidos a otras. Además, es posible que haya fuentes en su poder o en sus locales de las que no sean conscientes. Esto puede suceder cuando las personas responsables de la fuente se marchan al jubilarse, cambiar de trabajo o por algún otro motivo. Los usuarios de fuentes también pueden conocer a otros usuarios de fuentes o aparatos radiactivos similares en su industria o campo de actividad.

#### *Fabricantes y proveedores*

II.15. Por la naturaleza misma de su negocio, los fabricantes y proveedores de fuentes radiactivas estarán en posesión de gran número de documentos relacionados con sus productos. Figurarán entre estos no solo las especificaciones de diseño, sino también los lugares a los que se expidieron o en los que se instalaron las fuentes.

#### *Documentos sobre el almacenamiento y la eliminación final de desechos*

II.16. Los documentos antiguos procedentes de instalaciones de almacenamiento o disposición final de desechos deben verificarse y compararse con la información actual sobre usuarios de fuentes radiactivas. Hay que efectuar una búsqueda de documentos históricos de las organizaciones que aportaron fuentes a la instalación nacional de almacenamiento de desechos radiactivos o la instalación de disposición final (si es que existe). El cotejo de esa lista con la lista actual de organizaciones de las que se sabe que utilizan fuentes radiactivas proporcionará una indicación de las organizaciones que puedan estar en posesión de fuentes que no estén registradas.

#### *Trabajadores individuales*

II.17. Además de los documentos oficiales que se indican en los párrs. II.8–II.16, hay que tener presente que las personas que trabajan en esas organizaciones conservan recuerdos personales o pueden ser poseedoras de documentos personales que podrían ser de interés para ciertas búsquedas. Aunque la memoria

humana es falible, esas personas podrían proporcionar un elemento clave de información que indicara la posible presencia de una fuente sobre la que no hay documentos escritos. Incluso comentarios y rumores pueden tener interés en el contexto de la búsqueda de fuentes.

II.18. En ocasiones habrá que dar a los trabajadores individuales garantías de anonimato o inmunidad para animarlos a hablar de aspectos del control de fuentes que puedan no haberse ajustado a los requisitos reglamentarios o que los hayan infringido. Así podría suceder, por ejemplo, al tratar de comprobar la información relativa a fuentes abandonadas o desechadas ilegalmente.

#### *Los pioneros*

II.19. Las personas que fueron las primeras en trabajar con materiales radiactivos en cualquier Estado son un subgrupo muy especial de trabajadores individuales a los que es preciso entrevistar en algunos tipos de búsquedas, en especial cuando el objetivo consiste en empezar a crear un registro de fuentes. Es particularmente importante aprovechar este recurso informativo antes de que esas personas fallezcan.

#### *Parientes, vecinos y amigos*

II.20. Este recurso informativo reviste gran importancia cuando se efectúa una búsqueda de una fuente que ha provocado daños por radiación, sobre todo si la persona que los ha sufrido está incapacitada o ha fallecido. Parientes, vecinos y amigos pueden estar en condiciones de proporcionar información específica sobre el contacto de la persona con la fuente o el emplazamiento de la fuente en cuestión. También pueden facilitar información general sobre los hábitos de la persona herida o fallecida, así como sobre otras que puedan haber estado expuestas. Es este un tema que hay que abordar con delicadeza, ya que las personas entrevistadas pueden haber estado también expuestas y necesitar tratamiento. Pueden presentar síntomas menos graves y no ser conscientes de la causa.

#### *El público*

II.21. El público en general constituye un grupo diana con el que hay que proceder con cautela, pues aunque puede contribuir a proporcionar información sobre una fuente que se sabe desaparecida, algunas personas pueden asustarse fácilmente con las cuestiones relativas a las radiaciones o los materiales radiactivos. Por esta razón, el número de veces que se pida información al público

ha de ser limitado, recurriendo a él únicamente para la creación inicial del registro de fuentes y para aquellas situaciones en las que se le puede avisar también de los posibles peligros que entraña una fuente de la que se sabe que ha desaparecido.

## **Métodos**

II.22. Los métodos empleados para acopiar datos en una búsqueda administrativa pueden clasificarse en tres grandes tipos, a saber: peticiones de información a través de los medios de comunicación, búsquedas de documentos y entrevistas. El método apropiado en cada circunstancia dependerá del motivo y la amplitud de la búsqueda. Cada uno de los métodos se comenta en esta sección aportando algunas observaciones sobre su aplicabilidad. Una búsqueda administrativa es una investigación y, como tal, implicará la clasificación de la información proporcionada voluntariamente gracias a llamamientos, el examen de documentos oficiales y el análisis de las entrevistas personales con todos aquellos que estén en condiciones de aportar algo.

### *Los medios de comunicación*

II.23. Los diarios, la radio, la televisión y los carteles son medios valiosos en la realización de búsquedas administrativas. Resultan particularmente útiles en la búsqueda de información para la creación inicial de un registro de fuentes. Los llamamientos a través de los medios de comunicación para que todo aquel que esté en posesión de materiales radiactivos lo notifique al órgano regulador u otro órgano gubernamental apropiado (junto con la correspondiente información para contacto) pueden ser el medio más rápido y fácil de reunir una gran cantidad de información básica para crear un registro de fuentes. El llamamiento inicial para pedir información resultará más eficaz si no es disuasivo de facilitar los datos (por ejemplo, la exigencia de pagar tasas de licencia).

II.24. Los medios de comunicación presentan también un gran interés cuando se sabe que ha desaparecido una fuente peligrosa (categoría 1, 2 o 3). Es posible facilitar a un gran número de personas, de manera muy sencilla y rápida, una descripción o fotografía de la fuente y el signo de aviso del trébol de la radiación, así como información relativa al riesgo que supone y lo que hay que hacer si se encuentra la fuente. Un ejemplo concreto consistiría en seguir el robo de un vehículo que contiene una fuente de radiografía industrial. En tales casos suele ser positivo recurrir a los medios de comunicación para que faciliten al público y a los ladrones detalles e imágenes del aparato radiactivo robado. La difusión por medio de los noticieros de la información relativa a un aparato con una fuente

radiactiva ha provocado a veces su abandono por parte de los ladrones, junto con un “recadito” anónimo a las autoridades para que sepan dónde encontrarlo.

II.25. Los anuncios en los medios de comunicación de fuentes peligrosas desaparecidas pueden servir también para alertar a los médicos de los signos y síntomas propios de daños provocados por la radiación y proporcionarles un punto de contacto.

### *Búsquedas de documentos*

II.26. En este contexto, los documentos abarcan tanto los que figuran en papel como los documentos electrónicos. Los documentos en papel comprenden: archivos, “pasaportes sanitarios”<sup>2</sup>, libros de registro, tarjetas de índice o datos e impresos informáticos. Los documentos electrónicos son: texto, archivos de hojas de cálculo y bases de datos almacenados en el disco duro de un ordenador determinado o en otros ordenadores accesibles por Internet, o en cinta magnética, discos transportables o medios con memoria flash. Los tipos de documentos que hay que buscar son: autorizaciones, registros, licencias, informes de inspecciones, documentos de transporte, permisos de importación y exportación, documentos de pago de deuda, registros de aduanas, inventarios, catálogos de fabricantes, pedidos de compra, informes de incidentes, registros médicos, registros de dosimetría, pedidos de trabajo y documentos relacionados con la disposición final de desechos radiactivos.

II.27. La búsqueda de documentos múltiples puede suponer mucho tiempo y esfuerzo, motivo por el que esas búsquedas documentales prolongadas no suelen hacerse de modo rutinario, sino que más bien forman típicamente parte de búsquedas orientadas y con un fin preciso de un elemento de información determinado. Es típico de una búsqueda orientada que buena parte de los datos se examinen de modo superficial hasta acercarse a la zona de interés, y se proceda entonces a examinar ésta detenidamente. La zona de interés puede ser un periodo de tiempo determinado, un tipo particular de fuente o una industria, sector o grupo diana concretos.

II.28. En Internet hay abundante información útil, que va desde los catálogos de fuentes de los fabricantes hasta los informes de incidentes con fuentes. Ahora

---

<sup>2</sup> Documentos oficiales expedidos en los Estados de la antigua USSR como parte del proceso de autorización de instalaciones y actividades que conllevaran algún riesgo reglamentado, entre ellas las fuentes radiactivas.

bien, al igual que toda la información que aparece en Internet, debe utilizarse con precaución. Un ejemplo de utilización creativa de Internet para búsquedas (que también pueden llevarse a cabo en las páginas amarillas de la guía telefónica) es buscar empresas de servicios o pertenecientes a una industria que usa típicamente fuentes radiactivas. Se puede, por ejemplo, identificar y localizar a todas las empresas dedicadas a embotellar o enlatar cerveza o refrescos en el Estado. Como muchas de ellas emplean fuentes en los calibradores del nivel de llenado, puede resultar apropiado visitarlas o preguntarles si tienen o no este tipo de fuentes. Las empresas a las que conviene interrogar en el marco de esta búsqueda dependerán de las industrias típicas de la región.

### *Entrevistas*

II.29. Las entrevistas pueden hacerse por teléfono, correo electrónico o incluso por medio de cuestionarios normalizados. Por lo general será necesario realizar entrevistas como parte de todas las búsquedas para obtener información de la mayoría de los grupos diana, en especial, los usuarios y propietarios, trabajadores individuales, pioneros en los ámbitos de aplicación de las fuentes radiactivas, parientes y amigos. Hay que preparar una serie normalizada de preguntas para todas las entrevistas; a esas preguntas pueden seguir luego otras específicas del grupo diana o de la búsqueda, hasta conseguir un buen entendimiento de la situación.

II.30. Las entrevistas pueden servir de un modo muy amplio y creativo para recoger datos. Por ejemplo, en el curso de una búsqueda rutinaria de fuentes se puede pedir a una persona que trabaja en una empresa dedicada a la radiografía industrial que enumere a los competidores de la empresa. Cada empresa conocerá a otras que trabajan en lo mismo en el mismo Estado o la misma región. Si hay una empresa competidora que no figura en la lista de titulares de licencia del órgano regulador, hay que visitarla y preguntar directamente a la dirección si tienen fuentes radiactivas en su poder. En esas situaciones pueden resultar también necesarias las búsquedas físicas.

## BÚSQUEDAS FÍSICAS

II.31. Una búsqueda física conlleva fundamentalmente la formulación de un plan de búsqueda, tras lo cual un equipo de búsqueda integrado por una o más personas se desplaza para localizar físicamente las fuentes radiactivas, tanto por medio de la vista como de detectores de las radiaciones. Una búsqueda física se efectúa por lo general después de una búsqueda administrativa. Ahora bien, un

programa de búsqueda es un proceso iterativo y, en determinadas circunstancias, una búsqueda física puede empezar al mismo tiempo que una búsqueda administrativa o incluso antes. Como los equipos de búsqueda pueden toparse con fuentes radiactivas, hay que tener en cuenta que es necesario aplicar medidas para la protección radiológica de esas personas.

II.32. Las búsquedas físicas pueden caracterizarse como pasivas o activas. Las búsquedas pasivas son aquellas en las que el equipo de búsqueda y los detectores son esencialmente estáticos. Los detectores se colocan en determinados lugares y se activa una alarma para que actúe cuando se le aproxime una fuente. Las búsquedas activas son aquellas en las que el equipo de búsqueda utiliza instrumentos móviles y se desplaza hasta las fuentes que están tratando de encontrar.

II.33. Asimismo los detectores de radiaciones pueden clasificarse en estáticos o móviles. Por lo general, los detectores estáticos se emplean en las búsquedas pasivas y los móviles en las activas, pero no de modo exclusivo. Un detector manual de radiaciones, por ejemplo, puede utilizarse tanto para las búsquedas pasivas como las activas.

II.34. Los detectores estáticos de las radiaciones suelen ser de tipo pórtico, a través de los cuales pasan vehículos, personas, contenedores u otros objetos. Este tipo de detectores también se pueden instalar, por ejemplo, en el garfio de los cementerios de automóviles, encima o debajo de una cinta transportadora, o fijarse a una pared como monitor de sala de la radiación.

II.35. Los tipos de detectores móviles de radiaciones son:

- Dosímetros de bolsillo con una función de alarma;
- Detectores manuales;
- Detectores montados en vehículos para observaciones desde la carretera;
- Detectores sensibles fijados a un avión para efectuar inspecciones aéreas.

II.36. La mayor parte del tiempo los detectores utilizados en búsquedas físicas sirven para medir únicamente las radiaciones gamma, pero también se miden en determinadas circunstancias los neutrones, las radiaciones beta y las radiaciones alfa.

II.37. En las Refs. [30, 49] se facilitan más detalles sobre los tipos de detectores de radiaciones utilizados para las búsquedas físicas, así como sus limitaciones y aplicaciones.

II.38. Los miembros de los equipos de búsqueda que realizan búsquedas físicas activas y pasivas, y aquéllos que puedan ser llamados a reaccionar cuando se detecten radiaciones, deben recibir capacitación en la utilización del equipo de detección y capacitación básica en seguridad radiológica, que ha de abarcar, como mínimo, la importancia de optimizar la protección radiológica y de mantener las dosis por debajo de los límites y los niveles de referencia establecidos. La capacitación tiene que incluir el modo de utilizar correctamente el equipo de detección, las estrategias efectivas de búsqueda, el aspecto de cada fuente y de los contenedores o dispositivos blindados en los que puedan encontrarse [48], así como las medidas apropiadas que es preciso adoptar si se encuentran fuentes.

### **Búsquedas pasivas**

II.39. En las búsquedas pasivas de fuentes radiactivas no sometidas a control se sitúan los detectores apropiados en los lugares idóneos. Las características de los detectores que se empleen dependerán del tipo y la actividad de las fuentes que se estén buscando. La detección pasiva se emplea fundamentalmente en búsquedas rutinarias de fuentes.

II.40. La ubicación más adecuada para un detector pasivo de radiaciones es un punto nodal. Son lugares donde se concentra la circulación de mercancías, vehículos o personas y comprenden los pasos fronterizos (y otros puertos de entrada), túneles e instalaciones de reciclado de chatarra. La instalación de sistemas de monitorización para búsquedas pasivas en instalaciones de chatarra está casi siempre justificada (véase párr. 2.57), mientras que en la monitorización de fronteras la cuestión es más compleja y requiere una evaluación detenida.

### *Monitorización de fronteras*

II.41. La monitorización de fronteras puede servir para muchas cosas, entre ellas realizar búsquedas pasivas de fuentes [29, 49]. Es normalmente de la incumbencia de organizaciones distintas del órgano regulador, como las autoridades aduaneras, los guardias fronterizos y las autoridades portuarias. La gama de sus posibles usos comprende los siguientes:

- Detección de fuentes huérfanas;
- Detección del tráfico ilícito;
- Disuasión del tráfico ilícito;
- Protección radiológica de los guardias fronterizos y el personal de aduanas;
- Detección de mercancías contaminadas.

II.42. Deben tenerse en cuenta la importancia nacional y la prioridad relativas de cada uno de estos usos al decidir si instalar o no sistemas de monitorización de fronteras, dónde instalarlos y qué tipos de equipo emplear. Entre otros factores que deben tenerse en cuenta figuran los siguientes:

- El nivel de amenaza que suponen las fuentes huérfanas, el tráfico ilícito o las mercancías contaminadas;
- El número y tipo de puertos de entrada en el Estado (pasos de fronteras, puertos y aeropuertos);
- Recursos disponibles o que se pueden conseguir;
- Percepciones públicas y políticas de la monitorización de las fronteras.

II.43. En algunos Estados puede haber centenares de pasos fronterizos y otros puertos de entrada; también es preciso tener en cuenta dónde se separan los caminos de pasajeros y mercancías. Cubrir todas las vías posibles puede representar un reto muy considerable. Es evidente que la instalación de detectores estáticos en puertos de entrada por los que pasan grandes volúmenes de cargamento o en carreteras de alto riesgo proporcionará el máximo rédito de la inversión. Hay algunas situaciones en las que es obvio que se impone la monitorización de fronteras, y otras en las que no está tan claro. Si se ha otorgado una elevada prioridad a impedir que entren en el Estado fuentes huérfanas y los datos revelan que la mayoría de la chatarra penetra en el Estado por uno o dos puertos determinados, habrá que considerar la instalación en esos puertos de detectores suficientes del tipo apropiado. Ahora bien, para abordar estas cuestiones, es preciso efectuar una evaluación de la amenaza y formular una estrategia sobre el modo de establecer medios de monitorización radiológica en las fronteras.

