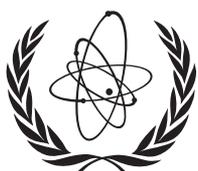


Enseñanzas extraídas de la respuesta a emergencias radiológicas (1945-2010)

FECHA DE PUBLICACIÓN: JULIO DE 2014



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

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

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

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

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

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

PUBLICACIONES CONEXAS

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

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

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

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

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.

**Enseñanzas extraídas
de la respuesta a emergencias
radiológicas
(1945–2010)**

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

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

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

**EPR-LESSONS
LEARNED
2012**

**PREPARACIÓN Y RESPUESTA
PARA CASOS DE EMERGENCIA**

Enseñanzas extraídas de la respuesta a emergencias radiológicas (1945–2010)

FECHA DE PUBLICACIÓN: JULIO DE 2014



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

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
P.O. Box 100
1400 Viena (Austria)
fax: +43 1 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
correo electrónico: sales.publications@iaea.org
<http://www.iaea.org/books>

Para obtener más información sobre esta publicación, sírvanse dirigirse a:

Centro de Respuesta a Incidentes y Emergencias
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
P.O. Box 100
1400 Viena (Austria)
Correo electrónico: Official.Mail.@iaea.org

ENSEÑANZAS EXTRAÍDAS DE LA RESPUESTA
A EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS (1945–2010)
OIEA, VIENA, 2014
OIEA-EPR
© OIEA, 2014
Impreso por el OIEA en Austria
Julio de 2014

PRÓLOGO

El OIEA está autorizado por su Estatuto a establecer normas de seguridad para proteger la salud y reducir al mínimo el peligro para la vida y la propiedad. En los Principios fundamentales de seguridad –Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1– se establecen los objetivos, principios y conceptos fundamentales en materia de seguridad, en los que se basan tanto estas normas de seguridad como el programa del OIEA relacionado con la seguridad. Los requisitos conexos se establecen en las publicaciones de Requisitos de Seguridad, mientras que las orientaciones para cumplir estos requisitos figuran en las correspondientes guías de seguridad.

En los Principios fundamentales de seguridad se enuncian diez principios de seguridad y se describe su propósito y aplicación. Con arreglo al Principio 9, “deben adoptarse disposiciones de preparación y respuesta para casos de incidentes nucleares o radiológicos”. Los requisitos en materia de preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica en cualquier Estado figuran en la publicación titulada “Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica” –Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-2 – patrocinada conjuntamente por siete organizaciones internacionales.

Entre los principios de seguridad enunciados en los Principios fundamentales de seguridad figuran principios para la gestión eficaz de la seguridad. En particular, en el Principio 3, sobre liderazgo y gestión en pro de la seguridad, se establece que “deben establecerse procedimientos para la retroinformación [...] y para el análisis de los [...] accidentes [...] a fin de extraer las enseñanzas pertinentes, compartirlas y actuar en consecuencia”. Este aspecto también se aborda en la publicación N° GS-R-2, donde se afirma que “se deberán adoptar disposiciones para mantener, examinar y actualizar planes, procedimientos y otras medidas de emergencia y para incorporar las enseñanzas derivadas de las investigaciones, la experiencia operacional (como la respuesta a emergencias) y los simulacros y ejercicios para emergencias” como parte del programa de garantía de calidad.

En la resolución GC(55)/RES/9 de la Conferencia General del OIEA, celebrada en septiembre de 2011, se destacó “la importancia de que todos los Estados Miembros apliquen mecanismos de preparación y respuesta para casos de emergencia y elaboren medidas de mitigación a nivel nacional, que sean compatibles con las normas de seguridad del Organismo”, se pidió a la Secretaría que siguiese “mejorando los métodos de intercambio de conocimientos y experiencias en la esfera de la preparación y respuesta para casos de emergencia” y se alentó encarecidamente a los Estados Miembros “a participar de manera activa en este intercambio”.

Si bien la responsabilidad primordial de la seguridad debe recaer en la persona u organización a cargo de las instalaciones y actividades que generan riesgos asociados a las radiaciones (Principios fundamentales de seguridad, Principio 1), el OIEA también tiene la responsabilidad de prestar asistencia a sus Estados Miembros para mejorar la seguridad. En primer lugar, con arreglo a su Estatuto, está autorizado a proveer a la aplicación de sus normas. En segundo lugar, una de las funciones que se le asignan en el artículo 5 a) ii) de la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica consiste en “copiar y difundir entre los Estados Partes y los

Estados Miembros información acerca de [...] las metodologías, las técnicas y los resultados disponibles en materia de respuesta a accidentes nucleares o emergencias radiológicas.”

La presente publicación se ha preparado con el fin de prestar asistencia a los Estados Miembros del OIEA para asimilar las enseñanzas extraídas de emergencias ocurridas en el pasado que refuerzan los requisitos de seguridad enunciados en la publicación de Requisitos de Seguridad N° GS-R-2.

Este informe se redactó antes del terremoto registrado en el Japón en marzo de 2011 y no abarca la consideración del accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi de la empresa TEPCO. Las enseñanzas extraídas de este accidente se abordarán en futuras publicaciones del OIEA y complementarán las conclusiones expuestas en la presente publicación.

Los oficiales encargados de esta publicación son T. McKenna y E. Buglova del Departamento de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física.

NOTA EDITORIAL

El uso de determinadas denominaciones de países o territorios no implica juicio alguno por parte de la entidad editora, el OIEA, sobre la situación jurídica de esos países o territorios, sus autoridades e instituciones o el trazado de sus fronteras.

La mención de nombres de determinadas empresas o productos (se indiquen o no como registrados) no implica ninguna intención de violar derechos de propiedad ni debe interpretarse como una aprobación o recomendación por parte del OIEA.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivo	2
1.3. Ámbito de aplicación.....	2
1.4. Estructura.....	2
2. REQUISITOS GENERALES	3
2.1. Responsabilidades básicas	3
2.1.1. Observaciones.....	3
2.1.2. Conclusiones.....	6
2.2. Evaluación de la amenaza.....	7
2.2.1. Observaciones.....	8
2.2.2. Conclusiones.....	9
3. REQUISITOS FUNCIONALES.....	12
3.1. Consideraciones generales.....	12
3.1.1. Observaciones.....	12
3.2. Establecimiento de medidas de gestión y operaciones de emergencia.....	12
3.2.1. Observaciones.....	14
3.2.2. Conclusiones.....	14
3.3. Determinación, notificación y activación	15
3.3.1. Observaciones.....	16
3.3.2. Conclusiones.....	19
3.4. Adopción de medidas de mitigación.....	20
3.4.1. Observaciones.....	21
3.4.2. Conclusiones.....	21
3.5. Adopción de medidas protectoras urgentes	22
3.5.1. Observaciones.....	22
3.5.2. Conclusiones.....	25
3.6. Suministro de información, instrucciones y avisos al público	27
3.6.1. Observaciones.....	27
3.6.2. Conclusiones.....	30
3.7. Protección de los trabajadores de emergencia	31
3.7.1. Observaciones.....	32
3.7.2. Conclusiones.....	33
3.8. Evaluación de la fase inicial	33
3.8.1. Observaciones.....	34
3.8.2. Conclusiones.....	35
3.9. Gestión de la respuesta médica	35
3.9.1. Observaciones.....	36
3.9.2. Conclusiones.....	39
3.10. Necesidad de mantener informado al público.....	41
3.10.1. Observaciones.....	41
3.10.2. Conclusiones.....	43
3.11. Adopción de contramedidas en la agricultura, medidas contra la ingestión y medidas protectoras a más largo plazo.....	44
3.11.1. Observaciones.....	44
3.11.2. Conclusiones.....	46
3.12. Mitigación de las consecuencias no radiológicas de la emergencia y de la respuesta	46
3.12.1. Observaciones.....	47
3.12.2. Conclusiones.....	47
3.13. Realización de las operaciones de recuperación	48
3.13.1. Observaciones.....	48
3.13.2. Conclusiones.....	50