## **Búsquedas activas**

### *Búsquedas de fuentes concretas*

II.44. El primer elemento de toda búsqueda orientada de una fuente huérfana consiste en elaborar un plan sistemático de búsqueda, que debe especificar:

- Los objetivos de la búsqueda;
- Los límites de la búsqueda (geográficos o temporales);
- El radionucleido o la serie de radionucleidos que hay que buscar;
- Los límites de las capacidades de detección del equipo;
- Los métodos de monitorización (detectores manuales, detectores montados en vehículos o inspecciones aéreas) que se van a emplear;

- Los procedimientos para abordar una fuente hallada (entre ellos, garantizar la protección radiológica y el transporte seguro, el almacenamiento provisional y la disposición final de la fuente y, en caso de que se sospeche una actividad criminal, la seguridad de que se tienen en cuenta los aspectos forenses [50]);
- Las responsabilidades y los mecanismos de coordinación de las distintas partes implicadas en la búsqueda;
- La dotación de recursos humanos y financieros;
- Los criterios para detener la búsqueda (ver párrs. II.52 y II.53).

II.45. Los esfuerzos por seguir la pista de una fuente empezarán normalmente en el último emplazamiento conocido, realizando una búsqueda activa dentro de los límites de la instalación en cuestión. Se debe realizar una búsqueda administrativa para descubrir la secuencia de los hechos que se sabe que contribuyeron, o pudieron contribuir, a la pérdida de la fuente. Hay que recabar información de los trabajadores y la dirección correspondientes lo antes posible, antes de que los recuerdos se borren, para identificar posibles ubicaciones (véase recuadro II.2) o trayectorias de desplazamiento de la fuente radiactiva.

#### **Recuadro II.2. Fuentes de braquiterapia perdidas en un hospital**

A causa de su pequeño tamaño, las fuentes de braquiterapia pueden quedar incrustadas en el linóleo que recubre los corredores o pasillos por los que circulan las fuentes o los pacientes a los que se les implantaron al ser conducidos de los pabellones al quirófano. De modo característico, las fuentes de braquiterapia perdidas se pueden encontrar:

- En los lavabos y retretes de los pabellones y sus correspondientes sistemas de alcantarillado;
- En las zonas limítrofes del hospital;
- En puntos de recogida de desechos sólidos, desechos de fosa séptica e incineradoras;
- Todavía implantadas en un paciente que ha salido del hospital.

II.46. Si no se puede localizar la fuente huérfana en el sitio original, hay que ampliar la búsqueda para que abarque otras ubicaciones posibles (recuadro II.3). Además, es preciso identificar y registrar las vías y los medios de transporte que conectan esos lugares, así como los posibles destinos finales. Si hay fronteras en las proximidades, hay que aprovechar cualquier monitor pasivo ya instalado. En todo caso, la notificación a las autoridades competentes de los Estados vecinos resulta apropiada y es exigible a los Estados partes en las Convenciones sobre pronta notificación y asistencia [47].

### **Recuadro II.3. Buscando una fuente de radiografía: Yanango, Perú [51]**

En 1999, un soldador y su ayudante efectuaron reparaciones en una tubería de 2 m de diámetro. A eso de las 11:30 horas, llegaron un radiógrafo y su ayudante para practicar una radiografía de la soldadura reparada en cuanto estuviera lista. Dejaron su contenedor de radiografía cerca de la tubería. A causa de ciertas dificultades con el equipo de verificación por ultrasonido, el radiógrafo se marchó para conseguir otro equipo en sustitución. Regresó a las 22:00 horas e inició la radiografía. Al revelar las placas, resultó que ninguna de ellas había estado expuesta a la radiación. Las comprobaciones ulteriores determinaron que la fuente no se encontraba en la proximidad inmediata de la tubería. Una posible explicación de que la fuente pudiera haberse desplazado es que se desconectara del cable, cayera al suelo y fuera recogida por otro trabajador como un objeto interesante. Se visitó a todo el personal que había estado ese día en el sitio, empezando por los que se habían aproximado al lugar donde se encontraba el contenedor de la fuente. Al acercarse a la casa del soldador con un monitor de radiaciones resultó manifiesta la presencia de la fuente, que se recuperó con éxito.

II.47. Si la búsqueda se ha decidido por la observación de efectos en la salud provocados por las radiaciones, las entrevistas de investigación con las personas afectadas proporcionarán información útil acerca de dónde empezar la búsqueda.

II.48. Basándose en la información obtenida en la búsqueda inicial, hay que decidir si la búsqueda debe ampliarse más allá de la zona inmediata o la ubicación inicialmente supuesta de la fuente. En tal caso, hay que pensar en dividir la búsqueda en fases, de modo que exista la posibilidad de reevaluar el plan de acción a la luz de la experiencia.

II.49. A medida que transcurre el tiempo después de la pérdida de control de la fuente, aumentan las posibilidades de desplazamiento de la fuente huérfana. Si las simples búsquedas locales no permiten dar con ella, es preciso efectuar una evaluación de los siguientes factores:

- El posible radio del desplazamiento de la fuente;
- La escala de las búsquedas que puedan resultar necesarias, basada en el radio de desplazamiento y el historial de la fuente;
- Los recursos necesarios para llevar a cabo esas búsquedas;
- Los diversos escenarios de punto final, comprendidos los criterios para detener la búsqueda (ver párrs. II.52 and II.53);
- Las consecuencias potenciales de no encontrar la fuente.

### *Campañas de búsqueda rutinaria*

II.50. Las búsquedas rutinarias de fuentes son por lo general búsquedas pasivas, pero también pueden llevarse a cabo de modo activo. Un ejemplo de cómo pueden hacerse es el siguiente: Durante la inspección rutinaria de los locales de un usuario autorizado, se podría dedicar algún tiempo adicional a recorrer las zonas de almacenamiento o los sótanos con un detector de radiación para comprobar la presencia eventual de otras fuentes, de las que tal vez ni siquiera sea consciente el usuario.

II.51. A no ser que haya motivos para creer que las fuentes pueden encontrarse en una determinada parte del Estado o en un sitio particular, no se recomienda realizar búsquedas físicas generales activas. Normalmente esas búsquedas son muy caras, sobre todo si se emplean personal muy abundante o inspecciones aéreas. Además, la experiencia ha demostrado que no resultan particularmente valiosas para encontrar fuentes. En el recuadro II.4 se muestra un ejemplo de una ocasión en la que se estimó que una búsqueda física general y activa estaba suficientemente justificada.

### CRITERIOS PARA DETENER UNA BÚSQUEDA

II.52. Una de las decisiones más difíciles de adoptar es cuándo poner fin a una búsqueda infructuosa. Esa decisión ha de basarse en numerosos factores, entre ellos:

- Si quedan o no algunos indicios o pistas útiles por examinar;
- La categoría de la fuente;
- Las consecuencias probables de que la fuente sea encontrada por alguien del público;
- La vida media y la actividad de la fuente, y el tiempo transcurrido desde su pérdida;
- La posibilidad de que la fuente se encuentre en un lugar inaccesible para el público;
- La necesidad de dedicar a otras labores los recursos que se están usando en la búsqueda;
- La presión pública y política, y el grado de inquietud.

II.53. En casos pasados (ver recuadros II.5 y II.6), se dio una combinación de agotamiento de los lugares inmediatamente obvios donde buscar, acompañado de claras pruebas circunstanciales de la improbabilidad de graves consecuencias. Sin

#### **Recuadro II.4. Empleo de una inspección aérea: Georgia**

El OIEA ha prestado ayuda a Georgia con su programa de seguridad radiológica por espacio de varios años, especialmente desde el accidente ocurrido en Lilo en 1997, en el que algunos vigilantes fronterizos sufrieron heridas provocadas por las radiaciones a causa de la exposición a la radiación procedente de fuentes abandonadas [4]. El Ministerio de Medio Ambiente de Georgia emprendió la limpieza del territorio con ayuda del OIEA, que organizó cursos de capacitación y facilitó equipo por conducto de su programa de cooperación técnica.

Durante una búsqueda de fuentes huérfanas, efectuada por las autoridades georgianas en 1998, se descubrieron cuatro fuentes de estroncio (entre otras muchas). La actividad de cada una oscilaba en torno a 1 500 TBq (40 000 Ci).

Teniendo en cuenta la posibilidad de que pudiera haber en el país más fuentes huérfanas peligrosas, Georgia pidió al OIEA que apoyara una búsqueda de las mismas. Las reuniones preparatorias de la búsqueda se celebraron en Georgia y en Viena con objeto de examinar la situación y planificar una estrategia. Las autoridades georgianas delimitaron la zona en la que deseaban que se llevara a cabo la búsqueda, pero el presupuesto no era suficiente para poder explorar esa vasta zona con el sistema de detección necesario (equipo y personal). Como compromiso, los participantes franceses en el proyecto propusieron una estrategia basada en buscar en las zonas más pobladas dentro de la zona de búsqueda prevista. A la vista de la sensibilidad del sistema de detección ofrecido para esta operación y el periodo de tiempo que iba a estar disponible, las zonas pobladas que había que inspeccionar y el nivel de exposición aceptado por las autoridades georgianas, se llegó a un compromiso sobre el nivel de actividad por debajo del cual la población no se consideraba expuesta. El OIEA y Georgia aceptaron la estrategia. El equipo francés de búsqueda utilizó un sistema cartográfico gamma aerotransportado denominado HELINUC, instalado en un helicóptero que habían proporcionado las autoridades georgianas. Se determinaron los parámetros de vuelo del helicóptero de conformidad con los términos del compromiso. Los datos (espectro y posición) se registraban en vuelo y se procesaban tras el aterrizaje. Los resultados de los vuelos de un día determinado se facilitaban el día mismo, en forma de mapa, al representante del OIEA al frente de la misión. Los mapas en los que podían verse con facilidad los resultados permitían adoptar decisiones sobre las actividades del día siguiente.

Durante la operación, el helicóptero voló 81 horas con el sistema de detección, se inspeccionaron 1 200 km<sup>2</sup>, y se detectó una fuente de cesio de unos 100 MBq en una zona poblada, cerca de la ciudad de Poti. El equipo georgiano encargado de la recuperación de la fuente de cesio se ocupó de ella valiéndose de sus capacidades locales.

A finales de 2001 se descubrieron otras dos fuentes de estroncio de elevada actividad a raíz de los graves daños por radiaciones sufridos por tres leñadores. Esas fuentes se recuperaron en febrero de 2002. Más tarde, en junio de 2002, se realizaron nuevas inspecciones radiológicas de superficie (a pie, a caballo y en vehículo) en busca de otras dos fuentes huérfanas de estroncio que se creía que se encontraban en el Estado.

embargo, se han dado otros casos en los que los posibles puntos finales no estaban bien definidos y la magnitud de las posibles consecuencias podía ser considerable, por lo que la búsqueda siguió adelante (véase el recuadro II.7).

#### **Recuadro II.5. Ejemplo de decisión de abandono de una búsqueda: India**

Una fuente desintegrada de Ir<sup>192</sup> para radiografía industrial que había sido embalada y transportada en un aparato de exposición a radiografía industrial había sido extraviada por el transportista y no había llegado a manos del destinatario. Una búsqueda minuciosa reveló que la oficina de carga había enviado el bulto, al parecer en buen estado, a un destino erróneo. Como nadie lo había reclamado ni recogido, fue enviado a una de las zonas de almacenamiento del transportista. Se procedió a un seguimiento de este suceso, pero al cabo de varios meses de comprobaciones en las distintas zonas de almacenamiento pertenecientes al transportista, se decidió abandonar la búsqueda. Los factores clave en la adopción de esta decisión fueron los siguientes:

- Para empezar, la actividad de la fuente era baja y había seguido desintegrándose con el tiempo desde que se perdió (el Ir<sup>192</sup> tiene una vida media de 74 días).
- Todos los documentos relacionados con el bulto indicaban que no había sido subastado ni eliminado de algún otro modo.
- A partir de los documentos disponibles, estaba claro que el bulto estaba en buen estado y no había sido abierto.
- La fuente estaba contenida en un aparato de exposición a la radiografía industrial que sólo una persona capacitada podía poner en funcionamiento.
- Como las zonas de almacenamiento del transportista eran muchas, habría llevado bastante más tiempo, esfuerzo y gasto seguir la pista del bulto. La dosis resultante si una persona no autorizada lo hubiera abierto no justificaba que siguiera la búsqueda.

Al cabo de varios meses se localizó el bulto en la primitiva oficina de carga. El bulto no había sido manipulado y la fuente seguía intacta.

**Recuadro II.6. Una búsqueda en la que no se logró dar con la fuente y fue abandonada:  
Reino Unido**

En mayo de 2000, una empresa fabricante de guata de poliéster para los mercados de colchones y muebles comunicó la pérdida de una fuente de  $\text{Am}^{241}$  de 11,1 GBq, que se usaba para medir el espesor de la guata. Las búsquedas efectuadas en las proximidades con equipo de monitorización confirmaron que la fuente no se encontraba en los locales de la empresa. La fuente había estado instalada en una máquina de producción que había sido desmontada y vendida a una empresa de reciclado de metal en octubre de 1999. Las dos máquinas restantes conservaban cada una sus fuentes radiactivas instaladas, pero se observó que las señales de los soportes de esas fuentes que indicaban que contenían una fuente radiactiva habían desaparecido casi por completo. Se llegó a la conclusión de que era sumamente probable que la fuente hubiera ido a parar a la planta de reciclado de metal. Aunque ésta tenía instalado un detector de radiación tipo pórtico, es probable que no hubiera sido detectada debido a la baja radiación gamma del  $\text{Am}^{241}$  y al efecto protector de la caja de acero. No había pruebas de contaminación en el emplazamiento del cementerio de automóviles. Se informó a las personas y las empresas de la industria del reciclado que pudieran haber recibido el material, pero nadie comunicó ningún problema.

Se llegó a la conclusión de que:

- La fuente había sido probablemente fundida en un lugar desconocido;
- La mayor parte del  $\text{Am}^{241}$  debía encontrarse en la escoria y estaba por consiguiente considerablemente autoblandado;
- Las consecuencias radiológicas potenciales para los trabajadores y el público eran mínimas;
- Había que suspender la búsqueda.

**Recuadro II.7. Ejemplo de decisión de no abandonar una búsqueda: India**

Una fuente de diagráfia había sido robada de un almacén. Una búsqueda, una investigación y un interrogatorio minuciosos revelaron que la fuente robada había sido arrojada a un río próximo. Debido al peso de la sonda en cuyo interior se encontraba la fuente, se había sumergido al parecer hasta el sedimento. Se hicieron grandes esfuerzos por localizar la posición de la sonda y de la fuente bajo el agua, pero resultaron infructuosos. Sin embargo, tras una evaluación, se decidió no abandonar la búsqueda porque:

- Se conocía el lugar aproximado en que se encontraba la fuente y era accesible al público;
- Sería posible recuperar el control de la fuente, incluso si había que dedicar a ello mucho esfuerzo, tiempo y dinero;
- La vida media de la fuente era de 450 años;
- El riesgo inherente a la búsqueda de la fuente era insignificante.
- La búsqueda prosiguió hasta la recuperación final de la fuente.



## REFERENCIAS

- [1] COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, Accidente por contaminación con cobalto-60, Rep. CNSNS-IT-001, CNSNS, Ciudad de México (1984).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1989).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Tammiku, OIEA, Viena (1998).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Lilo, OIEA, Viena (2000).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Istanbul, OIEA, Viena (2000).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Samut Prakarn, OIEA, Viena (2002).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA: Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica, Edición de 2007, OIEA, Viena (2008).
- [8] Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials (Actas de la Conferencia Internacional de Dijon, 1998), OIEA, Viena (1999).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, National Regulatory Authorities with Competence in the Safety of Radiation Sources and the Security of Radioactive Materials (Actas de la Conferencia de Buenos Aires, 2000), OIEA, Viena (2001).
- [10] Security of Radioactive Sources (Actas de la Conferencia Internacional de Viena, 2003), OIEA, Viena (2003).
- [11] Safety and Security of Radioactive Sources: Towards a Global System for the Continuous Control of Sources throughout their Life Cycle (Actas de la Conferencia Internacional de Burdeos, 2005), OIEA, Viena (2006).
- [12] 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, Nociones Fundamentales de Seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1, OIEA, Viena (2007).

- [13] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad, Colección Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 1, OIEA, Viena (2010).
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, OIEA/CODEOC/2004, OIEA, Viena (2004).
- [16] 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).
- [17] Convención sobre la protección física de los materiales nucleares, INFCIRC/274/Rev.1, OIEA, Viena (1980).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [19] 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).
- [20] 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).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Programas de protección radiológica para el transporte de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° TS-G-1.3, OIEA, Viena (2011).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Almacenamiento de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-6.1, OIEA, Viena (2009).
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión de desechos procedentes de la utilización de materiales radiactivos en medicina, industria, agricultura, investigación y educación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS G-2.7, OIEA, Viena (2009).
- [24] 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).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control reglamentario de las fuentes de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-G-1.5, OIEA, Viena (2009).

- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas: Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, IAEA/CODEOC/IMP-EXP/2005, OIEA, Viena (2005).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sistema de información para autoridades reguladoras, software RAIS, información relacionada y material de capacitación, OIEA, Viena (2010); <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/regulatory-infrastructure/rais.asp>.
- [28] Illicit Nuclear Trafficking: Collective Experience and the Way Forward (Actas de la Conferencia Internacional de Edinburgo, 2007), OIEA, Viena (2007).
- [29] OFICINA EUROPEA DE POLICÍA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE POLICÍA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE ADUANAS, Combating Illicit Trafficking in Nuclear and Other Radioactive Material, Reference Manual, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 6, OIEA, Viena (2007)
- [30] COMISIÓN ECONÓMICA PARA EUROPA, COMISIÓN EUROPEA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Report on the Improvement of the Management of Radiation Protection Aspects in the Recycling of Metal Scrap, UNECE/TRADE/278, CEPE, Ginebra (2002).
- [31] LUBENAU, J. O., YUSKO, J. G., Radioactive materials in recycled metals — An update, *Health Phys.* **74** 3 (1998) 293–299.
- [32] PAÍSES BAJOS, MINISTERIO DE VIVIENDA, PLANIFICACIÓN ESPACIAL Y MEDIO AMBIENTE, Incidents Involving Radioactive Substances in 1999 and 2000, Inspectorate for the Environment — South-West, Rep. No. 17055/185, Ministerio de Vivienda, Planificación Espacial y Medio Ambiente, La Haya (2001).
- [33] Control and Management of Radioactive Material Inadvertently Incorporated into Scrap Metal (Actas de la Conferencia Internacional de Tarragona, 2009), OIEA, Viena (2011).
- [34] CHANG, W. P., CHAN, C. C., WANG, J. D., <sup>60</sup>Co contamination in recycled steel resulting in elevated civilian radiation doses: Causes and challenges, *Health Phys.* **73** 3 (1997) 465–472.
- [35] HWANG, J. S., CHAN, C. C., WANG, J. D., CHANG, W. P. Radiation exposure modeling for apartment living spaces with multiple radioactive sources, *Health Phys.* **74** 3 (1998) 379–386.
- [36] HWANG, J. S., CHANG, J. B., CHANG, W. P. Spread of <sup>60</sup>Co contaminated steel and its legal consequences in Taiwan, *Health Phys.* **81** 6 (2001) 655–660.
- [37] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sealed Radioactive Sources Toolkit, folleto informativo, OIEA, Viena (2005).
- [38] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-17, OIEA, Viena (2011).
- [39] AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE LOS EE.UU., Orphan Sources Recovery Efforts, EPA, Washington, DC; <http://www.epa.gov/rpdweb00/source-reduction-management/recovery.html>
- [40] COMISIÓN REGULADORA NUCLEAR, NMSS Licensee Newsletter, junio-julio de 2001, NUREG/BR-0117, NRC, Washington (2001).

- [41] COMITÉ CIENTÍFICO DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LAS RADIACIONES ATÓMICAS, UNSCEAR 2000, Report to the General Assembly, Volume 1: Sources, Naciones Unidas, Nueva York (2000).
- [42] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Security of Radioactive Sources, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 11, OIEA, Viena (2009).
- [43] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, OIEA, Viena (2000).
- [44] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Emergency Notification and Assistance Technical Operations Manual, EPR-ENATOM, OIEA, Viena (2007).
- [45] COMISIÓN EUROPEA, OFICINA EUROPEA DE POLICÍA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE POLICÍA CRIMINAL – INTERPOL, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, AEN de la OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, OFICINA DE ASUNTOS DEL ESPACIO ULTRATERRESTRE DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations, EPR-JPLAN, OIEA, Viena (2010).
- [46] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, EPR-METHOD, OIEA, Viena (2009).
- [47] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica, Colección Jurídica N° 14, OIEA, Viena (1986).
- [48] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Identificación de fuentes y dispositivos radiactivos, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 5, OIEA, Viena (2009).
- [49] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Technical and Functional Specifications of Radiation Border Monitoring Equipment, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 1, OIEA, Viena (2005).
- [50] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Nuclear Forensics Support, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N° 2, OIEA, Viena (2006).
- [51] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Yanango, OIEA, Viena (2000).

## Anexo I

### CAUSAS DE LA PÉRDIDA DE CONTROL DE FUENTES RADIATIVAS

#### PANORÁMICA DE LAS CAUSAS DE PÉRDIDA DE CONTROL

I-1. Al preparar una estrategia nacional conviene examinar tanto las causas básicas y las causas específicas de la pérdida de control de fuentes radiactivas, como los sucesos típicos que se han producido en prácticas concretas. Puede haber un solo fallo catastrófico o, más frecuentemente, una combinación de sucesos que contribuyeron. En el pasado, la mayoría de las causas han pasado inadvertidas y se han debido en gran medida a negligencia. No obstante, ha aumentado la posibilidad de que haya fuentes no sometidas a control reglamentario por razones deliberadas, financieras o dolosas. Entre las motivaciones figuran el rechazo a pagar los costos de la disposición final, las ventas ilegales con ánimo de lucro y el terrorismo.

I-2. Además, numerosos Estados tienen una “herencia histórica” de fuentes. Se trata de fuentes que se usaban antes de que se implantara una infraestructura reglamentaria. Independientemente de que haya habido una pérdida de control o de que no existiera en su momento, hay algunas vías comunes para el paso inadvertido de una fuente al dominio público. El comercio internacional, sobre todo el de chatarra, ofrece potencial para el desplazamiento transfronterizo de fuentes huérfanas y, por ende, las consecuencias pueden no quedar limitadas al Estado de origen.

#### **Causas básicas**

I-3. Algunas de las causas básicas importantes que han contribuido a la pérdida de control de fuentes han sido la falta o la ineficacia de:

- Apoyo gubernamental al órgano regulador;
- Compromiso del gobierno con las recomendaciones internacionales sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas;
- Órganos reguladores;
- Requisitos reglamentarios;
- Inspección y coacción reglamentarias;
- Registro nacional de fuentes;
- Conocimiento o capacitación de la dirección y los trabajadores;

- Compromiso de la dirección con la seguridad y el control de las fuentes;
- Programa de protección radiológica en la organización.

### **Causas específicas**

I-4. La enumeración de las causas específicas de la pérdida de control de fuentes radiactivas que corresponderían a la mayoría de las aplicaciones es la siguiente:

- Ausencia o insuficiencia de:
  - Evaluación previa del riesgo;
  - Conocimiento de los requisitos de la seguridad tecnológica y física;
  - Seguridad en el almacenamiento, el transporte y el uso de fuentes;
  - Inspecciones de la radiación, esto es, ausencia de monitorización tras una exposición a radiografía gamma;
  - Supervisión de los trabajadores;
  - Disposiciones para la preparación en caso de emergencia;
  - Capacitación o cualificación del personal.
- Disposiciones inadecuadas para el mantenimiento o para la atenuación de las consecuencias de accidentes;
- Incumplimiento deliberado de requisitos reglamentarios, comprendidas las disposiciones en materia de importación o exportación;
- Abandono;
- Un suceso catastrófico, p.ej., incendio, explosión, inundación, agitación civil;
- Robo;
- Pérdida de conocimiento corporativo, debido a:
  - Pérdida o traslado de personal clave;
  - Bancarrota;
  - Almacenamiento de fuentes a largo plazo;
  - Clausura de una fábrica o instalación.
- Fallecimiento del propietario;
- Cambio de propiedad del equipo o la fábrica, sobre todo el cambio de propiedad pública a propiedad privada;
- Traslado de una fuente para una disposición final inapropiada;
- Impedimentos para la disposición final legal, por ejemplo:
  - Indisponibilidad de una vía para la disposición final;
  - Exportación imposible;
  - Altos costos de la disposición final.

I-5. Una consideración de la vida de una fuente puede contribuir a ilustrar aquellas situaciones en las que ésta podría sufrir un mayor riesgo de pérdida de control. La Figura I-1 presenta un ejemplo correspondiente a una fuente en una planta industrial. La buena práctica se refleja en la columna de la izquierda, pero en todo punto pueden surgir problemas que den lugar a la pérdida de control, como se muestra en la columna de la derecha.

## PÉRDIDA DE CONTROL EN PRÁCTICAS CONCRETAS

I-6. En esta sección se presenta un breve resumen de determinadas prácticas para las que se emplean fuentes de distintas categorías, y un comentario de las consideraciones relativas a la pérdida de control específicas de esa práctica. Se exponen los medios más probables por los que las fuentes correspondientes a cada práctica pueden convertirse en huérfanas y se ofrecen ejemplos de casos reales. No se comentan detenidamente las fuentes de categoría 5 porque son demasiado pequeñas para representar una preocupación significativa en materia de seguridad. Es importante recalcar, no obstante, que todo material que deba estar sometido a control reglamentario por su radiactividad tiene que ser regulado con arreglo a un enfoque graduado. Para un resumen de las principales aplicaciones, así como los radionucleidos típicos y la gama de actividades en uso, véase el cuadro 2 del Apéndice I de la Ref. [I-1].

I-7. Algunas fuentes se utilizaban en el pasado con fines distintos, por lo que es preciso tener también en cuenta las aplicaciones históricas. En las secciones siguientes se enumeran los principales usos de diversas fuentes, pero la enumeración no es exhaustiva, porque la tecnología experimenta mejoras constantes y hay algunas aplicaciones, como la calibración, en la que se utilizan fuentes con una amplia gama de actividades.

### Fuentes de categoría 1

#### *Generadores termoeléctricos de radioisótopos*

I-8. *Aplicación.* Los generadores termoeléctricos de radioisótopos (GTR) son aparatos que utilizan el calor provocado por la desintegración de un radioisótopo para producir electricidad. Los dos radionucleidos que se han usado con más frecuencia son  $\text{Sr}^{90}$  ( $330\text{--}2,5 \times 10^4$  TBq) y  $\text{Pu}^{238}$  (1–10 TBq). La corriente eléctrica que se genera puede variar entre unos pocos vatios y decenas de kilovatios, según la actividad y el radioisótopo. No hay partes móviles en estos aparatos y, como han sido diseñados para funcionar solos durante decenas de

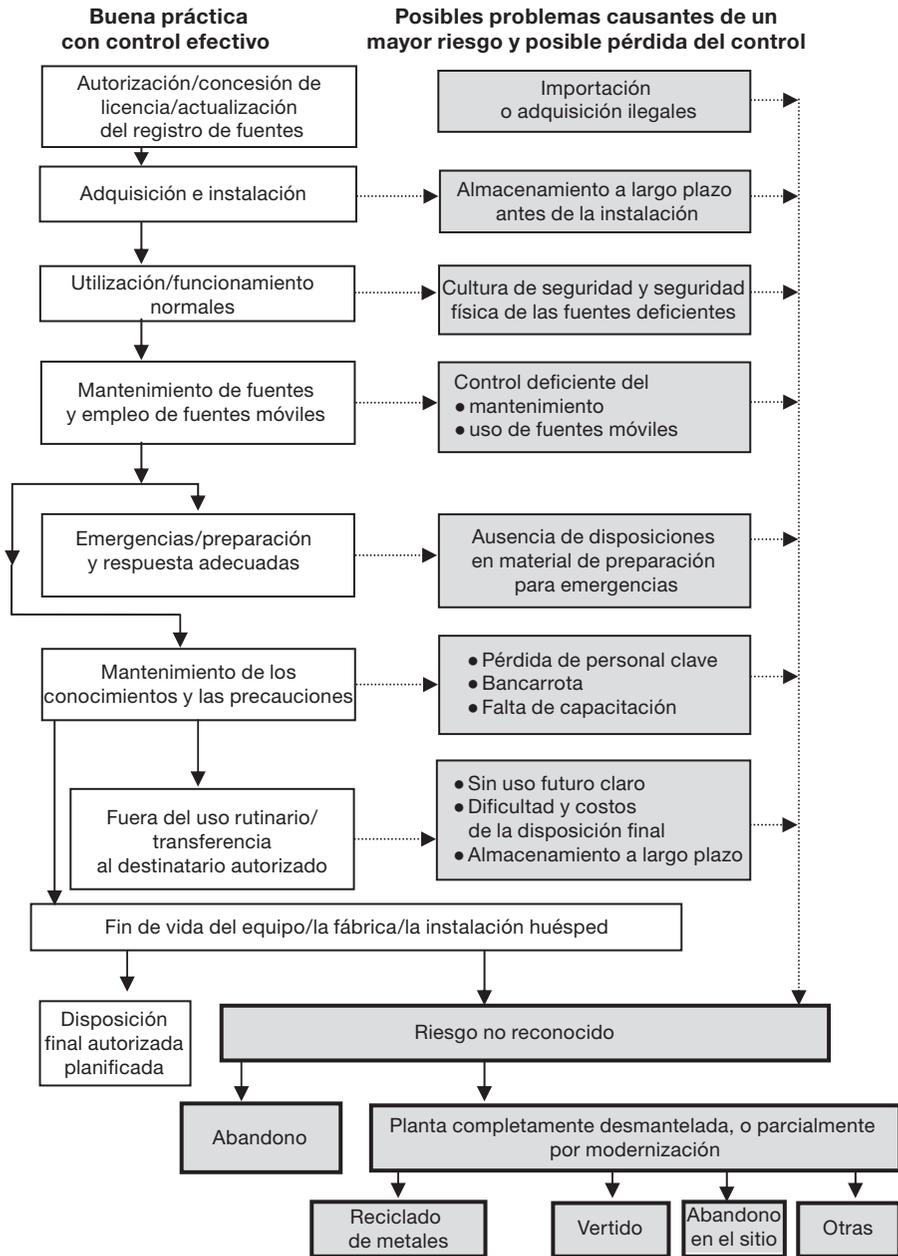


Fig. I-1. Ejemplo de vida de una fuente en una planta industrial.

años, son ideales para proporcionar electricidad a equipo en zonas remotas. Por ello se han utilizado mucho en regiones árticas y en el espacio. Muchos de estos aparatos fueron inicialmente instalados por las fuerzas militares de los EE.UU. y la antigua URSS para monitorización a distancia o con fines de navegación.

I-9. *Posibles causas de pérdida de control.* El hecho de que estos aparatos se desplieguen en regiones remotas, en instalaciones que muchas veces carecen de vigilancia, significa que pueden ser desplazadas por personas, adquiridas con fines ilegales o desmontadas por el valor como chatarra del material utilizado como blindaje. Además, un cambio de gobierno y/o la pérdida de documentos pueden significar que esas fuentes queden abandonadas y olvidadas hasta su redescubrimiento al cabo de algún tiempo. También algunos satélites espaciales que contienen GTR han vuelto a entrar en la atmósfera de la Tierra, causando preocupación por la diseminación del material radiactivo. En el recuadro I-1 se comenta un suceso acaecido en Georgia que ilustra los problemas potenciales de los GTR huérfanos.

#### **Recuadro I-1. Accidente con un GTR: Georgia, 2001**

En diciembre de 2001, tres guardabosques encontraron dos objetos de cerámica que desprendían calor en las proximidades de su campamento, en el remoto valle del río Inguri, en Georgia. Dos de ellos transportaron los contenedores a la espalda y sufrieron náuseas, vómitos y mareo a las pocas horas de la exposición. El tercero transportó la fuente atada a un cable. En un hospital de Tbilisi (Georgia) se les diagnosticaron daños y quemaduras graves por radiación, y al menos dos de ellos se encontraban en estado grave. Un equipo georgiano recuperó las fuentes a comienzos de 2002 con ayuda del OIEA. Se desblindaron las fuentes, que eran fuentes cerámicas de dos GTR de la era soviética, cada una de las cuales contenía aproximadamente 30 000 Ci de Sr<sup>90</sup>. Dos de las víctimas recibieron tratamiento en hospitales de París y Moscú durante muchos meses antes de que se recuperaran de las graves quemaduras provocadas por la radiación.

#### *Irradiadores comerciales*

I-10. *Aplicación.* Las instalaciones comerciales de irradiación en gran escala son relativamente poco numerosas y contienen típicamente fuentes de muy alta actividad de Co<sup>60</sup> y Cs<sup>137</sup>, con márgenes de 0,2–600 PBq. Entre las aplicaciones se cuentan la esterilización de productos médicos (suturas y guantes, por ejemplo), la conservación de alimentos y el cruce de polímeros para modificar sus propiedades. Las fuentes utilizadas en los irradiadores varían por sus dimensiones físicas, ya que algunas son grandes y otras del tamaño de un lapicero, y es característico que cada instalación cuente con muchas de estas

fuentes. Están instaladas en grandes recintos ad hoc blindados que emplean, ya sea un estanque profundo de agua, ya sea plomo macizo u hormigón, para blindarlas cuando no se están utilizando.