4.	REQUISITOS SOBRE ELEMENTOS INFRAESTRUCTURALES	50
4.1.	Consideraciones generales	50
4.2.	Autoridad	50
4.2.1.	Observaciones	51
4.2.2.	Conclusiones	53
4.3.	Organización	53
4.3.1.	Observaciones	53
4.3.2.	Conclusiones	54
4.4.	Coordinación de la respuesta a emergencias	54
4.4.1.	Observaciones	55
4.4.2.	Conclusiones	56
4.5.	Planes y procedimientos	56
4.5.1.	Observaciones	57
4.5.2.	Conclusiones	59
4.6.	Apoyo logístico e instalaciones	60
4.6.1.	Observaciones	60
4.6.2.	Conclusiones	62
4.7.	Capacitación, simulacros y ejercicios	62
4.7.1.	Observaciones	63
4.7.2.	Conclusiones	64
4.8.	Programa de garantía de calidad	64
4.8.1.	Observaciones	65
4.8.2.	Conclusiones	65
5.	CONCLUSIONES	66
APÉNDICE I:	DESCRIPCIÓN DE DIEZ EMERGENCIAS DOCUMENTADAS	67
1.	El accidente en la central nuclear de Three Mile Island (TMI)	67
2.	El accidente en la central nuclear de Chernóbil	68
3.	El accidente de criticidad de Tokaimura (Japón)	70
4.	El accidente de Goiânia	71
5.	El accidente de San José (Costa Rica)	73
6.	El accidente de San Salvador	75
7.	La emisión de materiales peligrosos en Bhopal (India)	76
8.	Los huracanes Katrina y Rita	77
9.	Los atentados de Londres del 7 de julio de 2005	79
10.	El incidente de Londres relacionado con el polonio 210, 2006	81
APÉNDICE II:	DESCRIPCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS	87
REFERENCIAS	133
SIGLAS	147
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN	149

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Las normas de seguridad del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se basan en la idea de que más vale prevenir que curar. Para lograr ese objetivo, se aplican las normas pertinentes en el diseño y la explotación. Sin embargo, ocurren emergencias e incidentes radiológicos¹ y es preciso establecer normas de seguridad con objeto de definir los enfoques que deben aplicarse para mitigar sus consecuencias.

En la publicación de Requisitos de Seguridad del OIEA sobre Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica –GS-R-2 [1]– se establecen los requisitos para lograr un nivel adecuado de preparación y respuesta a esas situaciones en cualquier Estado. A tal efecto, se tienen en cuenta otras normas de seguridad establecidas como Requisitos de Seguridad, a saber: las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (NBS) [2]; el Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad, GSR Parte 1 [3]; Seguridad de las centrales nucleares: Diseño, NS-R-1 [4]; y Seguridad de las centrales nucleares: Explotación, NS-R-2 [5]. Los requisitos se aplican con el fin de reducir al mínimo las consecuencias de cualquier emergencia nuclear o radiológica para las personas, los bienes y el medio ambiente. Si bien se publicaron antes que los Principios fundamentales de seguridad [6], en ellos se definen los requisitos que deben cumplirse para lograr el objetivo general y aplicar los principios enunciados en las publicaciones relacionadas con las emergencias.

En el glosario del Organismo [7], una emergencia se define como una “situación no ordinaria que requiere la pronta adopción de medidas, principalmente para mitigar un peligro o las consecuencias adversas para la salud y la seguridad humanas, la calidad de vida, los bienes o el medio ambiente. Esto incluye las emergencias nucleares y radiológicas y las emergencias convencionales, como los incendios, las emisiones de productos químicos peligrosos, las tormentas o los terremotos. Se incluyen también las situaciones que exigen la pronta adopción de medidas para mitigar los efectos de un peligro percibido”.

Han ocurrido varias emergencias nucleares, entre las que se destacan el incendio de Windscale en 1957 [8], el accidente de Three Mile Island en 1979 [9], el accidente de Chernóbil en 1986 [10], el accidente de Sarov en 1997 [11] y el accidente de Tokaimura en 1999 [12]. Han ocurrido emergencias radiológicas en diversas partes del mundo y, cuando lo han solicitado los países afectados, el OIEA ha llevado a cabo exámenes integrales de los sucesos para reunir información sobre las causas de los accidentes y la posterior respuesta a emergencias, con inclusión de la gestión médica, la reconstrucción de la dosis, la comunicación pública, etc., para poder compartir cualquier enseñanza con las autoridades y las organizaciones reguladoras nacionales, los planificadores de medidas de emergencias y una amplia variedad de especialistas, a saber, físicos, técnicos y especialistas médicos, así como personas encargadas de la protección

¹ En el presente documento, la expresión “emergencia radiológica” se utiliza para referirse indistintamente a las emergencias nucleares y radiológicas.

radiológica [13 a 31]. Para agrupar estas enseñanzas es preciso analizar las conclusiones de estos y de otros informes sobre la respuesta a emergencias radiológicas.

1.2. OBJETIVO

Por consiguiente, el objetivo de esta publicación es examinar y agrupar las enseñanzas extraídas de una serie de emergencias radiológicas. Un objetivo adicional es demostrar la necesidad de adoptar disposiciones en materia de preparación y respuesta a situaciones de emergencia; en la publicación sobre Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica –GS-R-2 [1]– se proporcionan las bases para la adopción de esas disposiciones.

1.3. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Esta publicación abarca las emergencias tanto nucleares como radiológicas (en adelante denominadas “emergencias radiológicas”). También se tienen en cuenta enseñanzas pertinentes extraídas de otras situaciones de emergencia. Sus destinatarios son las autoridades y las organizaciones reguladoras nacionales, los planificadores de medidas de emergencias y una amplia variedad de especialistas, a saber, físicos, técnicos y especialistas médicos, así como personas encargadas de la protección radiológica. También será de utilidad para cualquier revisión futura de las normas de seguridad del OIEA relacionadas con las emergencias radiológicas.

Hay una enorme variedad de emergencias radiológicas que pueden suscitar preocupación: desde una emergencia importante relacionada con un reactor hasta emergencias relacionadas con la pérdida o el robo de materiales radiactivos. En el presente documento se tiene en cuenta toda la variedad de emergencias radiológicas.

En este documento no se abordan las enseñanzas relacionadas con la prevención de sucesos radiológicos a través de las medidas de seguridad radiológica incorporadas al diseño de las instalaciones y a su funcionamiento.