I-11. *Posibles causas de la pérdida de control.* Cuando se expone la fuente, las tasas de dosis en el interior del recinto de irradiación son altísimas, y en cuestión de segundos se podría recibir una dosis letal. Estas instalaciones tienen, por consiguiente, muchos elementos de seguridad tecnológica, que se basan en los principios de defensa en profundidad, diversidad e independencia de los sistemas de seguridad [I-2]. Ahora bien, si no están bien diseñados y mantenidos, los sistemas de seguridad pueden deteriorarse y, facilitados por un error humano, pueden producirse accidentes. No existen informes documentados de abandono u olvido de esas fuentes o irradiadores. Sin embargo, ha habido casos con bancarota en los que el “destinatario” designado despidió al personal e ignoró por algún tiempo la índole del riesgo del que era responsable. Si un irradiador fuera abandonado, habría una seria amenaza de exposición letal.

I-12. Un escenario más probable implicaría la pérdida de fuentes individuales de su bastidor. Característicamente éste consta de una serie de módulos, cada uno de ellos dentro de un marco que sujeta 30-50 lápices, cada uno de ellos de unos 45 cm de longitud y 1 cm de diámetro, y contiene en torno a 150 TBq de  $\text{Co}^{60}$  o posiblemente  $\text{Cs}^{137}$ . Si las instalaciones de irradiación no están bien mantenidas, existe la posibilidad de que haya objetos que interfirieran con el movimiento del bastidor de la fuente y deformen los marcos de los módulos, permitiendo así que se desprenda un lápiz de la fuente. Esto ha sucedido en varias ocasiones (véase el recuadro I-2) [I-3]. Cabe la posibilidad de que un lápiz caiga en una de las cajas que transportan el producto irradiado fuera de la instalación. Los irradiadores modernos tienen instaladas unas estructuras envolventes protectoras para separar las fuentes de las cajas y sistemas de monitorización en los puntos de salida del producto para detectar esa situación. Ahora bien, hay que mantener estos sistemas para que sean eficaces.

I-13. Otra consideración es que hay que sustituir de vez en cuando algunos lápices de la fuente a causa de la desintegración radiactiva. Normalmente esta labor corre a cargo de los proveedores de las fuentes, y las fuentes viejas se colocan para su devolución en contenedores especialmente diseñados para el transporte. En esta fase existen posibilidades de que los problemas de transporte originen demoras que den lugar a que se almacene el contenedor y tal vez se olvide. Podría entonces darse un escenario similar al del accidente de Estambul con una fuente de radioterapia (véase el recuadro I-5).

**Recuadro I-2. Accidente con un irradiador: San Salvador,  
El Salvador, 1989**

Este accidente se produjo en una instalación de irradiación industrial que contenía 0,66 PBq de  $\text{Co}^{60}$  en forma de un bastidor de fuente de dos módulos, cada uno de ellos con varios lápices de fuente. En el momento del accidente no existía la infraestructura regulatoria o de seguridad radiológica correspondiente, ya que el país había estado diez años en guerra civil. El efecto neto fue un deterioro de los sistemas de seguridad y del entendimiento por parte de los operadores de los peligros de la radiación. En el accidente, tres personas entraron en una cámara de irradiación para liberar el bastidor de la fuente, cuyo movimiento para la seguridad del pozo de agua se había visto impedido por cajas de producto deformadas.

El problema no se reconoció por espacio de dos semanas, y durante ese tiempo los daños sufridos por el bastidor provocaron la caída de los lápices. La mayoría cayeron en el pozo de agua, pero uno cayó en el suelo de la cámara de irradiación. Por pura casualidad ninguno cayó en una de las cajas del producto, que podrían haberlos trasladado al exterior de la instalación. El monitor instalado en la salida, diseñado para detectarlo, llevaba tiempo averiado. Uno de los que entraron en la cámara falleció más tarde y a otro hubo que amputarle una pierna.

*Irradiadores autoblandados e irradiadores de sangre/tejidos*

I-14. *Aplicación.* Existen diversos irradiadores más pequeños, denominados unas veces irradiadores autoblandados y otras irradiadores de sangre/tejidos, que se emplean en hospitales y clínicas. Aunque son de menor tamaño que los irradiadores comerciales, no por eso dejan de contener fuentes de actividad alta. Además de esterilizar sangre, tejidos y semillas, se emplean para colorear piedras preciosas, irradiar insectos en el marco de programas de erradicación de estos animales e investigaciones de los efectos de las mutaciones en productos agrícolas. De modo característico, estos irradiadores incluyen una cámara de muestra con puertas enclavadas, y las fuentes se desplazan para rodear la cámara o ésta se desplaza cerca de las fuentes. No hay una manera sencilla de acceder a las propias fuentes una vez que han sido instaladas dentro del irradiador. En ciertos casos, éste, con algunas pequeñas modificaciones, sirve también como contenedor de envío de la fuente.

I-15. La mayoría de estos irradiadores están fijos en una posición permanente, pero algunos aparatos, por ejemplo, los irradiadores "Gamma Kolos", se montaban en camiones pesados o remolques y eran transportados por toda la ex Unión Soviética para irradiar semillas a medida que se plantaban. En la actualidad la mayor parte de esos aparatos se han retirado de los vehículos y se encuentran almacenados.

I-16. *Posibles causas de la pérdida de control.* Pocos aparatos fijos se han visto implicados en accidentes con fuentes huérfanas, debido en parte a su robustez y diseño. La principal inquietud sería el abandono de esos aparatos, tal vez en épocas de agitación civil o de resultados de una bancarrota. Los cambios del centro de interés de la investigación por parte de instituciones han dado también lugar a que esos aparatos caigan en desuso y sean abandonados por mucho tiempo. Ha suscitado preocupación la posible vulnerabilidad en materia de seguridad física de algunos irradiadores móviles.

#### *Aparatos de teleterapia*

I-17. *Aplicación.* Las unidades de teleterapia se encuentran habitualmente en instituciones médicas, como hospitales o clínicas, para ser usadas en el tratamiento del cáncer. En esta aplicación se utiliza una fuente grande, habitualmente  $\text{Co}^{60}$ , pero también es posible que sea  $\text{Cs}^{137}$ , de varios centenares de TBq, fuera del cuerpo, para irradiar partes del organismo de un paciente, en particular un tumor. Las dimensiones físicas de esas fuentes son relativamente pequeñas, por lo general cilíndricas (unos pocos centímetros de diámetro y varios centímetros de longitud). La fuente está contenida dentro de un gran dispositivo de blindaje.

I-18. El “bisturí gamma” (para cirugía estereotáctica) es un aparato parecido, pero usa numerosas fuentes (unas 200) para proporcionar haces de radiación que se pueden apuntar hacia un determinado punto de tratamiento en el cerebro, al mismo tiempo que se reducen al mínimo las dosis que recibe el tejido sano.

I-19. Las instalaciones en cuyo interior se encuentran esas unidades de radioterapia están específicamente diseñadas y tienen gruesos muros blindados, así como otro equipo protector.

I-20. Las fuentes de cobalto 60 constan por lo general de una serie de bolitas o discos metálicos sólidos en el interior de una cápsula de acero inoxidable. El riesgo procede principalmente de la exposición externa, a no ser que las fuentes se vean sometidas a daños considerables, mecánicos o por calor, como sucedería en la industria de reciclado de metales. En tal caso habría contaminación y posibilidades de exposición interna.

I-21. El material radiactivo de los aparatos de teleterapia con  $\text{Cs}^{137}$  suele presentarse en forma de cloruro de cesio, que posee la actividad específica alta necesaria, de modo que los aparatos puedan ser lo bastante pequeños físicamente para los fines del tratamiento.

I-22. *Posibles causas de la pérdida de control.* En una utilización normal, unos controles adecuados garantizarán unos riesgos mínimos, pero si esas fuentes se retiran de sus cajas de modo no autorizado, pueden proporcionar una dosis letal en muy poco tiempo. Además, como el material de la caja puede ser considerado valioso como chatarra, se ha producido en varias ocasiones pérdida de control por robo. Se ha llegado así a la fusión u otras destrucciones físicas de la caja, con la consiguiente diseminación de la contaminación, bien directamente o por la incorporación del radionucleido en artículos fabricados a partir de chatarra.

I-23. Teniendo en cuenta el carácter macizo de las unidades de teleterapia y el hecho de que se utilizan en un medio como es una clínica de radioterapia, cuyo personal tiene que conocer la protección radiológica, a primera vista es difícil imaginar que estas fuentes lleguen a quedar huérfanas. Sin embargo, hay ejemplos bien documentados de que ha sucedido, dando lugar a desenlaces fatales y una grave contaminación ambiental.

I-24. Una vez que se ha roto la contención de una fuente de cloruro de cesio, la gran movilidad del material da lugar a una rápida diseminación de la contaminación (véase el recuadro I-4).

I-25. En los recuadros I-3 a I-6 figuran ejemplos de accidentes en Juárez, México [I-4], Goiânia, Brasil [I-5], Estambul, Turquía [I-6] y Samut Prakarn, Tailandia [I-7]. Unos estaban relacionados con Cs<sup>137</sup>, otros con Co<sup>60</sup>.

#### **Recuadro I-3. Accidente con un cabezal de teleterapia: Goiânia, Brasil, 1989**

En 1987 en Goiânia, una asociación médica privada especializada en radioterapia se disolvió de mala manera. Nadie se hizo cargo de una unidad de teleterapia de Cs<sup>137</sup> de 50 TBq, que quedó abandonada en el edificio parcialmente derribado de la antigua clínica. Dos años más tarde, algunas personas del lugar desmontaron la fuente y su caja, y se la llevaron por su valor como chatarra. En ese proceso la fuente se rompió. El material radiactivo estaba en forma de cloruro de cesio compactado, que es muy soluble y fácilmente dispersable. Por espacio de dos semanas, la radiactividad se diseminó por diversas zonas de la ciudad por contaminación de contacto y resuspensión. Artículos (y personas) contaminados se desplazaron a otras partes del país.

El reconocimiento de la existencia del problema se debió al aumento del número de efectos en la salud. Había más de 249 personas externamente contaminadas y 129 internamente. Veintiuna personas recibieron dosis superiores a 1 Gy y fueron hospitalizadas, diez de ellas necesitaron un tratamiento médico especializado y, de éstas, fallecieron cuatro. La descontaminación y limpieza del medio ambiente llevó seis meses de esfuerzos intensos y produjo 3 500 toneladas de desechos radiactivos.

**Recuadro I-4. Accidente con un cabezal de teleterapia: Juárez,  
México, 1983**

En 1977, un hospital de Juárez, México, adquirió de un hospital de los EE.UU. una unidad de teleterapia de  $\text{Co}^{60}$  de 37 GBq. No fue importada legalmente y las autoridades no estaban al tanto. El hospital carecía de recursos para usarla de inmediato y fue almacenada en una instalación comercial sin ninguna indicación clara de los riesgos. El personal superior correspondiente se fue del hospital. En 1983, un miembro nuevo del personal, que sabía de su existencia pero no tenía conocimiento del peligro, la retiró para venderla como chatarra. La fuente se rompió durante el transporte, y se diseminaron por la carretera algunas pequeñas bolitas. La fuente fue fundida en una fundición y solo fue descubierta cuando, por casualidad, un autocamión que transportaba productos contaminados disparó las alarmas en la instalación nuclear de Los Alamos, en los EE.UU.

Unas 75 personas recibieron dosis que oscilaban entre 0,25 y 7,0 Gy, hubo que demoler 814 casas con material radiactivo en las barras de acero de refuerzo, varias fundiciones precisaron una gran descontaminación, y los desechos generados se elevaron a 16 000 m<sup>3</sup> de suelo y 4 500 toneladas de metal.

**Recuadro I-5. Accidente con un cabezal de teleterapia:  
Estambul, Turquía, 1998**

En 1993, un operador con licencia cargó tres fuentes de radioterapia gastadas en bultos para transporte con objeto de devolverlas al primitivo proveedor en los EE.UU. Sin embargo, los bultos no fueron enviados y quedaron almacenados en Ankara hasta 1998. Dos de ellos fueron transportados entonces a Estambul y almacenados en un depósito para todo uso. Al cabo de algún tiempo se llenó, y los bultos fueron desplazados a unos locales adyacentes vacíos. Nueve meses más tarde esos locales pasaron a otras manos, y los nuevos propietarios, ignorantes de la naturaleza de los bultos, los vendieron como chatarra. La familia de los chatarreros rompió y abrió el contenedor de una fuente, exponiéndose involuntariamente a la fuente no blindada de  $\text{Co}^{60}$  de 3,3 TBq. Diez personas recibieron dosis entre 1,0 y 3,1 Gy, y presentaron signos de síndrome agudo de radiación. Afortunadamente no murió nadie.

La segunda fuente, de  $\text{Co}^{60}$  de 23,5 TBq, sigue sin ser localizada, pese a una intensa búsqueda y un programa de monitorización.

**Recuadro I-6. Accidente con un cabezal de teleterapia:  
Samut Prakarn, Tailandia, 2000**

Una empresa de Bangkok poseía varios aparatos de teleterapia sin la autorización de la Oficina de Energía Atómica para la Paz del país. A finales de 1999, la empresa trasladó los cabezales de teleterapia de un depósito que había alquilado a un almacén sin medidas de seguridad. A finales de enero de 2000, varias personas consiguieron entrar en ese lugar y desmontaron en parte un cabezal de teleterapia que contenía 15,7 TBq de  $\text{Co}^{60}$ . Se llevaron la unidad al domicilio de una de ellas, donde cuatro personas intentaron seguir desmontándola. Aunque el cabezal mostraba un trébol de radiación y una etiqueta de alarma, no reconocieron el símbolo o no entendieron la lengua. El 1 de febrero de 2000, dos de esas personas llevaron el aparato, desmontado en parte, a una chatarrería de Samut Prakarn. Mientras un empleado de la chatarrería estaba desmontando el aparato con un soplete de oxiacetileno, la fuente se cayó de su caja sin que nadie se percatara.

Hacia mediados de febrero de 2000, varias de las personas afectadas empezaron a sentirse enfermas y a buscar ayuda. Los médicos reconocieron los signos y síntomas, y alertaron a las autoridades. Tras realizar algunas búsquedas en el montón de chatarra, se encontró y recuperó la fuente. Diez personas en total recibieron dosis altas. Tres de ellas, que trabajaban en la chatarrería, fallecieron a los dos meses del accidente a consecuencia de la exposición.

I-26. Algunos casos han presentado ciertas características comunes, que son factores significativos a la hora de determinar las estrategias nacionales para ocuparse de las fuentes huérfanas o vulnerables:

- Almacenamiento prolongado de las fuentes antes de usarlas o al final de su vida útil;
- Tendencia de las fuentes a terminar en la industria chatarrera;
- Reconocimiento de los efectos de la radiación en la salud como motor del descubrimiento del accidente.

## **Fuentes de categoría 2**

### *Radiografía industrial gamma*

I-27. *Aplicación.* El uso de la radiografía industrial está ampliamente generalizado y presenta un alto potencial de riesgo [I-8]. La construcción y el mantenimiento de instalaciones petroquímicas, por ejemplo, conlleva el empleo de fuentes radiográficas portátiles de hasta 7 TBq para comprobar las soldaduras de tuberías y depósitos. Hace unos años se utilizaron fuentes de  $\text{Cs}^{137}$ , y algunas de ellas pueden existir aún. En la actualidad se emplean con más frecuencia fuentes de  $\text{Ir}^{192}$  o  $\text{Co}^{60}$ , pero también pueden usarse  $\text{Yb}^{169}$ ,  $\text{Tm}^{170}$  o  $\text{Se}^{75}$ .

I-28. Los aparatos que contienen fuentes de radiografía industrial son por lo general de poco tamaño físico, aunque suelen ser pesados a causa del blindaje en cuyo interior se encuentran. Las fuentes en sí son muy pequeñas, con menos de 1 cm de diámetro y tan solo unos pocos centímetros de longitud. A menudo están sujetas a cables especialmente diseñados para su buen funcionamiento. El hecho de que estos aparatos sean portátiles puede hacerlos susceptibles de robo o pérdida.