1.4. ESTRUCTURA

La estructura del presente documento es similar a la de la publicación de Requisitos de Seguridad sobre Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica [1]. Por consiguiente, en la sección 2 se enuncian los requisitos generales en materia de preparación y respuesta a situaciones de emergencia; la sección 3 abarca los requisitos funcionales, y en la sección 4 figuran los requisitos sobre elementos infraestructurales. Al comienzo de cada subsección hay una lista resumida de los principales requisitos establecidos en dicha publicación. Después figura una breve descripción de cualquier observación importante derivada del examen de las respuestas a distintas emergencias, y a continuación se exponen las conclusiones extraídas de dichas observaciones. El apéndice I contiene un examen de algunas de las emergencias radiológicas y de otra índole ocurridas desde 1945, que se mencionan con más frecuencia en el cuerpo del documento. En el apéndice II se presentan descripciones resumidas normalizadas de los diferentes tipos de emergencias radiológicas y los datos estadísticos conexos. Los cuadros 3 a 11 se han adaptado principalmente de la Ref. [32].

Salvo indicación en contrario, los términos utilizados en el presente documento se entenderán según se definen en el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA [7].

2. REQUISITOS GENERALES

2.1. RESPONSABILIDADES BÁSICAS

Los principales requisitos sobre responsabilidades básicas abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- establecer y mantener preparativos adecuados para responder a cualesquiera consecuencias de una emergencia radiológica en lugares públicos;
- suministrar recursos al órgano regulador y a las organizaciones de respuesta;
- adoptar disposiciones legislativas en las que se asignen claramente las responsabilidades, incluida la determinación de una autoridad coordinadora nacional;
- establecer medidas en materia de preparación y respuesta para toda práctica o fuente que pueda requerir una intervención de emergencia, e integrar esas medidas con las de otras organizaciones de respuesta;
- realizar ejercicios de esas medidas a intervalos adecuados;
- elaborar reglamentos y guías por el órgano regulador;
- notificar las emergencias;
- definir la función de órgano regulador como asesor del gobierno y de las organizaciones de respuesta;
- coordinar las disposiciones de respuesta a emergencias radiológicas con las disposiciones de respuesta a emergencias convencionales;
- adoptar medidas de gestión adecuadas para cumplir con los tiempos de respuesta durante toda la emergencia

2.1.1. Observaciones

Todos estos requisitos se reiteran en las secciones subsiguientes de la publicación de Requisitos de Seguridad. Sin embargo, aquí se pueden mencionar diversos aspectos generales sobre la base de la información contenida en los apéndices.

Es conveniente dividir las emergencias radiológicas en dos grupos², a saber:

- a) Las emergencias que pueden suceder en cualquier parte. Por lo general, se trata de emergencias radiológicas que abarcan:

² Como se indicó en la sección 1, hay dos tipos de emergencias relacionadas con las radiaciones: las emergencias radiológicas y las nucleares. Sin embargo, a los efectos de determinar las enseñanzas correspondientes a la respuesta es más conveniente clasificarlas por el lugar en el que podrían suceder.

- las exposiciones provocadas por fuentes peligrosas³ huérfanas⁴;
 - las exposiciones y contaminaciones del público de origen desconocido;
 - el reingreso de un satélite radiactivo;
 - las amenazas/actos terroristas;
 - los accidentes de transporte.
- b) Las emergencias nucleares o radiológicas que ocurren en instalaciones donde se utilizan o almacenan materiales radiactivos. Estas instalaciones abarcan:
- reactores nucleares (investigación, propulsión naval y generación de energía);
 - instalaciones del ciclo del combustible (p. ej., plantas de procesamiento del combustible);
 - grandes instalaciones de irradiación (p. ej., irradiadores industriales);
 - instalaciones de almacenamiento para grandes cantidades de combustible gastado u otros materiales radiactivos;
 - usos industriales y médicos de fuentes peligrosas (p. ej., teleterapia y radiografía).

Las emergencias del primer grupo pueden ocurrir en cualquier país, mientras que las del segundo solo pueden ocurrir en los países donde existen esas instalaciones. Con todo, las emergencias del segundo grupo pueden afectar a países distintos de aquel donde esté emplazada la instalación si, por ejemplo, se produce una emisión de materiales radiactivos capaz de atravesar las fronteras nacionales, como sucedió en el caso del accidente de Chernóbil en 1986.

Muchas emergencias del primer grupo que causaron la muerte de miembros del público o les produjeron lesiones graves estuvieron relacionadas con fuentes radiactivas peligrosas huérfanas. A menudo esas emergencias ocurren cuando alguien obtiene una fuente peligrosa sin conocer el peligro que entraña. En algunos casos la fuente es recibida por un pequeño comerciante de chatarra: este desmonta el contenedor y, al quedar la fuente sin blindaje, las personas que se encuentran cerca reciben dosis altas. Cuando esas personas empiezan a presentar síntomas de exposición radiológica aguda (p. ej., quemaduras, vómitos, etc.), acuden al médico. Sin embargo, a veces los médicos demoran cierto tiempo en sospechar que las lesiones pueden deberse a la exposición radiológica y en alertar a los oficiales competentes. Una vez que reconocen la posibilidad de que se trate de una emergencia radiológica, estos utilizan instrumentos de exploración ordinarios y, por lo general, ponen rápidamente la fuente bajo control e impiden que se produzcan más

³ Es peligrosa una fuente que, si no estuviera bajo control, podría dar lugar a una exposición suficiente para causar efectos deterministas (es decir, una lesión que solo ocurre por encima de un umbral de dosis relativamente alto que causa o puede causar la muerte o produce una lesión permanente que merma la calidad de vida).

⁴ En el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA una fuente huérfana se define como “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”.

lesiones. En ciertos casos no es posible completar de inmediato la labor encaminada a restablecer la seguridad porque es necesario buscar la o las fuentes o porque la contaminación se ha propagado. Sin embargo, lo fundamental es reconocer que ha ocurrido un accidente para poder activar los planes de respuesta a emergencias. Todos estos casos han suscitado considerable interés y preocupación en el público y en los medios de comunicación. Los accidentes de Goiânia en 1987 [13], Turquía en 1999 [21] y Tailandia in 2000 [25], así como el incidente de Londres relacionado con el polonio 210 en 2006 [33], son ejemplos de esta clase de emergencias.

Las principales enseñanzas extraídas de estas emergencias son las siguientes:

- reconocer que esta clase de emergencias pueden ocurrir de manera imprevista en cualquier país;
- informar a los chatarreros sobre la manera de detectar o reconocer por algún medio una fuente huérfana peligrosa;
- informar a la comunidad médica sobre la manera de reconocer los síntomas médicos de la exposición radiológica;
- establecer planes y procedimientos nacionales y, según proceda, locales;
- definir criterios genéricos y operacionales para la adopción de decisiones;
- responder con prontitud a las preocupaciones del público y de los medios de comunicación.

Los accidentes de Three Mile Island (TMI) en 1979 [9], Chernóbil en 1986 [10], Tokaimura en 1999 [12] y San Salvador [14] son los casos más destacados de emergencias del segundo grupo.

El accidente de TMI provocó daños muy graves en el núcleo de una central nuclear, dosis muy altas en el emplazamiento y solo pequeñas emisiones de materiales radiactivos fuera de él, pero su impacto psicológico en la población fue considerable [9]. En el accidente de Chernóbil hubo emisiones muy abundantes de materiales radiactivos desde una central nuclear, las cuales en 1986 causaron la muerte relacionada con la radiación de 28 personas, entre trabajadores de la central y actuantes de servicios de emergencia, así como varios miles de casos de cáncer del tiroides inducidos por la radiación en niños y un enorme daño psicológico y económico [10]. Las principales enseñanzas extraídas de las emergencias de TMI y de Chernóbil fueron las siguientes:

- elaborar medidas de respuesta a emergencias para sucesos muy improbables;
- desarrollar la capacidad de reconocer la existencia de condiciones peligrosas en la instalación y de actuar tan pronto como se detecten;
- adoptar disposiciones para proteger a los trabajadores de emergencias en el emplazamiento;
- establecer criterios y disposiciones para evaluar con prontitud las condiciones de la instalación y las condiciones radiológicas fuera del emplazamiento a fin de adoptar decisiones en materia de evacuación, realojamiento, restricciones alimentarias y otras contramedidas; y

- adoptar disposiciones para responder con prontitud a las preocupaciones del público y de los medios de comunicación.

El accidente de Tokaimura fue un accidente de criticidad y causó la muerte de dos trabajadores, pero no produjo emisiones o exposiciones significativas fuera del emplazamiento. Pese a su escaso impacto radiológico fuera del emplazamiento, provocó daños económicos y psicológicos muy graves. La principal enseñanza extraída se refirió a la necesidad de responder rápidamente a las preocupaciones del público, incluso en el caso de instalaciones donde las emergencias no puedan tener consecuencias radiológicas significativas fuera del emplazamiento.

En el accidente de San Salvador se vieron afectados tres trabajadores sin capacitación que resultaron expuestos a niveles altos de radiación en un irradiador industrial. Las piernas y los pies de dos de ellos sufrieron lesiones tan graves que fue preciso amputarlos. Uno de los trabajadores murió a los seis meses y medio del accidente. En este caso la principal enseñanza extraída se refirió más a la prevención que a la respuesta: la necesidad de garantizar la capacitación y el equipamiento adecuados del personal que trabaje en instalaciones donde la exposición a dosis altas es posible (aunque muy improbable).

Los tres primeros ejemplos de esta segunda categoría de emergencias fueron emergencias nucleares; el cuarto fue una emergencia radiológica. Además, una serie de emergencias radiológicas de esta categoría entrañaron la exposición excesiva de pacientes sometidos a radioterapia [20, 24, 27]. Esto causó la muerte de pacientes o les produjo graves lesiones. Por lo general, las emergencias se debieron a fallos del equipo, errores de procedimiento o uso no previsto (y no probado) de configuraciones de sistemas informáticos o de equipo.

Las principales enseñanzas extraídas de estas emergencias son las siguientes:

- alertar con prontitud a los usuarios de este tipo de sistemas de tratamiento sobre las posibilidades de sobreexposición accidental;
- suministrar tratamiento médico especializado para limitar el sufrimiento de los pacientes y la magnitud de las lesiones permanentes.

2.1.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- en el caso de los Estados, establecer y mantener disposiciones (incluidos los ejercicios correspondientes) para afrontar las emergencias radiológicas en los lugares públicos teniendo en cuenta las circunstancias nacionales;
- en el caso de los responsables de instalaciones donde se utilicen o almacenen fuentes radiactivas, establecer disposiciones en materia de respuesta a emergencias acordes con el nivel de riesgo;
- en el caso de los responsables de instalaciones donde puedan encontrarse fuentes huérfanas (p. ej., chatarrerías), establecer disposiciones en materia de respuesta a emergencias;

- disponer de recursos adecuados y se definan con claridad las responsabilidades en casos de emergencias para garantizar una respuesta adecuada a las emergencias radiológicas;
- capacitar al personal médico para reconocer lesiones inducidas por la radiación, puesto que suele ser el primero en encontrar esas lesiones en los pacientes, y alentarlos a informar al órgano regulador en caso de que sospeche la presencia de esas lesiones;
- facilitar con prontitud información clara a los medios de comunicación y al público en caso de que ocurra una emergencia radiológica, teniendo en cuenta el considerable interés que suscitan esos sucesos y para evitar trastornos indebidos en las actividades de respuesta.

2.2. EVALUACIÓN DE LA AMENAZA⁵

Para definir los requisitos en materia de preparación y respuesta a situaciones de emergencia enunciados en la Ref. [1], las amenazas radiológicas se clasifican en las categorías de amenaza⁶ que figuran en el cuadro 1 *infra*. Las distintas categorías de esta clasificación tienen rasgos comunes en lo que respecta a la magnitud de las consecuencias radiológicas en caso de emergencia y, por ende, a las disposiciones en materia de preparación y respuesta. Las categorías de amenaza I, II y III representan niveles decrecientes de amenaza radiológica y del correspondiente grado de rigor de los requisitos aplicables a las medidas de preparación y respuesta. Las categorías de amenaza IV y V se aplican a las actividades⁷. La categoría de amenaza IV se aplica a las actividades que pueden dar lugar a emergencias en casi cualquier parte; por consiguiente, se trata del nivel de amenaza mínimo que se supone es de aplicación a todos los Estados y jurisdicciones. La categoría de amenaza V se aplica a las zonas exteriores al emplazamiento en las que es preciso adoptar disposiciones de preparación y respuesta

⁵ En las normas, las orientaciones y los manuales de seguridad del OIEA que están en proceso de elaboración, el término “amenaza” utilizado en la expresión “evaluación de la amenaza” se reemplazará por el término “peligro” y se utilizará en la expresión “evaluación del peligro”.

⁶ En las normas, las orientaciones y los manuales de seguridad del OIEA que están en proceso de elaboración, la expresión “categoría de amenaza” se reemplazará por la expresión “categoría de peligro”.

⁷ La expresión “instalaciones y actividades” es una expresión general que abarca las instalaciones nucleares, los usos de todas las fuentes de radiación ionizante, todas las actividades de gestión de desechos radiactivos, el transporte de material radiactivo y cualquier otra práctica o circunstancia en la que las personas puedan quedar expuestas a radiaciones procedentes de fuentes naturales o artificiales. El término “instalaciones” abarca las instalaciones nucleares; los establecimientos de irradiación; algunas instalaciones de extracción y de tratamiento de materias primas, como las minas de uranio; las instalaciones de gestión de desechos radiactivos, y cualquier otro lugar o lugares donde se produzcan, traten, utilicen, almacenen o envíen a su disposición final materiales radiactivos –o donde se instalen generadores de radiación a tal escala que sea necesario tener en cuenta consideraciones relativas a la protección y la seguridad tecnológica–. El término “actividades” abarca la producción, uso, importación y exportación de fuentes de radiación con fines industriales, médicos o de investigación; el transporte de material radiactivo; la clausura de instalaciones; las actividades de gestión de desechos radiactivos tales como la descarga de efluentes y algunos aspectos de la restauración de emplazamientos afectados por residuos de actividades previas. Véase el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA [7].

para hacer frente a la contaminación resultante de una emisión de materiales radiactivos desde una instalación incluida en las categorías de amenaza I o II. Las categorías de amenaza se utilizan para aplicar un enfoque graduado a la preparación y respuesta a situaciones de emergencia radiológica. Sin embargo, su uso no constituye un requisito específico y solo se definen a los efectos de la publicación de Requisitos de Seguridad.