I-29. La mayoría de los aparatos radiográficos de exposición remota tienen un diseño general por el que la cápsula de la fuente está sujeta físicamente a un cable flexible corto, frecuentemente conocido como montaje de la fuente, que va conectado, a menudo por medio de una bola con un resorte y un enchufe, a un cable flexible de arrastre. Cuando no se está utilizando, la fuente se encuentra en el centro del aparato de exposición. Cuando se está usando, se conecta un tubo guía a la parte delantera del contenedor, y la fuente es impulsada, moviendo el cable de arrastre, a lo largo de este hasta la posición deseada.

I-30. En las industrias pesadas como las fundiciones o fábricas de producción de acero, se puede instalar en recintos construidos con este fin equipo radiográfico portátil, móvil (sobre ruedas) o fijo con Ir<sup>192</sup>, Co<sup>60</sup> o Cs<sup>137</sup>. Las instalaciones móviles o fijas incorporan un blindaje más pesado que las cajas portátiles de fuentes y son, por lo tanto, más difíciles de sustraer o retirar.

I-31. *Posibles causas de la pérdida de control.* Las cajas de los aparatos de exposición radiográfica y recambios de fuentes contienen varias decenas de kilogramos de material de blindaje, como uranio empobrecido, plomo o tungsteno, que pueden ser percibidos como valiosos. Es también importante el hecho de que, al ser la mayor parte del equipo portátil, se puede utilizar prácticamente en todas partes. Esos aparatos se transportan con frecuencia a sitios temporales de trabajo en lugares o emplazamientos remotos en los que reinan condiciones de trabajo extremas. Junto con esto, la supervisión puede ser escasa o inexistente, con lo que hay posibilidades reales de que contenedores enteros con sus fuentes se pierdan o sean robados en los sitios temporales de trabajo. Las fuentes corren también riesgo de perderse durante el transporte a sitios de trabajo temporales. Pueden acabar en la industria de reciclado de metal o quedarse en el dominio público. Estos problemas son similares a los de las fuentes huérfanas de teleterapia y, si bien los niveles de actividad de la radiografía industrial son más bajos, siguen siendo suficientes para producir efectos letales. Tal vez la amenaza más considerable proceda de la pérdida de la fuente sin su blindaje.

I-32. Un mantenimiento deficiente, un acoplamiento incorrecto, la incompatibilidad de los aparatos, las obstrucciones o los enroscamientos del tubo guía son factores todos ellos que pueden provocar presiones extremas en las distintas conexiones y, eventualmente, el desprendimiento de la fuente del cable de mando. Esto supone una amenaza inmediata para el radiógrafo, quien debe realizar una inspección después de cada exposición para asegurarse de que la fuente ha vuelto plenamente a la posición segura y blindada. No hacerlo así ha originado exposición grave del radiógrafo y otras personas, al salirse la fuente del equipo inadvertidamente. A los miembros del público que se las encuentran, esas fuentes de radiografía pueden parecerles objetos curiosos, que pueden ser fácilmente recogidos y llevados al domicilio familiar, a menudo con efectos letales, como se indica en los recuadros I-7 [I-8], I-8 y I-9 [I-9]. En muchos casos, la aparición de síntomas médicos es por desgracia la primera indicación del hallazgo de una fuente radiactiva.

**Recuadro I-7. Accidente con una fuente de radiografía industrial:  
Marruecos, 1984**

Una fuente de Ir<sup>192</sup> de 1,1 TBq se desconectó de su cable de arrastre. Por culpa de la falta de monitorización adecuada, pasó desapercibida y se desprendió del tubo guía. Tenía el aspecto de un objeto interesante y fue recogida por alguien que se la llevó a su casa. Estuvo fuera de control de marzo a junio, y, a consecuencia de ello, fallecieron ocho personas.

**Recuadro I-8. Accidente con una fuente de radiografía industrial:  
El Cairo, Egipto, 2000**

Un agricultor recogió una fuente de Ir<sup>192</sup> de 3 TBq, creyendo que tenía valor, y se la llevó a su casa. El 6 de mayo de 2000, el agricultor y su hijo de 9 años acudieron al médico local quejándose de quemaduras en la piel. El médico les recetó medicación para una infección viral o bacteriana. El niño murió el 5 de junio de 2000 y el padre el 16 de ese mismo mes. El 26 de junio se practicó un análisis de sangre a otros miembros de la familia que presentaban síntomas similares. El análisis reveló una disminución severa del número de leucocitos, que hizo sospechar una exposición a la radiación. Se localizó y recuperó la fuente. Otros familiares fueron hospitalizados. Cuatro hombres fueron imputados por negligencia grave, homicidio no premeditado y daños no intencionados, por no haber notificado a las autoridades que la fuente, utilizada para inspeccionar soldaduras de tuberías de gas natural, no había sido recuperada después del trabajo.

**Recuadro I-9. Accidente con una fuente de radiografía industrial: Yanango, Perú, 1999**

No está claro si este accidente se debió a que alguien manipuló un cerrojo de seguridad. El reconocimiento de una situación defectuosa se produjo cuando una placa radiográfica procesada salió en blanco. La búsqueda de la fuente se centró en las personas que habían estado en la zona. Un soldador la había recogido y se la había llevado a su casa en el bolsillo. De resultas del accidente perdió una pierna, y su esposa sufrió una lesión menor.

I-33. Si los locales quedan abandonados o el equipo sin supervisión por cualquier motivo, el vandalismo u otras interferencias podrían provocar los mismos problemas que se dan con las fuentes de teleterapia. Las fuentes son pequeñas y pueden sacarse fácilmente de los contenedores.

I-34. La industria de la radiografía industrial es muy competitiva y cuenta con numerosas empresas pequeñas, por lo que cada año cierto número de ellas dejará de funcionar o sufrirá una bancarrota. En tales circunstancias aumenta el riesgo de que las fuentes puedan ser lisa y llanamente abandonadas.

I-35. Las grandes cantidades, el entorno en que funcionan, el nivel de actividad y la portabilidad/movilidad de la mayoría de las fuentes de radiografía industrial las convierten en objetos privilegiados para el robo (recuadro I-10).

**Recuadro I-10. Robo de una fuente de radiografía industrial: India**

Un contenedor blindado con una fuente de radiografía de Ir<sup>192</sup>, de 185 GBq y una actividad aproximada de 0,3 TBq fue robado por los trabajadores de un vehículo de recogida de basura. El contenedor blindado fue vendido a un chatarrero y la fuente quedó guardada debajo del asiento del conductor. Una operación de búsqueda, con el apoyo de una investigación efectuada por la policía local, permitió descubrirla en un terreno dedicado a cremaciones. Siguió su pista un equipo de búsqueda física.

*Braquiterapia con tasa de dosis media/alta*

I-36. *Aplicación.* Braquiterapia es un vocablo que se emplea para designar la aplicación intersticial o intracavitaria de fuentes radiactivas, colocándolas directamente en el tumor (seno, próstata), en moldes (piel, recto) o en aplicadores especiales (vagina, cuello del útero). Las aplicaciones de la braquiterapia tienen dos variedades ligeramente diferentes, que generalmente se conocen como braquiterapia con tasa de dosis alta (categoría 2) y braquiterapia con tasa de dosis baja (categoría 4 o 5). En las dos se emplean fuentes que pueden ser físicamente pequeñas (menos de 1 cm de diámetro y sólo unos pocos centímetros de longitud)

y son por ende susceptibles de pérdida o extravío. Las fuentes con tasa de dosis alta y algunas con tasa de dosis baja pueden adoptar la forma de un cable largo unido a un aparato (un aparato de carga diferida remota).

I-37. Históricamente se ha venido usando  $\text{Ra}^{226}$  para la braquiterapia. Esta utilización de fuentes de braquiterapia de radio es anterior al establecimiento de controles reglamentarios en muchos Estados. Las fuentes se encapsulaban en platino, en agujas o tubos de pocos milímetros de anchura y hasta 5 cm de longitud. Sin embargo, la formación de gases de radón y helio genera presión dentro de la cápsula y ésta puede romperse, provocando contaminación. Por este motivo se sustituyó el  $\text{Ra}^{226}$  por otros radionucleidos.

I-38. La braquiterapia más moderna con tasa de dosis alta y media se practica con  $\text{Ir}^{192}$ , pero en lugares en los que puede ser más difícil conseguir rutinariamente fuentes de sustitución se utilizan  $\text{Co}^{60}$  y  $\text{Cs}^{137}$ . Las fuentes pueden fabricarse en distintos tamaños y formas, incluso como cables o cintas.

I-39. La aplicación de estas fuentes puede hacerse manualmente o mediante control remoto. Por motivos de protección radiológica, tan solo las fuentes de baja actividad tienen un uso manual, con o sin técnicas de carga diferida. Los aparatos de carga diferida pueden ser pesados a causa del blindaje de las fuentes cuando no se están utilizando, y el aparato puede estar sobre ruedas para transportarlo dentro de una instalación. El aparato de carga diferida remota puede contener también componentes eléctricos y electrónicos para su funcionamiento. Cuando se usan estos aparatos, se empieza por insertar un catéter en el cuerpo, y a continuación, mediante control remoto, se introduce la fuente sujeta a un cable. Típicamente estos aparatos utilizan fuentes de baja actividad de  $\text{Cs}^{137}$  e  $\text{Ir}^{192}$  o de  $\text{Ir}^{192}$  de alta actividad (hasta 0,4 TBq).

I-40. Las fuentes de braquiterapia se encuentran en hospitales, clínicas e instituciones médicas similares, y esas instalaciones pueden poseer muchísimas fuentes. La braquiterapia no se usa tanto como la teleterapia, pero su empleo va en aumento.

I-41. *Posibles causas de la pérdida de control.* Cuando no se están utilizando, las fuentes de braquiterapia están normalmente almacenadas en cajas fuertes blindadas con plomo o contenedores, pero se han dado casos en los que las fuentes se mantenían indebidamente cargadas en los aplicadores en carros de transporte. Asimismo, se han dejado fuentes al término de su vida útil en cajas fuertes o contenedores para el transporte.

I-42. No es probable que las fuentes manuales de braquiterapia que puedan quedar huérfanas representen una amenaza para la vida, pero podrían producir efectos deterministas o una contaminación considerable. El problema resulta agravado, sin embargo, por el potencial que tienen esas fuentes de perderse. Una instalación importante de radioterapia puede contar con varios centenares de fuentes de braquiterapia que están sometidas a desplazamientos y manipulaciones constantes. Se ha informado de numerosos casos de fuentes de braquiterapia arrojadas a los desechos ordinarios, y que se han quedado sin saberlo instaladas en pacientes que reciben el alta del hospital o en cadáveres. Sin embargo, hace mucho tiempo que se reconoció la naturaleza de este problema, que ha dado lugar a que numerosos Estados adopten un requisito por el que es obligatorio instalar detectores de la radiación en los puntos de salida de las instalaciones en las que se emplean fuentes de braquiterapia.

I-43. Si se rompe el cable de un equipo de carga diferida remota, la fuente puede soltarse. El no reconocimiento de estos problemas puede representar riesgos considerables, como se muestra en el recuadro I-11 [I-10]. Los riesgos son similares a los de las fuentes de radiografía industrial.

**Recuadro I-11. Pérdida de una fuente de braquiterapia de Ir<sup>192</sup> con tasa de dosis alta: EE.UU., 1992**

El 1 de diciembre de 1992, un centro oncológico informó a la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos de que una fuente de Ir<sup>192</sup> de 0,14 TBq perdida de su equipo de carga diferida remota con tasa de dosis alta había sido encontrada al activarse las alarmas por radiación en una incineradora de desechos de otra ciudad. Al parecer, el cable de la fuente se había roto mientras un paciente recibía tratamiento el 16 de noviembre de 1992, dejando la fuente dentro del paciente, de avanzada edad. Este recibió una dosis elevada y falleció a consecuencia de ella el 21 de noviembre de 1992. También resultaron expuestas más de 90 personas. Aunque había algunas deficiencias en el diseño del cable del equipo de carga diferida, la ruptura pasó desapercibida mucho tiempo debido a fallos del programa de seguridad radiológica del centro, entre ellos, la falta de vigilancia de los pacientes, el equipo de carga diferida o la sala de tratamiento.

Un problema casi idéntico con el cable de una fuente se produjo con un equipo de carga diferida el 7 de diciembre de 1992, pero con consecuencias radiológicas mínimas, gracias a que la ruptura se descubrió inmediatamente.

*Instalaciones de calibración*

I-44. *Aplicación.* Son muchas las fuentes radiactivas que se emplean para calibrar instrumentos y con otros fines de calibración. Como esta práctica cubre

una amplia gama de radionucleidos y actividades, no es posible asignarla a una sola categoría; sin embargo, las fuentes de calibración más grandes de  $\text{Co}^{60}$  y  $\text{Cs}^{137}$  corresponden típicamente a la categoría 2. Otras fuentes podrían pertenecer a las categorías 3 y 4, y las fuentes de comprobación de instrumentos podrían ser de categoría 5.

I-45. Algunas fuentes de calibración, en especial las de más actividad, se encuentran en aparatos específicamente diseñados, blindados y alineados en el interior de grandes instalaciones blindadas. Otras son simplemente fuentes individuales que pueden servir para diversas finalidades en instituciones dedicadas a la investigación y la educación. El Radio-226 se ha usado mucho en el pasado con fines de calibración, y las fuentes de  $\text{Ra}^{226}/\text{Be}$  y  $\text{Pu}^{238}/\text{Be}$  no son raras en la calibración de instrumentos con neutrones y los experimentos de blindaje con neutrones.

I-46. *Posibles causas de la pérdida de control.* Para las grandes fuentes de calibración en el interior de recintos especiales, las causas de pérdida de control son generalmente las mismas que las de los aparatos de teleterapia o braquiterapia. Para las fuentes individuales en contenedores de plomo (frecuentemente conocidas en inglés como “pigs”), los principales factores causantes de que queden huérfanas guardan relación con el abandono cuando la fuente o el equipo dejan de ser necesarios o cuando el miembro de personal responsable se marcha.

### **Fuentes de categoría 3**

#### *Calibradores industriales estáticos*

I-47. *Aplicación.* En muchas industrias es necesario medir el nivel, el espesor, la densidad, el contenido de humedad o la presencia de un material mientras se extrae, manufactura o procesa. El empleo de fuentes radiactivas permite efectuar mediciones sin entrar en contacto con el material mismo. Se pueden emplear muchos radionucleidos distintos, de una amplia gama de actividades de fuente. Según la aplicación concreta, los calibradores industriales pueden contener cantidades relativamente pequeñas de material radiactivo, o pueden contener fuentes con actividades que se aproximan a 1 TBq. Las fuentes con más actividad (en torno a 100 GBq) de  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$  y  $\text{Cf}^{252}$ , que se utilizan como calibradores de nivel, transporte, draga, alto horno o calibradores giratorios de espesores, son fuentes de categoría 3, en tanto que la mayoría de los demás calibradores de espesor, humedad/densidad y nivel de llenado pertenecen a la categoría 4.

I-48. Los altos hornos que se emplean para fabricar acero suelen emplear fuentes de  $\text{Co}^{60}$  para calibrar el desgaste del revestimiento refractario del crisol. Los calibradores giratorios de espesores utilizan  $\text{Cs}^{137}$  para medir el espesor de la pared de los tubos a medida que pasan por el centro del calibrador. Aunque los calibradores de tubos pertenecen a la categoría de calibradores estáticos, también pueden montarse en camiones. Sin embargo, pueden ser bastante pesados (unos 100 kg), debido a su blindaje de plomo o tungsteno.

I-49. *Posibles causas de la pérdida de control.* Las fuentes de este grupo pueden estar situadas en lugares que no son adecuados para una presencia humana continua. Por consiguiente, pueden acumular capas de suciedad, tizne, grasa y petróleo, que pueden recubrir cualquier etiqueta de advertencia que haya. Una instalación puede tener gran número de estos calibradores. Los aparatos, por lo general, no son grandes, pero pueden estar situados a cierta distancia del detector de radiación, que puede tener componentes eléctricos o electrónicos asociados dentro de su caja. Los emplazamientos de esos aparatos o fuentes en una instalación pueden pasar desapercibidos, ya que pueden estar conectados a equipo de control de procesos de aspecto inocuo. Esta falta de reconocimiento puede dar lugar a una pérdida del control si la instalación decide renovar una planta o concluir sus operaciones (recuadros I-12, I-13)

I-50. Por lo general estos aparatos están instalados permanentemente en máquinas de producción y suelen ser seguros mientras se están usando. El mayor problema surge al término de la vida útil de la propia fuente, o de la fábrica o el equipo en que está instalada. Hay múltiples ejemplos en los que las fuentes han sido retiradas del equipo y almacenadas o bien simplemente abandonadas en el equipo mismo en una central en desuso.