En la Ref. [34] se facilitan orientaciones para determinar la categoría de amenaza, junto con ejemplos de la categoría de amenaza aplicables a diferentes situaciones. Un aspecto inherente de la evaluación de la amenaza es la clara comprensión de lo que pudo haber fallado, para lo cual es fundamental conocer y entender las causas y consecuencias de los accidentes previos.

Los principales requisitos sobre evaluación de la amenaza abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- en el caso de una instalación de la categoría de amenaza I, utilizar el análisis probabilista de la seguridad tecnológica para evaluar la adecuación de las disposiciones establecidas por el explotador en materia de respuesta a emergencias;
- en el caso de una instalación de las categorías de amenaza I, II o III, utilizar el análisis global de la seguridad tecnológica para determinar todas las fuentes de exposición con miras al establecimiento de requisitos para emergencias;
- velar por que las disposiciones para emergencias sean proporcionadas a la naturaleza y posible magnitud de la amenaza;
- llevar a cabo un examen periódico para cerciorarse de que se han determinado todas las prácticas y situaciones que podrían requerir la aplicación de medidas de respuesta a emergencias y de que se ha realizado una evaluación de la amenaza en relación con esas prácticas y situaciones;
- determinar las instalaciones, fuentes, prácticas, zonas del emplazamiento, zonas exteriores al emplazamiento y otros lugares que podrían requerir la realización de acciones protectoras;
- determinar las amenazas no radiológicas;
- determinar los lugares donde haya una probabilidad significativa de encontrar una fuente peligrosa;
- determinar las grandes instalaciones de procesamiento de chatarra, los cruces de fronteras nacionales y las instalaciones donde puedan utilizarse fuentes de gran tamaño.

2.2.1. Observaciones

Numerosos estudios demuestran que las peores emisiones posibles de productos de fisión [35, 36, 37] de una gran central nuclear⁸ o de grandes piscinas de almacenamiento

⁸ El accidente de Chernóbil dio lugar a dosis que podrían haber sido letales fuera del emplazamiento si la emisión inicial hubiera afectado a zonas habitadas [38].

de combustible gastado⁹ pueden causar efectos deterministas muy graves en la salud fuera del emplazamiento; por consiguiente, estas instalaciones se deberían incluir en la categoría de amenaza I. Los reactores de investigación y las instalaciones de procesamiento de combustible gastado son ejemplos de instalaciones en las que podrían producirse emisiones que requieran la realización de acciones protectoras urgentes fuera del emplazamiento y, por lo tanto, pertenecen a la categoría de amenaza II.

En general, se reconoce que las instalaciones incluidas en las categorías de amenaza I y II requieren la realización de análisis globales de la seguridad tecnológica para determinar las disposiciones de emergencia. En el caso de las instalaciones pertenecientes a la categoría de amenaza III la posibilidad de que ocurran emergencias muy graves no se reconoce tan ampliamente. Han ocurrido accidentes importantes relacionados con estas instalaciones, los cuales dieron lugar a lesiones radiológicas graves y muertes en varios países, entre ellos: Italia en 1975 [32, 39], Noruega en 1982 [40, 41], San Salvador en 1989 [14], Israel en 1990 [15], China en 1990 y 1992 [32, 39], Belarús en 1991 [16] y Francia en 1991 [42, 43]. Habida cuenta del número relativamente pequeño de establecimientos, el riesgo de que ocurrieran esos accidentes era alto. A raíz de ello el OIEA elaboró un importante programa de trabajo para promover mejoras [29]. La experiencia del OIEA indica que actualmente el riesgo es mucho más bajo debido a las mejoras en el diseño y la práctica, pero no hay que descartarlo.

El uso de radiografía industrial in situ corresponde a la categoría de amenaza IV y también ha dado lugar a lesiones graves o muertes. En el Reino Unido, en 1992, un radiógrafo industrial falleció probablemente como resultado de exposición radiológica sustancial (al menos 10 Gy) durante varios años [39]. También ocurrieron accidentes en Francia, en 1995 [39], en el Irán, en 1996 [26], en el Perú, en 1999 [22] y en Bolivia, en 2002 [28]. Además, han ocurrido muchos accidentes o incidentes relacionados con exposiciones a fuentes huérfanas. Algunos accidentes tempranos ocurridos en México, en 1962 [44], en Argelia, en 1978 [45] y en Marruecos, en 1984 [46] demostraron que las fuentes utilizadas en radiografía industrial podían convertirse en fuentes huérfanas y provocar muchas muertes. Más recientemente, ha habido casos relacionados con las industrias de reciclado de metales [46] a raíz de los cuales se instalaron sistemas de control para detectar la posible presencia de materiales radiactivos en la chatarra recibida. Las fuentes huérfanas también han causado lesiones o muertes entre miembros del público en China, en 1992 [39], en Estonia, en 1994 [18], en Georgia, en 1997 [23], en Estambul, en 1998/9 [21], en Tailandia, en 2000 [25], entre otros sitios.

2.2.2. Conclusiones

Las enseñanzas extraídas demostraron la importancia de lo siguiente:

- establecer disposiciones para emergencias basadas en un análisis de la seguridad tecnológica tanto en el caso de la categoría de amenaza III como en el de las categorías de amenaza I y II, teniendo en cuenta que los irradiadores industriales, instalados en muchos países del mundo, suscitan especial preocupación;

⁹ La contención del combustible gastado requiere enfriamiento activo.

- establecer disposiciones para casos de emergencias relacionadas con fuentes huérfanas peligrosas, que pueden ocurrir prácticamente en cualquier lugar, incluida la determinación de los lugares donde puedan encontrarse esas fuentes, como las industrias de reciclado de metales.

CUADRO 1. CINCO CATEGORÍAS DE AMENAZA RELACIONADAS CON LA ENERGÍA NUCLEAR Y LA RADIACIÓN A EFECTOS DE LOS REQUISITOS [1]

Categoría de amenaza ⁶	Descripción
I	Instalaciones, tales como las centrales nucleares, para las cuales se postulan sucesos en el emplazamiento ¹⁰ (incluidos sucesos de muy baja probabilidad) que pueden dar lugar a efectos deterministas graves en la salud ¹¹ fuera del emplazamiento, o instalaciones semejantes en las que hayan ocurrido ese tipo de sucesos.
II	Instalaciones, tales como ciertos tipos de reactores de investigación, para las cuales se postulan sucesos en el emplazamiento ⁷ que pueden dar lugar a que las personas reciban dosis fuera del emplazamiento que exijan acción protectora urgente de acuerdo con las normas internacionales ¹² , o instalaciones semejantes en las que haya ocurrido ese tipo de sucesos. La categoría de amenaza II (a diferencia de la categoría de amenaza I) no incluye instalaciones para las que se postulan sucesos en el emplazamiento (incluidos los de muy baja probabilidad) que podrían dar lugar a efectos deterministas graves en la salud fuera del emplazamiento, o instalaciones semejantes en las que hayan ocurrido ese tipo de sucesos.
III	Instalaciones, tales como las de irradiación industrial, para las cuales se postulan sucesos en el emplazamiento que podrían dar lugar a que las personas reciban dosis o contaminación que exijan medidas protectoras urgentes en el emplazamiento, o instalaciones semejantes en las que haya ocurrido ese tipo de sucesos. La categoría de amenaza III (a diferencia de la categoría de amenaza II) no incluye instalaciones para las que se postulan sucesos que podrían exigir medidas protectoras urgentes fuera del emplazamiento, o instalaciones semejantes en las que hayan ocurrido ese tipo de sucesos.
IV	Actividades que pudieran dar lugar a una emergencia nuclear o radiológica que podría exigir medidas protectoras urgentes en un lugar imprevisible. Se incluyen allí actividades no autorizadas, tales como las relacionadas con fuentes peligrosas obtenidas ilícitamente. Incluyen también el transporte y actividades autorizadas en las que intervienen fuentes móviles peligrosas, tales como fuentes de radiografía industrial, satélites alimentados por energía nuclear o generadores radiotérmicos. La categoría de amenaza IV representa el nivel mínimo de amenaza que se supone es de aplicación a todos Estados y jurisdicciones.

¹⁰ En los que intervienen emisiones atmosféricas o acuáticas de materiales radiactivos o exposición externa (por ejemplo, debido a una pérdida de blindaje o un suceso de criticidad) que se originen en un lugar del emplazamiento.

¹¹ Dosis en exceso de aquéllas para las cuales cabe esperar una intervención bajo cualesquiera circunstancias; véase el anexo II de la Ref. [2]. Véase en el Glosario [7] la definición de efectos deterministas en la salud.

¹² Anexo III de la Ref. [2].

- V Actividades en las que usualmente no se utilizan fuentes de radiación ionizante, pero que originan productos con una gran probabilidad¹³ de quedar contaminados como consecuencia de sucesos en instalaciones de las categorías de amenaza I o II, incluidas instalaciones de ese tipo en otros Estados, a niveles que exigen la rápida imposición de restricciones a los productos con arreglo a las normas internacionales.
-

3. REQUISITOS FUNCIONALES

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los objetivos prácticos de la respuesta de emergencia, tal como se definen en la publicación de Requisitos de Seguridad [1], son los siguientes:

- recuperar el control de la situación;
- evitar o mitigar las consecuencias en el lugar de los hechos;
- impedir que se produzcan efectos deterministas en la salud de los trabajadores y el público;
- prestar primeros auxilios y atención a las personas con lesiones por radiación;
- evitar, en la medida de lo posible, los efectos estocásticos en la población;
- evitar, en la medida de lo posible, los efectos no radiológicos en las personas y la población;
- proteger, en la medida de lo posible, la propiedad y el medio ambiente;
- efectuar, en la medida de lo posible, los preparativos para la reanudación de la actividad social y económica normal.

Para lograr estos objetivos se aplican los requisitos sobre preparación en el marco del proceso de planificación y realización de preparativos.

3.1.1. Observaciones

Ninguna observación, salvo señalar la extrema importancia de esos objetivos.

3.2. ESTABLECIMIENTO DE MEDIDAS DE GESTIÓN Y OPERACIONES DE EMERGENCIA

Los principales requisitos sobre el establecimiento de medidas de gestión y operaciones de emergencia abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

¹³ A condición de que ocurra una emisión importante de materiales radiactivos desde una instalación de la categoría de amenaza I o II.

Respuesta

- poner en marcha cuanto antes la respuesta a emergencias en el emplazamiento, sin afectar el desempeño continuo de las funciones de seguridad operacional;
- realizar una gestión eficaz de la respuesta a emergencias fuera del emplazamiento y coordinarla con la respuesta en el emplazamiento;
- coordinar la respuesta a emergencias entre todas las organizaciones de respuesta;
- evaluar durante la emergencia la información necesaria para adoptar decisiones acerca de la asignación de los recursos.

Preparación

- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, definir claramente la transición de las operaciones normales a las de emergencia, incluida la asignación de responsabilidades a las personas presentes en el emplazamiento;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, adoptar disposiciones para coordinar las respuestas de todas las organizaciones de respuesta fuera del emplazamiento con la respuesta en el emplazamiento;
- integrar las disposiciones de respuesta a los niveles nacional y local con las previstas para afrontar emergencias convencionales;
- adoptar disposiciones para la aplicación de un sistema de mando y control, incluidas las relativas a:
 - la coordinación de las actividades;
 - la elaboración de estrategias;
 - la resolución de controversias;
 - la obtención y evaluación de información;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, adoptar disposiciones para coordinar la respuesta entre las organizaciones de respuesta y las entidades jurisdiccionales comprendidas en la zona de medidas precautorias (ZMP) o la zona de planificación de medidas protectoras urgentes (ZPMPU).¹⁴

¹⁴ La Zona de Medidas Precautorias (ZMP) es una zona situada alrededor de una instalación respecto de la cual se ha dispuesto lo necesario para la adopción de medidas protectoras urgentes en caso de una emergencia nuclear o radiológica a fin de reducir el riesgo de efectos deterministas graves en la salud fuera del emplazamiento. Las medidas protectoras dentro de esta zona deberán tomarse antes o poco después de una emisión de materiales radiactivos o una exposición sobre la base de las condiciones imperantes en la instalación. La Zona de Planificación de Medidas Protectoras Urgentes (ZPMPU) es una zona situada alrededor de una instalación respecto de la cual se ha dispuesto lo necesario para la adopción de medidas protectoras urgentes en caso de una emergencia nuclear o radiológica a fin de evitar dosis fuera del emplazamiento con arreglo a las normas internacionales. Las medidas protectoras dentro de esta zona deberán adoptarse sobre la base de la monitorización ambiental o, según corresponda, de las condiciones imperantes en la instalación.

3.2.1. Observaciones

En muchos casos, la actuación de los directivos encargados de la respuesta inicial resultó ineficaz porque no habían recibido capacitación en condiciones de emergencia realistas y porque el sistema de respuesta no se había diseñado para afrontar emergencias graves (p. ej., en TMI y en Chernóbil). Estos directivos se vieron abrumados y confundidos por la situación estresante, asumieron las tareas de sus subordinados en lugar de ejercer sus funciones de dirección, tuvieron que instalarse en otros lugares en momentos cruciales, se quedaron sin acceso telefónico porque las líneas estaban congestionadas y no lograron comprender la verdadera naturaleza y gravedad de las emergencias [9, 10, 47].

Durante la respuesta a las emergencias [47, 48], los oficiales superiores/directivos provocaron confusión al elaborar planes ad hoc por desconocer los planes y procedimientos que habían establecido sus organizaciones. En muchos casos el personal directivo superior y los encargados de tomar decisiones no reconocieron que debían participar en las actividades de capacitación y saber qué funciones tenían que desempeñar en situaciones de emergencia.

Inmediatamente después del comienzo de la emergencia de TMI, gran parte del personal de la central acudió a la sala de control, lo cual dificultó considerablemente la labor de los operadores, que trataban de entender la situación y recuperar el control de la emergencia. El personal se había dirigido a la sala de control porque esa era su conducta habitual cada vez que surgía un problema.