I-51. En algunos casos las fuentes han permanecido mucho tiempo en esta situación y, con el paso del tiempo, se ha perdido conocimiento de su existencia. En otros casos, los periodos de tiempo han sido breves, pero miembros del personal clave dejaron la organización, y la parte correspondiente del emplazamiento fue clausurada o desocupada urgentemente por motivos económicos.

#### *Calibradores de perfilaje de pozos*

I-52. *Aplicación.* Los aparatos de perfilaje de pozos se encuentran por lo general en zonas en las que se está buscando agua, carbón, petróleo o gas natural. Para determinar la densidad, la porosidad y la humedad o el contenido en hidrocarburo de las estructuras geológicas se utiliza una combinación de fuentes de neutrones y

**Recuadro I-12. Accidente provocado por la fusión de una fuente:  
Los Barrios, España, 1998**

El 11 de junio de 1998, se detectaron en el sur de Francia y el norte de Italia niveles altos de  $\text{Cs}^{137}$  en el aire. En función de los datos meteorológicos y un análisis, se llegó a la conclusión de que eran imputables a un escape en algún lugar del sur de España o el norte de África. Las investigaciones y pesquisas ulteriores revelaron la siguiente secuencia de hechos.

El 30 de mayo de 1998, una fuente de  $\text{Cs}^{137}$  se fundió inadvertidamente en un horno eléctrico de Acerinox, una fábrica de acero inoxidable situada en Los Barrios, España. Debido a ello, los vapores salieron por el cañón de la chimenea, quedando atrapada una parte en el sistema de filtros, lo que originó la contaminación de 270 toneladas de polvo ya acumulado. Los días 1 y 2 de junio se retiró el polvo, que se envió a dos fábricas diferentes a varios kilómetros de Los Barrios, como parte del mantenimiento de rutina. Una empresa recibió 150 toneladas, que se utilizaron en un proceso de estabilización de un pantano, con lo que la masa de material contaminado se elevó a 500 toneladas. El primer aviso de este suceso se produjo el día 2 de junio, cuando sonó la alarma de un monitor de la entrada al pasar un camión vacío que regresaba de llevar el polvo. Las autoridades tuvieron noticia del suceso el 9 de junio, y el 11 de junio se midió el aumento antes mencionado de la radiactividad aerotransportada.

Las consecuencias radiológicas de este suceso fueron mínimas, y tan solo seis personas presentaron niveles ligeros de contaminación por  $\text{Cs}^{137}$ , pero las consecuencias económicas, políticas y sociales fueron considerables. Una estimación aproximada de los costos comprende 20 millones de dólares EE.UU. correspondientes a la producción perdida, 3 millones de dólares para operaciones de limpieza y otros 3 millones para el almacenamiento de desechos. La alarma pública fue también considerable, con participación de los principales medios de comunicación de masas y presiones sobre las autoridades españolas.

**Recuadro I-13. Suceso con una fuente para alto horno:  
Rumania, 2001**

En agosto de 2000, una empresa comercial empezó a desmontar dos altos hornos, y en junio de 2001 se terminó de desmontar uno de ellos. La clausura se llevó a cabo sin la autorización reglamentaria y se interrumpió en 2001, cuando las inspecciones efectuadas en el emplazamiento por el órgano regulador descubrieron niveles de radiación de 0,5 a 400  $\mu\text{Sv/h}$ , con un máximo de 4 mSv/h en algunos ladrillos en escombros. Se determinó que cada horno contenía unas tres docenas de pequeñas fuentes radiactivas de  $\text{Co}^{60}$  (con  $\text{Ag}^{110\text{m}}$ ) con actividades entre 0,4 y 20 GBq aproximadamente, que se habían instalado en 1985 para controlar el espesor de los muros. Las consecuencias de este suceso fueron una zona considerable contaminada con  $\text{Co}^{60}$  y un montón enorme de ladrillos de revestimiento que posiblemente contenían más fuentes. Unos doce trabajadores pueden haber resultado expuestos, pero no se observaron daños radiológicos mensurables.

gamma. Las fuentes de neutrones empleadas con más frecuencia son  $\text{Am}^{241}/\text{Be}$  de hasta 800 GBq, pero también se ha hecho cierto uso de  $\text{Pu}^{239}/\text{Be}$  y  $\text{Ra}^{226}/\text{Be}$ . Las

fuentes gamma más frecuentemente utilizadas son de Cs<sup>137</sup> de 50-100 GBq. Se siguen usando fuentes más pequeñas, muchas veces de radio, con fines de referencia. Por lo general las fuentes están contenidas en dispositivos largos (1-2 m, típicamente) pero finos (<10 cm de diámetro), que también contienen detectores y diversos componentes electrónicos. Los dispositivos son pesados, debido a la robustez que tienen que tener en los entornos en los que se usan.

I-53. *Posibles causas de la pérdida de control.* Los bastidores en los que se guardan y transportan las fuentes de neutrones son grandes y pueden resultar atractivos para los ladrones. Normalmente la mayor parte del blindaje es de plástico o de cera de parafina, y un ladrón puede arrojarlo por inútil, provocando una situación potencialmente peligrosa. Los bastidores de las fuentes gamma se blindan normalmente con uranio empobrecido o plomo, que pueden resultar atractivos por su valor como chatarra (recuadro I-14) [I-11].

#### **Recuadro I-14. Robo de fuentes de perfilaje de pozos: Nigeria, 2002**

En diciembre de 2002, fueron robadas de un camión de una empresa petrolera dos fuentes de Am<sup>241</sup>/Be utilizadas para perfilaje de pozos, mientras transitaba por la región meridional del Delta del Níger. Esas fuentes se caracterizan por tener una actividad de 0,7 TBq aproximadamente. En un intento de encontrar las fuentes, se recurrió a anuncios públicos, a la policía y a una vigilancia más intensa de las fronteras. También se advirtió al personal sanitario por si se presentaba alguien con náuseas prolongadas o quemaduras en la piel. Unos ocho meses más tarde se descubrieron las fuentes en un cargamento de chatarra en Europa.

I-54. La índole del trabajo para el que se emplean estas fuentes requiere que se puedan retirar fácilmente de sus bastidores para introducirlos en un pozo perforado. Si no estuvieran sometidas al control adecuado, sería relativamente sencillo retirarlas y dejarlas en una situación peligrosa. Las posibilidades de que esas fuentes queden huérfanas son similares a las de las de radiografía industrial, pero las actividades y las tasas de dosis de radiación son por lo general más bajas.

I-55. Aunque suelen tener una actividad menor que las fuentes de radiografía industrial, la facilidad para transportar estos aparatos y utilizarlos en lugares remotos sobre el terreno podría exponerlos a la pérdida o el robo.

#### *Marcapasos*

I-56. *Aplicación.* En los decenios de 1970 y 1980 se implantaron a bastantes pacientes marcapasos con material radiactivo como fuente de energía (esto es, GTR muy pequeños). El radionucleido utilizado con mayor frecuencia era Pu<sup>238</sup>

(con una pequeña cantidad de  $\text{Am}^{241}$  como contaminante de la fuente). Una ventaja característica que presentaba el uso de  $\text{Pu}^{238}$  era su facilidad de blindaje, junto con una pequeña tasa de dosis externa. No obstante, también resulta difícil de encontrar si la fuente queda huérfana (recuadro I-15).

#### **Recuadro I-15. Fusión de un marcapasos: Reino Unido, 2000**

Las pruebas de garantía de calidad realizadas en 2000 en acero procedente de una fundición del Reino Unido revelaron que se habían fundido unos 140 GBq de  $\text{Pu}^{238}$ . Lo más probable es que procediera de un marcapasos. La fundición disponía de monitores de pórtico sofisticados para detectar la presencia de nucleidos emisores de rayos gamma en la chatarra que recibía, pero no lograron detectar la actividad del  $\text{Pu}^{238}$ . Las dosis correspondientes eran insignificantes, pero los costos de limpieza y disposición final generados por un suceso así ascienden a varios millones de dólares.

I-57. *Posibles causas de la pérdida de control.* No siempre ha sido fácil seguir la pista a los pacientes y pueden haberse dado casos en los que la fuente implantada haya sido cremada con el cadáver. También es posible que la fuente haya sido desechada tras una autopsia y haya ido a parar a un reciclado de metales. El hecho de que las fuentes de  $\text{Pu}^{238}$  se blinden con facilidad significa también que no es fácil encontrarlas.

#### **Fuentes de categoría 4**

##### *Fuentes de braquiterapia con tasa de dosis baja*

I-58. *Aplicación.* Buena parte de los comentarios generales sobre braquiterapia con fuentes de categoría 2 son aplicables también aquí, salvo que las actividades son más bajas y se usan algunos radionucleidos distintos. Además de  $\text{Cs}^{137}$  e  $\text{Ir}^{192}$ , otros radionucleidos que se han utilizado son  $\text{I}^{125}$ ,  $\text{Au}^{198}$  y  $\text{Cf}^{252}$ .

I-59. *Posibles causas de la pérdida de control.* Son las mismas que se han comentado antes, salvo que el riesgo es claramente menor con las fuentes de menor actividad. Las fuentes de categoría 4 son normalmente demasiado pequeñas para que su radiactividad provoque daños significativos.

##### *Calibradores de espesor y calibradores de nivel de llenado*

I-60. *Aplicación.* Las fuentes beta o gamma de baja energía se utilizan para medir papel, plásticos y metales finos y ligeros, en tanto que las fuentes gamma de mayor energía se utilizan en situaciones en las que se fabrica chapa de acero.

Industrias como las fábricas de cerveza o las de embotellamiento de refrescos utilizan fuentes de baja actividad en el control de calidad para asegurarse de que las botellas o latas se llenan como es debido. Los fabricantes de cigarrillos recurren también a fuentes para asegurarse de que se mantiene la densidad adecuada del paquete.

I-61. Los radionucleidos típicamente utilizados en estas industrias son  $\text{Kr}^{85}$ ,  $\text{Sr}^{90}$ ,  $\text{Am}^{241}$ ,  $\text{Pm}^{147}$  y  $\text{Cm}^{244}$ , así como  $\text{Cs}^{137}$ . Las actividades oscilan entre 0,4 GBq y unos 20 GBq.

I-62. *Posibles causas de pérdida de control.* Son esencialmente las mismas que para otros calibradores industriales estáticos, pero como en los calibradores de espesor y de nivel de llenado se usa típicamente una radiación menos penetrante de actividad más baja, los riesgos potenciales son menores.

### *Calibradores portátiles*

I-63. *Aplicación.* Los calibradores portátiles de humedad o densidad que contienen las fuentes, los detectores y el equipo electrónico necesarios para efectuar la medición varían según la medición que se vaya a realizar. La humedad suele medirse con una fuente de  $\text{Am}^{241}/\text{Be}$  de unos 2 GBq, y la densidad se mide con  $\text{Cs}^{137}$  de unos 0,4 GBq. Físicamente las fuentes son de pequeño tamaño, característicamente unos pocos centímetros de longitud y unos pocos centímetros de diámetro, y pueden encontrarse totalmente en el interior del aparato o en el extremo del ensamblaje de una barra y un asa.

I-64. Los calibradores de humedad se emplean en la agricultura para garantizar una irrigación óptima, en tanto que los calibradores multifunción o de densidad se usan a menudo en la construcción de carreteras para comprobar que se está dando la compresión adecuada a los materiales de los cimientos.

I-65. *Posibles causas de la pérdida de control.* El hecho de que estas fuentes suelen transportarse en cajas cerradas en el interior de vehículos significa que pueden ser robadas como robo colateral al ser robado el vehículo. Resulta que estos aparatos presentan cierto atractivo, como pone de manifiesto el número de ellos que es robado habitualmente. Además, las fuentes se utilizan en sitios remotos de construcción de carreteras. Este hecho y su pequeño tamaño las exponen a la pérdida de control o al robo. A veces resultan dañadas por otro equipo empleado para construir carreteras y pueden pasar desapercibidas.

### *Densitómetros de huesos*

I-66. *Aplicación.* Como su nombre indica, estas fuentes se emplean en aparatos que sirven para medir la densidad de los huesos en el marco de una evaluación de osteoporosis. Los radionucleidos utilizados son  $\text{Cd}^{109}$ ,  $\text{Gd}^{153}$ ,  $\text{I}^{125}$  y  $\text{Am}^{241}$ , que oscilan entre 1 y 50 GBq aproximadamente. En la actualidad se utilizan mucho los rayos X en esos aparatos.

I-67. *Posibles causas de la pérdida de control.* Históricamente, no se ha registrado ningún suceso imputable a la pérdida de control de fuentes en densitómetros de huesos.

### *Eliminadores estáticos*

I-68. *Aplicación.* En muchas industrias, la generación de electricidad estática en la fabricación origina problemas que provocan la atracción de polvo hacia los componentes o posibles riesgos de incendio. Para reducir al mínimo estos problemas, se pueden usar eliminadores estáticos con fuentes de  $\text{Am}^{241}$  y  $\text{Po}^{210}$ . Estas varían de tamaño, desde aparatos manuales con unas dimensiones de escasos centímetros hasta instalaciones fijas de varios metros de longitud y unos cuantos centímetros de anchura. Como los eliminadores estáticos emiten partículas alfa, la construcción de la fuente es frágil y no resistirá el mal uso físico o el fuego, pudiendo ambos dar lugar a la diseminación de contaminación.

I-69. *Posibles causas de la pérdida de control.* Una vez más, no se dispone de mucha experiencia relacionada con eliminadores estáticos huérfanos. Sin embargo, se produjo un incidente en el que se puso de manifiesto que una serie de fuentes fueron deliberadamente amontonadas y enterradas.

## **Fuentes de categoría 5**

I-70. *Aplicación.* Son muy numerosas y variadas las fuentes de categoría 5 que se emplean en: fluorescencia de rayos X, aparatos de captura de electrones, espectroscopia de Mössbauer, examen tomográfico con emisión de positrones, blancos de tritio y detectores de humo. Además, puede aplicarse un tratamiento superficial de la piel y las lesiones oftálmicas mediante fuentes de  $\text{Y}^9/\text{Sr}^{90}$ . Los aplicadores nasofaríngeos ( $\text{Si}^{90}$ ) sustituyeron a la sonda de radio “Crowe” en el decenio de 1970. Además, los implantes permanentes de semillas radiactivas se hicieron originalmente con semillas de  $\text{Rn}^{222}$  y  $\text{Au}^{198}$ . Hoy en día, para los implantes permanentes se emplean  $\text{I}^{125}$ ,  $\text{Ru}^{106}/\text{Rh}$  y  $\text{Pd}^{103}$ .

I-71. *Posibles causas de pérdida de control.* Las fuentes de categoría 5 presentan por lo general un riesgo tan bajo que no suele ser necesario tomarlas en consideración en una estrategia nacional, pero han de estar sometidas a controles reglamentarios.

## **Situaciones especiales**

### *Fuentes heredadas*

I-72. *Aplicación.* Las fuentes heredadas son aquellas anteriores a unos requisitos reglamentarios efectivos y que pueden no haber sido sometidas a disposición final, en absoluto o bien de modo inadecuado. El tipo de fuentes heredadas presentes dependerá de cuándo empezó a ser efectivo en un Estado el control reglamentario. Es probable que la mayoría de las fuentes heredadas sean de radio (recuadro I-17), pero no exclusivamente (recuadro I-16). La lista que figura a continuación indica los tipos de fuentes de radio y los usos de las fuentes en la primera mitad del siglo XX, algunos de los cuales implicaban material radiactivo no sellado:

- Aplicaciones médicas, entre ellas braquiterapia por radio;
- Aparatos luminosos por radio e instalaciones luminizantes;
- Radiografía industrial por radio;
- Aparatos médicos patentados falsificados;
- Eliminadores estáticos;
- Detectores industriales de humo;
- Sistemas de protección contra los rayos.

#### **Recuadro I-16. Fuente huérfana heredada no de radio: India**

No todas las fuentes heredadas son de radio, pero esto depende sobre todo de cuándo se estableció por vez primera el control reglamentario en un Estado. El director de una empresa recabó el asesoramiento del órgano regulador acerca de una fuente de Cs<sup>137</sup> de 185 GBq que un miembro del personal había descubierto en poder de la empresa. La investigación permitió descubrir que la fuente había sido importada por esta a comienzos del decenio de 1950, cuando el control reglamentario en la India se encontraba en sus fases iniciales. Por consiguiente, la fuente no había sido sometida a control reglamentario. Ulteriormente fue tratada como correspondía.

I-73. *Posibles causas de la pérdida de control.* Si la industrialización de un Estado y el uso asociado de fuentes radiactivas se inició antes de que se estableciera una infraestructura reguladora efectiva, es probable que haya una

**Recuadro I-17. Descubrimiento de instrumentación luminizada por radio: Reino Unido, 1984**

En el Reino Unido, en 1984, una empresa especializada en el suministro de repuestos para aviones de época y vehículos militares atrajo la atención de las autoridades competentes. El almacén de la empresa contenía más de 7 000 embalajes de repuestos, y en unos 2 000 de ellos se detectó radio, mayormente en forma de artículos luminizados. En muchos casos, el barniz que recubría el compuesto luminizante se había desgastado, y había contaminación por radio.

cantidad considerable de fuentes heredadas que hayan quedado huérfanas. En ese caso, la tarea es la de crear el registro nacional inicial. Habrá que tener cuidado para asegurarse de que quedan suficientemente cubiertos los distintos sectores, esto es, los usos médicos, industriales y académicos (comprendida la investigación nuclear).

I-74. Algunos médicos compraron sus propias fuentes de braquiterapia con radio y las almacenaron en casa. Estas pueden haber sido heredadas por otras personas y es posible que solo se descubran por casualidad. Estas y otras fuentes de radio han aparecido en subterráneos de bancos, donde habían sido guardadas a veces por el valor que tenían entonces (100 000 dólares por gramo en el decenio de 1920). Como las primeras semillas radiactivas estaban hechas con finos tubos de oro que contenían en su interior la solución de sal de radio, algunas encontraron salida en el mercado de reciclado del oro. En el decenio de 1980 se recuperaron en los EE.UU., en el marco de una campaña especial, algunos centenares de objetos de oro contaminados por radio [I-12].

I-75. En algunos Estados, las instalaciones luminizantes por radio fueron muy comunes en el periodo entre el decenio de 1930 y los años 60 y 70. Muchas de ellas pertenecían al ejército. Puede que sea necesario también inspeccionar las instalaciones de almacenamiento que mantenían grandes reservas de objetos luminosos, entre ellas, algunas instalaciones militares o las primeras fábricas de aviones comerciales o relojes.

*Usos académicos y en investigación*

I-76. *Aplicación.* Las aplicaciones de las fuentes radiactivas en la enseñanza y la investigación son sumamente variadas. Casi todos los radionucleidos de cualquier actividad pueden tener aplicación en alguna investigación y, por ende, esas fuentes pueden pertenecer casi a cualquier categoría.

I-77. Muchos de los usos médicos e industriales antes descritos pueden darse en universidades e institutos de investigación. Algunas fuentes se someten a modificaciones para permitir una mayor variedad de las condiciones de funcionamiento con fines de investigación, lo que muchas veces puede significar un mayor interés por los procedimientos que por las soluciones técnicas en materia de seguridad; por ende, estos usos son más delicados para el mantenimiento de la seguridad tecnológica y de la seguridad física.

I-78. Ahora bien, las fuentes corrientes utilizadas en muchas investigaciones tienen una actividad baja y/o una vida media corta. El tritio ( $H^3$ ) y el  $C^{14}$  se usan con frecuencia, pero tienen unas emisiones beta débiles, por lo que provocan problemas radiológicos de menos gravedad en caso de que se pierda el control. Muchas de estas fuentes se emplean en captura de electrones, cromatografía por gas y espectroscopios de Mössbauer.

I-79. Excepciones notables son el empleo de fuentes grandes (hasta 1 PBq) de  $Co^{60}$  y  $Cs^{137}$  para la irradiación o esterilización de materiales y plantas, y el uso de cantidades de MBq o GBq de  $Am^{241}/Be$  o  $Cs^{137}$  para medir la densidad y la humedad en la investigación agrícola. Aunque unas pocas instalaciones de irradiación pueden presentar una escala similar a las instalaciones industriales, la mayoría de los aparatos son de tipo estático, autoblindado, diseñados para aceptar muestras en el interior de una cámara de irradiación en las que no es posible introducirlas físicamente.

I-80. *Posibles causas de la pérdida de control.* A menudo se realizan investigaciones en el marco de una tesis estudiantil o en virtud de un contrato financiado con un determinado fin. El equipo, que comprende fuentes de radiación, puede haberse conseguido específicamente para un proyecto determinado. Una vez concluido el trabajo o cuando los fondos se esfuman, puede que no se haga un uso inmediato o ulterior de las fuentes, y la persona responsable puede marcharse de la organización. En muchos casos las fuentes quedan almacenadas, pero puede no haber en la organización ningún "propietario" claramente identificable que se responsabilice de ellas. Así pues, el principal problema que plantean las fuentes dedicadas a la investigación o la docencia surge cuando el equipo ya no se usa y el personal informado se va (recuadro I-18).

**Recuadro I-18. Posibilidad de accidente fatal imputable a una fuente de un centro de investigación: Estonia, 1994**

En un accidente fatal por radiación acaecido en Tammiku, Estonia, en 1994 [I-13], estaba implicada una fuente descubierta en principio en la chatarra entregada a una instalación de reciclado de metal de Talin. Se estimó que la fuente era de unos 7 TBq de Cs<sup>137</sup> en un bastidor que probablemente había formado parte de un irradiador, tal vez en algún centro de investigación.

*Sitios previamente militares y sitios de conflicto*

I-81. *Aplicación.* Los usos militares de fuentes radiactivas quedan fuera del alcance de esta guía de seguridad. No obstante, conviene tener algún conocimiento del uso típico militar, porque a veces los sitios militares quedan abandonados o vuelven a ser de uso civil. Ejemplos típicos de aplicaciones militares son:

- Generadores termoeléctricos de radioisótopos (GTR);
- Fuentes para ejercicios de simulación de un ataque con armas nucleares;
- Fuentes de calibración;
- Radio y tritio en aparatos luminosos (actividades más amplias que en los usos civiles).

I-82. *Posibles causas de la pérdida de control.* Las situaciones pueden deberse a:

- Retirada de tropas extranjeras de un Estado;
- Cambios políticos importantes en un Estado en el que la estructura del mando militar puede haber permanecido por un tiempo no funcional;
- Estados o regiones que han sido escenario de conflictos militares.

I-83. La experiencia ha puesto de manifiesto que todas esas situaciones podían dar lugar a la existencia de fuentes huérfanas y representar una grave amenaza para la población. A no ser que se haya practicado adecuadamente el debido control en su momento, las fuentes huérfanas pueden permanecer mucho tiempo en el medio ambiente y, en algunos casos, pueden estar todavía allí a raíz de antiguos conflictos (recuadro I-19).

**Recuadro I-19. Fuentes en una zona afectada por la guerra: Croacia, 1991-1995**

Casi la mitad del territorio croata se vio afectada por la guerra desde julio de 1991 hasta septiembre de 1995. Los daños colaterales fueron importantes y una serie de fuentes resultaron afectadas, como se indica en el cuadro siguiente. La mayoría de ellas son de categoría 5 e inferior.

Aplicación	Número original de fuentes	Fuentes huérfanas	
		Recuperadas	Quemadas o perdidas
Detectores de humo	8 298	1 710	1 180
Sistemas de protección contra los rayos	151	60	0
Médica	17	0	0
Industrial	103	18	24

El sistema de protección contra los rayos, al ser el más desprotegido, fue el que sufrió mayores daños.

Las tasas de dosis accesibles llegaron hasta 3 mSv/h a 1 m de la fuente.

**Recuadro I-20. Accidente con fuentes militares: Lilo, Georgia, 1997**

En 1992, con el desmoronamiento de la antigua URSS, el Ejército Soviético abandonó sus instalaciones en Georgia. Una de ellas era el campamento de instrucción de Lilo, que fue ocupado por el Ejército Georgiano. En octubre de 1997, 11 soldados presentaban lesiones cutáneas provocadas por la radiación. Un registro con radiomonitoreo de las instalaciones reveló 12 fuentes abandonadas de Cs<sup>137</sup>, que iban desde unos pocos MBq hasta 164 GBq, y habían sido utilizadas por los anteriores ocupantes en la Instrucción para la Defensa Civil: se escondían las fuentes por todo el sitio y los soldados tenían que descubrirlas. Muchas se encontraban todavía en los lugares en que habían sido escondidas. Además, se encontraron también en el sitio una fuente de Co<sup>60</sup> y 200 fuentes pequeñas de Ra<sup>226</sup> utilizadas en miras de piezas de artillería. Transcurridos más de seis años, los soldados siguen en tratamiento por sus heridas.

I-84. Otra consideración relativa a las zonas de conflictos militares es que los daños colaterales causados por granadas, bombas y otras municiones pueden conllevar daños para las propias fuentes de radiación o los edificios en que se encuentran. Esto puede dar lugar al abandono de las instalaciones o las fuentes, que quedarán expuestas a que la gente las robe o las recoja.

## REFERENCIAS DEL ANEXO I

- [I-1] 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).
- [I-2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Safety of Gamma, Electron and X Ray Irradiation Facilities, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-8, OIEA, Viena (2010).
- [I-3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de San Salvador, OIEA, Viena (1991).
- [I-4] COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS, Accidente por contaminación con cobalto-60, Rep. CNSNS-IT-001, CNSNS, Ciudad de México (1984).
- [I-5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1989).
- [I-6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Istanbul, OIEA, Viena (2000).
- [I-7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Samut Prakarn, OIEA, Viena (2002).
- [I-8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Colección de Informes de Seguridad N° 7, OIEA, Viena (1998).
- [I-9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Yanango, OIEA, Viena (2000).
- [I-10] COMISIÓN REGULADORA NUCLEAR, Loss of an Iridium-192 Source and Therapy Misadministration at Indiana Regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992, NUREG-1480, NRC, Washington, DC (1993).
- [I-11] ELEGBA, S. B., "Import/export control of radioactive sources in Nigeria", Safety and Security of Radioactive Sources: Towards a Global System for the Continuous Control of Sources throughout their Life Cycle (Actas de la Conferencia Internacional de Burdeos, 2005), OIEA, Viena (2006).
- [I-12] LUBENAU, J. O., Unwanted radioactive sources in the public domain: A historical perspective, *Health Phys.* **76** 2 (1999) S16.
- [I-13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, The Radiological Accident in Tammiku, OIEA, Viena (1998).

## Anexo II

### PROBLEMAS COMUNES Y POSIBLES SOLUCIONES ENCONTRADAS EN MISIONES DEL OIEA PARA CONTRIBUIR A ELABORAR LAS ESTRATEGIAS NACIONALES

II-1. El OIEA efectuó varias misiones entre 2002 y 2005 para prestar asistencia a algunos Estados en la formulación de estrategias nacionales destinadas a recuperar el control de fuentes huérfanas. En los cuadros que figuran a continuación se presentan ejemplos genéricos de algunos de los problemas comunes que se encontraron en las fases de evaluación y elaboración de esas misiones. También se exponen ideas para posibles acciones, prioridades y recursos. Estos cuadros tienen también por objeto contribuir a la formulación de un sencillo plan de acción para la estrategia nacional, pero únicamente se presentan con el fin de brindar asesoramiento de carácter general y no deben ser considerados como una lista de verificación, ni hay que descartar otras ideas o actividades creativas para llegar a soluciones que resulten más aplicables a la situación local.

II-2. En cualquier estrategia nacional determinada, cada uno de los problemas ha de desglosarse en las partes de que consta y abordarse de manera específica según la situación del Estado. Cada uno de los problemas detallados recibirá entonces su propia solución priorizada.

<b>Problema</b>	<b>Posibles fuentes huérfanas:</b> No se han emprendido búsquedas administrativas o físicas de fuentes huérfanas. No se realizan actividades de rutina para encontrar fuentes sin control reglamentario. Hay falta de aceptación de la posibilidad de que haya fuentes que no figuren en el registro.
<b>Acción</b>	Realizar un esfuerzo inicial para evaluar, mediante búsquedas administrativas (y, de ser necesario, búsquedas físicas), la probabilidad de que haya fuentes huérfanas. En inspecciones y exámenes de rutina, hacer preguntas y realizar búsquedas utilizando los métodos descritos en la presente guía de seguridad.

<b>Prioridad</b>	Prioridad elevada para la evaluación inicial. La prioridad de las búsquedas físicas depende de la categoría de la fuente y del tiempo transcurrido desde que “perdió” el control. Las “búsquedas” rutinarias tienen que pasar a formar parte de las tareas ordinarias.
<b>Recursos</b>	El esfuerzo inicial requiere considerables recursos humanos. Las búsquedas físicas son típicamente muy onerosas.

<b>Problema</b>	<b>Problemas con autorizaciones:</b> No se han dado o no se están dando autorizaciones o licencias. Los formularios para solicitar las autorizaciones son deficientes. Las tasas que se cobran no favorecen el comportamiento deseado. No existe el requisito de notificar la pérdida de fuentes al órgano regulador u otros órganos gubernamentales pertinentes.
<b>Acción</b>	Aplicar un procedimiento de autorización que garantice que se cuenta con toda la información necesaria para justificar la autorización. Asegurarse de que se han reunido para entonces todos los datos necesarios para el registro y que las tasas y los procedimientos favorecen los resultados deseados. Revisar las reglas o reglamentaciones para exigir notificación de las fuentes extraviadas.
<b>Prioridad</b>	Alta.
<b>Recursos</b>	Recursos humanos para planear y ejecutar un proceso de autorización de elevada calidad.

<b>Problema</b>	<b>No se han realizado inspecciones de empresas de las que se sabía que tenían fuentes en su poder:</b> En particular, no se han inspeccionado instalaciones en las que se desconoce la disposición final de las fuentes. Algunas instalaciones están abandonadas en la actualidad o han sufrido una bancarota.
<b>Acción</b>	Conseguir la autorización para efectuar búsquedas físicas en las instalaciones correspondientes. Establecer un procedimiento para mantener un contacto rutinario con todas las instalaciones, de modo que se sepa si una de ellas pone fin a sus operaciones.
<b>Prioridad</b>	Puede ser alta o baja para las instalaciones que han cesado ya sus operaciones, según las fuentes que poseyeran. Baja para la elaboración de nuevos procedimientos para realizar encuestas.
<b>Recursos</b>	Tiempo de personal para obtener las autorizaciones necesarias. Algún tiempo de personal para formular y aplicar procedimientos rutinarios de verificación.

<b>Problema</b>	<b>Fuentes reconocidamente en desuso:</b> Existen fuentes en uno o más emplazamientos de las que se sabe que están en desuso. Algunas de ellas pertenecen a las categorías superiores. Algunas de las fuentes son vulnerables porque el nivel de control no es suficiente.
<b>Acción</b>	Organizar una campaña para poner esas fuentes bajo control. Empezar por las de categoría superior y asegurarse de que se les proporciona una situación tecnológica y físicamente segura. Esto puede implicar mejorar el almacenamiento actual, trasladarlas a una instalación central de almacenamiento o disposición final, o devolverlas al proveedor. Si no existen instalaciones apropiadas, será necesario construir una instalación local o regional.
<b>Prioridad</b>	Será más alta cuanto más elevada sea la categoría de la fuente y mayor su vulnerabilidad.
<b>Recursos</b>	Los recursos necesarios dependerán en gran medida de la situación concreta, pero pueden ser importantes.

<b>Problema</b>	<b>Ausencia de un emplazamiento temporal o permanente adecuado para almacenar o proceder a la disposición final de fuentes en desuso:</b> No existe una instalación nacional para la disposición final de los desechos radiactivos o una instalación para el almacenamiento provisional de las fuentes.
<b>Acción</b>	Crear una instalación tecnológica y físicamente segura para el almacenamiento temporal de las fuentes. Iniciar el proceso de diseño, financiación y construcción de una instalación permanente de almacenamiento o disposición final, por ejemplo, una instalación de disposición final en pozos barrenados.
<b>Prioridad</b>	Alta para una instalación temporal de almacenamiento. Media para una instalación de almacenamiento permanente o una instalación de disposición final.
<b>Recursos</b>	Los costos de la instalación de almacenamiento temporal varían mucho, según el grado en que haya que modificar un emplazamiento determinado. Por ejemplo, un contenedor de carga en el interior de una zona vallada se ha utilizado para un almacenamiento temporal a un costo relativamente bajo. Una instalación permanente es mucho más cara, pero la disposición final de fuentes en una instalación permanente en pozos barrenados es factible y no resulta tan cara como la construcción de un sitio nacional más genérico para la disposición final de desechos.

<b>Problema</b>	<b>Desconocimiento de la importación (o exportación) de fuentes:</b> O bien no existe ningún requisito para informar de las fuentes que entran en el Estado o no se aplica ni se hace cumplir de modo riguroso.
<b>Acción</b>	Elaborar, aplicar y hacer cumplir requisitos para la importación y la exportación de fuentes radiactivas que se ajusten al menos a las directrices expuestas en el Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas.
<b>Prioridad</b>	Alta.
<b>Recursos</b>	Importantes recursos humanos por un período largo si no hay leyes o reglamentaciones vigentes en la actualidad. Un esfuerzo menor pero considerable para hacer que se cumplan los requisitos de comunicación existentes.