Un ejemplo de actuación eficaz con arreglo a las disposiciones de mando y control establecidas fue la respuesta al incidente de Londres relacionado con el polonio 210. Era una situación sin precedentes, pero el marco de respuesta a emergencias del Reino Unido, que abarcaba disposiciones de mando y control claras y específicas para una respuesta con intervención de múltiples organismos (en cualquier tipo de incidentes), junto con la experiencia de muchos ejercicios de respuesta a sucesos nucleares y a acciones terroristas, proporcionó una base firme para una respuesta eficiente y eficaz [33].

3.2.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demostraron la importancia de:

- establecer con antelación disposiciones en materia de respuesta a emergencias para las distintas categorías de amenaza;
- determinar con claridad las funciones y responsabilidades de las personas que deban participar en la respuesta a una emergencia, incluidos los encargados de dirigir o gestionar dicha respuesta;
- integrar cuanto antes la gestión de la respuesta de las autoridades nacionales con la de las demás organizaciones de respuesta, de ser posible en un solo puesto situado cerca del lugar de la emergencia;
- velar por que todos los participantes en las actividades de respuesta reconozcan que las disposiciones establecidas para las situaciones normales no necesariamente se aplican a las emergencias.

3.3. DETERMINACIÓN, NOTIFICACIÓN Y ACTIVACIÓN

Los principales requisitos sobre determinación, notificación y activación abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- en el caso de los explotadores, determinar con prontitud la clase o el nivel de respuesta pertinente, iniciar las medidas en el emplazamiento apropiadas y notificar y proporcionar información actualizada al punto de notificación fuera del emplazamiento;
- en el caso del punto de notificación fuera del emplazamiento, notificar con prontitud a todas las organizaciones de respuesta fuera del emplazamiento y velar por que estas inicien prontamente las actividades de respuesta pertinentes planificadas con antelación;
- tras recibir una notificación de otro Estado, iniciar prontamente las medidas;
- en caso de una emergencia transnacional, notificar prontamente a los Estados que puedan verse afectados.

Preparación

- establecer puntos de notificación que estén permanentemente disponibles para recibir notificaciones sobre emergencias;
- en el caso de las entidades jurisdiccionales donde sea muy probable que una fuente peligrosa se pierda o retire de alguna otra manera, adoptar disposiciones para cerciorarse de que el personal directivo en el emplazamiento y los oficiales locales tengan conocimiento de los indicadores de una posible emergencia y de las medidas apropiadas en caso de que se sospeche una emergencia;
- adoptar disposiciones para garantizar que las entidades encargadas de la respuesta inicial tengan conocimiento del símbolo del trébol y los rótulos y etiquetas, así como de su importancia, de los síntomas que indicarían la necesidad de realizar una evaluación para determinar la posible existencia de una emergencia, y de las medidas de notificación y otras medidas inmediatas requeridas en caso de que se sospeche una emergencia;
- en el caso de los explotadores de una instalación o práctica de las categorías de amenaza I, II, III o IV, adoptar disposiciones para la pronta detección de una emergencia radiológica real o potencial y la determinación del nivel de respuesta apropiado, lo cual requiere un sistema de clasificación de todas las posibles emergencias basado en los niveles de medidas de emergencia preestablecidos;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, designar un punto de notificación fuera del emplazamiento que ha de estar permanentemente disponible;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II, III o IV, contar en todo momento con una persona en el emplazamiento con la autoridad y responsabilidad de: clasificar una emergencia y, tras su clasificación, iniciar

- prontamente la correspondiente respuesta en el emplazamiento; informar al punto de notificación fuera del emplazamiento; y proporcionar la información necesaria para una respuesta eficaz fuera del emplazamiento. Dicha persona debe contar con los medios apropiados para alertar al personal de respuesta en el emplazamiento y notificar al punto de notificación fuera del emplazamiento;
- en el caso de los explotadores de una instalación o práctica de las categorías de amenaza I, II, III o IV, velar por que adopten disposiciones adecuadas a fin de obtener rápidamente información suficiente y comunicarla a las autoridades responsables;
 - tras la declaración de una determinada clase de emergencia en una instalación o práctica de las categorías de amenaza I, II, III o IV, iniciar con prontitud las actividades de respuesta y definir las responsabilidades y las medidas de respuesta iniciales de todas las organizaciones de respuesta;
 - en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, evaluar la amenaza para demostrar que es posible efectuar de manera oportuna la determinación, la notificación y la activación, entre otras medidas de respuesta iniciales;
 - adoptar disposiciones a fin de que las organizaciones de respuesta dispongan de personal suficiente para aplicar las medidas de respuesta iniciales que se les asignen;
 - adoptar disposiciones para responder a emergencias cuyas características no se puedan indicar con antelación;
 - comunicar el punto de contacto al OIEA y a los demás Estados;
 - adoptar disposiciones para notificar a los Estados que puedan verse afectados por una emergencia transnacional;
 - adoptar disposiciones para notificar a los Estados en los que se deben aplicar medidas protectoras urgentes.

3.3.1. Observaciones

Los explotadores de las instalaciones de TMI y de Chernóbil no reconocieron inicialmente la gravedad de las emergencias, pese a la existencia de indicios inequívocos [9, 37, 49]. Esos fallos se han atribuido al hecho de que su capacitación no había abarcado los accidentes graves y de que sus procedimientos no incluían criterios preestablecidos para clasificar los sucesos y definir la respuesta. Han ocurrido emergencias graves que no se abordaron debidamente porque el personal consideraba inconcebible que ocurrieran, aunque se las postulara en análisis científicos creíbles.

La confusión de los explotadores en los accidentes de TMI y de Chernóbil contribuyó a agravar las emergencias porque les impidió tomar medidas apropiadas en una etapa inicial. En el caso del accidente de TMI, los explotadores intentaron verificar si estaban adoptando las medidas de mitigación correctas basándose en un único instrumento cuyas

indicaciones resultaron engañosas en condiciones de emergencia, incluso cuando existían indicios inequívocos de que el núcleo se había fundido [9, 37].

Las emergencias radiológicas relacionadas con fuentes huérfanas peligrosas revistieron mayor gravedad en los casos en que los recolectores de chatarra no conocían la importancia del símbolo del trébol. En rigor, este símbolo se utiliza para indicar la presencia de radiación más que la existencia de un peligro radiológico grave, pero en general se considera que indica ese peligro, aun cuando la experiencia de estos accidentes demuestra claramente que tal percepción dista de ser universal [21, 25, 50].

En varios casos, quienes señalaron estas emergencias fueron los médicos al diagnosticar que las lesiones habían sido provocadas por la radiación. Sin embargo, muchas veces los médicos tardaron en hacer esos diagnósticos porque no estaban familiarizados con los síntomas de la exposición a la radiación [13].

En el incidente de Londres relacionado con el polonio 210 se reconoció la posibilidad de que los síntomas que presentaba el paciente se debieran a la radiación. Sin embargo, no se reconocieron las limitaciones de las medidas adoptadas para probar este posible diagnóstico. La prueba inicial consistió, fundamentalmente, en medir la tasa de dosis y la contaminación en el paciente y en su entorno inmediato. Lamentablemente, los emisores alfa no son frecuentes en los hospitales y los instrumentos de medición utilizados no eran capaces de detectar radiación alfa por polonio 210 [33].