<b>Problema</b>	<b>Problemas de vigilancia de fronteras:</b> No hay vigilancia de fronteras o resulta insuficiente. No se imparte capacitación al personal encargado del cumplimiento de la ley, las aduanas, las fronteras o los puertos que podría encontrarse con fuentes radiactivas. No hay apoyo de equipo o de expertos para ese personal cuando se descubren materiales radiactivos.
<b>Acción</b>	Efectuar un análisis de la necesidad de vigilancia de fronteras y su probable eficacia para detectar fuentes huérfanas o tráfico ilícito. Facilitar el equipo, la capacitación y el apoyo necesarios basándose en la evaluación.
<b>Prioridad</b>	Según la probabilidad de que entren en el Estado fuentes huérfanas o ilícitas. El apoyo de capacitación y expertos para el personal de vigilancia de fronteras tendrá normalmente una prioridad entre mediana y alta.
<b>Recursos</b>	Personal para acopiar datos y analizarlos. Los costos del equipo necesario pueden ser importantes (los monitores de pórtico cuestan unos 100 000 dólares, el equipo de monitorización radiológica cuesta unos 70 000 dólares). Hay que tener en cuenta también los gastos de mantenimiento del equipo.

<b>Problema</b>	<b>Falta de notificación sobre cuestiones de tráfico ilícito por parte de la policía y otros organismos encargados de velar por el cumplimiento de la ley:</b> Hay falta de comunicación entre los funcionarios de aduanas, el órgano regulador y los organismos encargados de velar por el cumplimiento de la ley, en particular cuando se roban, pierden o encuentran fuentes.
<b>Acción</b>	Establecer memorandos de entendimiento entre los organismos correspondientes. Celebrar sesiones conjuntas de capacitación para que los miembros del personal puedan conocerse entre sí y comentar problemas comunes.
<b>Prioridad</b>	De alta a media, según la gravedad del problema.
<b>Recursos</b>	Tiempo de personal para preparar los memorandos. Tiempo y gasto considerables para preparar cursos conjuntos de capacitación y tiempo libre para que el personal asista a esos cursos.

<b>Problema</b>	<b>No se tiene en cuenta la seguridad física de las fuentes:</b> Las fuentes se usan, se almacenan y se transportan sin que se preste atención específica a las cuestiones relacionadas con la seguridad física.
<b>Acción</b>	Evaluar la seguridad física de todas las fuentes en comparación con las directrices, y modificar según sea necesario. Considerar la modificación de las condiciones de autorización de las fuentes cuando se renuevan para incluir medidas de seguridad física.
<b>Prioridad</b>	Prioridad alta para las fuentes de categoría 1 y 2. Prioridad media para la categoría 3.
<b>Recursos</b>	Las inspecciones de la seguridad física pueden efectuarse en las inspecciones rutinarias de los beneficiarios de licencia con una repercusión mínima en el tiempo del personal. El costo de la mejora de la seguridad física puede ser importante.

<b>Problema</b>	<b>Se sospecha la existencia de fuentes en desuso:</b> Hay pruebas o se sospecha que existen fuentes en desuso de las que el órgano regulador no tiene conocimiento.
<b>Acción</b>	Poner algunos avisos y anunciar una amnistía en relación con la declaración y la recogida de fuentes radiactivas que ya no se utilicen. Recoger y asegurar sin costos para el propietario actual todas las fuentes que hayan sido declaradas.
<b>Prioridad</b>	Media.
<b>Recursos</b>	Los costos derivados de los anuncios, la recogida, el transporte y el almacenamiento o la disposición final de las fuentes en desuso pueden ser importantes.

<b>Problema</b>	<b>Falta de vigilancia de la chatarra:</b> Escasa o nula vigilancia en la industria de reciclado de metal.
<b>Acción</b>	Incitar a los grandes traficantes de chatarra a adquirir e instalar un equipo para la detección de la radiación y capacitar a su personal para que reconozca el trébol indicador de la radiación y los contenedores típicos de fuentes.

<b>Prioridad</b>	Media.
<b>Recursos</b>	Costos derivados de la elaboración de materiales de capacitación adecuados para concienciar más. Costos relacionados con la recuperación, el almacenamiento o la disposición final de las fuentes encontradas. Normalmente la industria pagará la instrumentación instalada o manual una vez que se reconozcan los riesgos potenciales relacionados con las fuentes huérfanas que penetran en el ciclo de la chatarra.

<b>Problema</b>	<b>Falta de vigilancia de la chatarra:</b> La vigilancia que se aplica a la industria del reciclado de metal es escasa o nula.
<b>Acción</b>	Incitar a los grandes traficantes de chatarra a adquirir e instalar equipo para la detección de la radiación y capacitar a su personal para que reconozca el trébol indicador de la radiación y los contenedores típicos de fuentes.
<b>Prioridad</b>	Media.
<b>Recursos</b>	Costos derivados de la elaboración de materiales de capacitación adecuados para concienciar más. Costos relacionados con la recuperación, el almacenamiento o la disposición final de las fuentes encontradas. Normalmente la industria pagará la instrumentación instalada o manual una vez que se reconozcan los riesgos potenciales relacionados con las fuentes huérfanas que penetran en el ciclo de la chatarra.

<b>Problema</b>	<b>Inexistencia de campañas de concienciación para las instalaciones de reciclado de metal:</b> No se hace nada para informar a los traficantes de chatarra de la posible existencia de fuentes huérfanas o del aspecto de las mismas.
<b>Acción</b>	Enviar una carta a cada instalación de reciclado de metal para informar del problema y adjuntar folletos del juego de herramientas informativo del OIEA sobre chatarra.
<b>Prioridad</b>	Media.
<b>Recursos</b>	Tiempo para redactar y enviar una carta. Gastos de franqueo. Utilización de publicaciones gratuitas del OIEA.

## **COLABORADORES EN LA PREPARACIÓN Y EL EXAMEN**

Cain, C.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Croft, J.	Agencia de Protección de la Salud (Reino Unido)
Dodd, B.	BD Consulting (Estados Unidos de América)
Kutkov, V.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Reber, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Zeleke, A.	Autoridad Nacional de de Protección Radiológica (Etiopía)
Zombori, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica



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

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

### Comisión sobre Normas de Seguridad

*Alemania: Majer, D.; Argentina: González, A.J.; Australia: Loy, J.; Bélgica: Samain, J.-P.; Brasil: Vinhas, L.A.; Canadá: Jammal, R.; 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.; *Comisión Europea*: Vigne, S.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Reig, J.; *\*Asociación Nuclear Mundial*: Borysova, I.; *Comisión Electrotécnica Internacional*: Bouard, J.-P.; *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*: Kartzarska, 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*: Suntarapai, P.; *Túnez*: Chékir, Z.; *Turquía*: Okyar, H.B.; *Ucrania*: Pavlenko, T.; *\*Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Lazo, T.E.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes*: Fasten, W.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Electrotécnica Internacional*: Thompson, I.; *Comisión Europea*: Janssens, A.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas*: Crick, M.; *Oficina Internacional del Trabajo*: Niu, S.; *OIEA*: Boal, T. (Coordinación); *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*: Byron, D.; *Organización Internacional de Normalización*: Rannou, A.; *Organización Mundial de la Salud*: Carr, Z.; *Organización Panamericana de la Salud*: Jiménez, P.

## Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

*Alemania*: Rein, H.; \*Nitsche, F.; \*\*Alter, U.; *Argentina*: López Vietri, J.; \*\*Capadona, N.M.; *Australia*: Sarkar, S.; *Austria*: Kirchnawy, F.; *Bélgica*: Cottens, E.; *Brasil*: Xavier, A.M.; *Bulgaria*: Bakalova, A.; *Canadá*: Régimbald, A.; *China*: Xiaoqing Li; \**Chipre*: Demetriades, P.; *Corea, República de*: Dae-Hyung Cho; *Croacia*: Belamarić, N.; \**Cuba*: Quevedo García, J.R.; *Dinamarca*: Breddam, K.; *Egipto*: El-Shinawy, R.M.K.; *España*: Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América*: Boyle, R.W.; Brach, E.W. (Presidencia); *Federación de Rusia*: Buchelnikov, A.E.; *Finlandia*: Lahkola, A.; *Francia*: Landier, D.; *Ghana*: Emi-Reynolds, G.; \**Grecia*: Vogiatzi, S.; *Hungría*: Sáfár, J.; *India*: Agarwal, S.P.; *Indonesia*: Wisnubroto, D.; *Irán, República Islámica del*: Eshraghi, A.; \**Emamjomeh*, A.; *Irlanda*: Duffy, J.; *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Trivelloni, S.; \*\*Orsini, A.; *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.; \**Nueva Zelandia*: Ardouin, C.; *Noruega*: Hornkjøl, S.; *Países Bajos*: Ter Morshuizen, M.; *Pakistán*: Rashid, M.; \**Paraguay*: More Torres, L.E.; *Polonia*: Dziubiak, T.; *Portugal*: Buxo da Trindade, R.; *Reino Unido*: Sallit, G.; *República Checa*: Ducháček, V.; *Sudáfrica*: Hinrichsen, P.; *Suecia*: Häggblom, E.; \*\*Svahn, B.; *Suiza*: Krietsch, T.; *Tailandia*: Jerachanchai, S.; *Turquía*: Ertürk, K.; *Ucrania*: Lopatin, S.; *Uruguay*: Nader, A.; \*Cabral, W.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional*: Brennan, D.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes* : Miller, J.J.; \*\*Roughan, K.; *Asociación Nuclear Mundial*: Gorlin, S.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*: Kervella, O.; *Comisión Europea*: Binet, J.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas*: Tisdall, A.; \*\*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.; *Lituania*: Paulikas, V.; \**Letonia*: Salmins, A.; *Malasia*: Sudin, M.; \**Marruecos*: Barkouch, R.; *México*: Aguirre Gómez, J.; *Países Bajos*: van der Shaaf, M.; *Pakistán*: Mannan, A.; \**Paraguay*: Idoyaga Navarro, M.; *Polonia*: Wlodarski, J.; *Portugal*: Flausino de Paiva, M.; *Reino Unido*: Chandler, S.; *República Checa*: Lietava, P.; *Sudáfrica*: Pather, T. (Presidencia); *Suecia*: Frise, L.; *Suiza*: Wanner, H.; \**Tailandia*: Supaokit, P.; *Túnez*: Bousselmi, M.; *Turquía*: Özdemir, T.; *Ucrania*: Makarovska, O.; \**Uruguay*: Nader, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Asociación internacional de suministradores y productores de fuentes*: Fasten, W.; *Asociación Nuclear Mundial*: Saint-Pierre, S.; *Comisión Europea*: Necheva, C.; *European Nuclear Installations Safety Standards*: Lorenz, B.; \**Zaiss*, W.; *OIEA*: Siraky, G. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.



# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 22

## Lugares donde se pueden encargar publicaciones del OIEA

En los siguientes países se pueden adquirir publicaciones del OIEA de los proveedores que figuran a continuación, o en las principales librerías locales. El pago se puede efectuar en moneda local o con bonos de la UNESCO.

### ALEMANIA

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Teléfono: + 49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 ó +49 228 94 90 222  
Correo-e: [bestellung@uno-verlag.de](mailto:bestellung@uno-verlag.de) • Sitio web: <http://www.uno-verlag.de>

### AUSTRALIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: [service@dadirect.com.au](mailto:service@dadirect.com.au) • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

### BÉLGICA

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Bruselas  
Teléfono: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Correo-e: [jean.de.lannoy@infoboard.be](mailto:jean.de.lannoy@infoboard.be) • Sitio web: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### CANADÁ

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Teléfono: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### CHINA

Publicaciones del OIEA en chino: China Nuclear Energy Industry Corporation, Sección de Traducción  
P.O. Box 2103, Beijing

### ESLOVENIA

Cankarjeva Založba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Teléfono: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35  
Correo-e: [import.books@cankarjeva-z.si](mailto:import.books@cankarjeva-z.si) • Sitio web: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

### ESPAÑA

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Teléfono: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63  
Correo-e: [compras@diazdesantos.es](mailto:compras@diazdesantos.es), [carmela@diazdesantos.es](mailto:carmela@diazdesantos.es), [barcelona@diazdesantos.es](mailto:barcelona@diazdesantos.es), [julio@diazdesantos.es](mailto:julio@diazdesantos.es)  
Sitio web: <http://www.diazdesantos.es>

### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, EE.UU.  
Teléfono: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Correo-e: [customercare@bernan.com](mailto:customercare@bernan.com) • Sitio web: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669, EE.UU.  
Teléfono: +888 551 7470 (gratuito) • Fax: +888 568 8546 (gratuito)  
Correo-e: [order.dept@renoufbooks.com](mailto:order.dept@renoufbooks.com) • Sitio web: <http://www.renoufbooks.com>

### FINLANDIA

Akateeminen Kirjakauppa, P.O. BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Teléfono: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Correo-e: [akatilauks@akateeminen.com](mailto:akatilauks@akateeminen.com) • Sitio web: <http://www.akateeminen.com>

### FRANCIA

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Teléfono: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90  
Correo-e: [formedit@formedit.fr](mailto:formedit@formedit.fr) • Sitio web: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Teléfono: + 33 1 47 40 67 02 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Correo-e: [romuald.verrier@lavoisier.fr](mailto:romuald.verrier@lavoisier.fr) • Sitio web: <http://www.lavoisier.fr>

## HUNGRÍA

Librotrade Ltd., Book Import, P.O. Box 126, H-1656 Budapest  
Teléfono: +36 1 257 7777 • Fax: +36 1 257 7472 • Correo-e: books@librotrade.hu

## INDIA

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001  
Teléfono: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Correo-e: alliedpl@vsnl.com • Sitio web: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Teléfono: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Correo-e: bookwell@vsnl.net

## ITALIA

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milán  
Teléfono: +39 02 48 95 45 52 ó 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Correo-e: info@libreriaaeiou.eu • Sitio web: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

## JAPÓN

Maruzen Company Ltd, 1-9-18, Kaigan, Minato-ku, Tokyo, 105-0022  
Teléfono: +81 3 6367 6079 • Fax: +81 3 6367 6207  
Correo-e: journal@maruzen.co.jp • Sitio web: <http://www.maruzen.co.jp>

## NACIONES UNIDAS

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, Nueva York, N.Y. 10017, EE.UU.  
Teléfono (Naciones Unidas): +800 253-9646 ó +212 963-8302 • Fax: +212 963 -3489  
Correo-e: publications@un.org • Sitio web: <http://www.un.org>

## NUEVA ZELANDIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
Teléfono: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Correo-e: service@dadirect.com.au • Sitio web: <http://www.dadirect.com.au>

## PAÍSES BAJOS

De Lindeboom Internationale Publicaties B.V., M.A. de Ruyterstraat 20A, NL-7482 BZ Haaksbergen  
Teléfono: +31 (0) 53 5740004 • Fax: +31 (0) 53 5729296  
Correo-e: books@delindeboom.com • Sitio web: <http://www.delindeboom.com>

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Teléfono: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698  
Correo-e: info@nijhoff.nl • Sitio web: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Teléfono: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888  
Correo-e: info@swets.nl • Sitio web: <http://www.swets.nl>

## REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, P.O. Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Teléfono (pedidos) +44 870 600 5552 • (información): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Correo-e (pedidos): book.orders@tso.co.uk • (información): book.enquiries@tso.co.uk • Sitio web: <http://www.tso.co.uk>

Pedidos en línea

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Correo-e: info@profbooks.com • Sitio web: <http://www.profbooks.com>

Libros relacionados con el medio ambiente

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Teléfono: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Correo-e: orders@earthprint.com • Sitio web: <http://www.earthprint.com>

## REPÚBLICA CHECA

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praga 9  
Teléfono: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Correo-e: nakup@suweco.cz • Sitio web: <http://www.suweco.cz>

## REPÚBLICA DE COREA

KINS Inc., Information Business Dept. Samho Bldg. 2nd Floor, 275-1 Yang Jae-dong SeoCho-G, Seúl 137-130  
Teléfono: +02 589 1740 • Fax: +02 589 1746 • Sitio web: <http://www.kins.re.kr>

**Los pedidos y las solicitudes de información también se pueden dirigir directamente a:**

### Dependencia de Mercadotecnia y Venta, Organismo Internacional de Energía Atómica

Centro Internacional de Viena, P.O. Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: +43 1 2600 22529 (ó 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Correo-e: 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 978-92-0-337110-0

ISSN 1020-5837