En muchos accidentes, en particular los relacionados con las categorías de amenaza III y IV, la falta de capacitación apropiada o su aplicación ineficaz son la causa del accidente y al mismo tiempo lo que impide que este se reconozca rápidamente. Es lo que sucedió en el accidente del irradiador en San Salvador [14]. Unos trabajadores que no habían recibido capacitación resultaron expuestos a dosis significativas mientras intentaban desbloquear un bastidor portafuente que se había atascado, y si bien cuando acudieron al hospital presentaban síntomas del síndrome agudo de irradiación (SAI) la importancia del suceso pasó desapercibida. De hecho, hasta que sucedió otro accidente no se reconoció que había un problema.

Una vez que se determina la existencia de una emergencia debe haber una vía bien conocida y accesible para notificarlo y activar las respuestas apropiadas. La experiencia ha demostrado que las disposiciones para afrontar las emergencias fuera del sector nuclear que entrañan una amenaza para el público, pese a ser igualmente necesarias, suelen tener menor fuerza. En el accidente de Goiânia [13] no se supo bien cómo informar del accidente a las autoridades locales para poner en marcha medidas inmediatas a nivel local. Una vez comunicado el suceso, se adoptaron medidas locales, se informó al nivel nacional y posteriormente se adoptaron medidas nacionales. Sin embargo, en cada etapa fue necesario improvisar porque no se habían elaborado planes claros de respuesta a emergencias para afrontar una situación de ese tipo. Se pudieron adaptar elementos de la respuesta prevista en los planes para accidentes nucleares, pero con inevitables retrasos en el despliegue efectivo de los recursos necesarios.

En el caso del incidente de Londres relacionado con el polonio 210, además de los residentes del Reino Unido, gran parte de las personas que podían haber estado expuestas a esta sustancia eran visitantes extranjeros que habían estado en alguno de los hoteles o en otros lugares relacionados con el incidente. Fue preciso localizar a esas personas. A tal

efecto, la Agencia de Protección de la Salud (HPA) estableció un grupo asesor para el extranjero [33]. En el plan de emergencia de la HPA no estaba prevista la creación de ese grupo, pero ahora ya se sabe que cualquier emergencia en una gran ciudad puede afectar a visitantes extranjeros y, por lo tanto, es preciso ajustar los planes para tener en cuenta esa posibilidad.

En colaboración con el Ministerio de Relaciones Exteriores y de la Commonwealth, el grupo asesor de la HPA organizó reuniones informativas con representantes de las embajadas y misiones destacadas en Londres. Tras identificar a personas del extranjero que podían haber incorporado polonio 210 se intentó localizarlas con fines de seguimiento por vía diplomática y a través de instituciones de salud pública. En total se identificó a 664 personas de 52 países, pero hubo diversos problemas relacionados con el seguimiento y con la recepción de los resultados:

- Se comprobó muy pronto que la información transmitida por vía diplomática no necesariamente llegaba a la organización apropiada del país en cuestión.
- Por consiguiente, se intentó contactar con las organizaciones nacionales a través de los puntos de contacto para asuntos relacionados con la protección radiológica o la salud pública. También esa vía resultó complicada y demasiado lenta.
- El incidente se notificó oficialmente con prontitud al OIEA en cumplimiento de los requisitos establecidos con arreglo a la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares [51]. Sin embargo, solo cuando surgieron los problemas mencionados *supra* para contactar con las organizaciones nacionales apropiadas los países utilizaron las disposiciones del OIEA sobre contactos en caso de emergencias. La conclusión es que hubiera sido mejor recurrir más pronto a esa capacidad del OIEA.

Incluso cuando se pudo establecer contacto y transmitir información sobre las pruebas que se consideraban necesarias, la recepción de los resultados fue desigual. En total se recibieron resultados correspondientes a menos del 25 % de las personas identificadas. En algunos casos se señaló que los resultados no podían comunicarse habida cuenta de las disposiciones legales vigentes en materia de protección de datos o bien por consideraciones relacionadas con el secreto médico. Los resultados recibidos correspondían al perfil del cuadro de evaluación del riesgo elaborado sobre la base de la monitorización radiológica individual y ambiental realizada en el Reino Unido. Sin embargo, es evidente que en la respuesta a futuras emergencias habría que tener en cuenta la posibilidad de que surjan dificultades para obtener información coherente a nivel internacional.

Una detección temprana de los accidentes podría haber reducido el número de pacientes que sufrieron sobreexposición radioterapéutica muy grave. Por ejemplo, en el caso del accidente de Costa Rica, si bien los técnicos se preguntaron por qué la duración de las sesiones de radioterapia no se había ajustado tras la instalación de una nueva fuente radiactiva, la cuestión no se siguió examinando [20]. El problema solo se detectó alrededor de un mes más tarde, cuando un médico observó en sus pacientes una reacción más fuerte de lo normal.

En virtud de la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares [51], en caso de que ocurra un accidente nuclear que pueda tener consecuencias radiológicas transfronterizas, los Estados Parte se comprometen a notificarlo a los países que puedan verse afectados y al OIEA. Ahora bien, en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se establece, además, que, en caso de una emergencia transfronteriza (o transnacional)¹⁵, los Estados deben notificarla de manera directa, o por conducto del OIEA, a los Estados que puedan verse afectados. Los retrasos de los Estados en responder a las alertas del Centro de Incidencias y Emergencias del OIEA se debieron a que no habían localizado un punto de alerta, no disponían de un portavoz que hablara inglés o no mantenían bajo vigilancia y control permanente los aparatos de fax utilizados para recibir esas alertas.

3.3.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demostraron la importancia de lo siguiente:

- elaborar procedimientos operacionales aplicables a las instalaciones pertenecientes a las categorías de amenaza I, II y III a fin de orientar a los explotadores para reconocer todas las secuencias de accidente determinadas en el análisis de seguridad, incluidas las de baja probabilidad;
- en el caso de las personas que participan en la industria de reciclado de metales, conocer el símbolo del trébol y los dispositivos que contienen fuentes peligrosas, así como la necesidad de efectuar una monitorización radiológica de la chatarra recibida y de las diferentes corrientes de producto con objeto de detectar la posible presencia de materiales radiactivos;
- elaborar orientaciones destinadas a los médicos para facilitar el reconocimiento de lesiones radiológicas;
- en el caso de las personas que participan en el tratamiento de pacientes mediante radioterapia y en otras situaciones en que los pacientes reciben dosis de radiación altas, por ejemplo, en la radiología intervencionista, alentarlas a adoptar una actitud inquisitiva, a fin de que, en caso de que ocurra un suceso imprevisto puedan adoptarse medidas adecuadas;

¹⁵ Por “emergencia transfronteriza” se entiende una emergencia nuclear o radiológica de importancia radiológica real, potencial o percibida para más de un Estado, con inclusión de:

- 1) una emisión transfronteriza significativa de materiales radiactivos;
- 2) una emergencia general en una instalación u otro suceso que podría conducir a una emisión transfronteriza significativa (atmosférica o acuática) de materiales radiactivos;
- 3) el descubrimiento de la pérdida o retirada ilícita de una fuente peligrosa que ha sido, o se sospecha que ha sido, transportada a través de una frontera nacional;
- 4) una emergencia que origine una interrupción importante del comercio o transporte internacionales;
- 5) una emergencia que requiera la adopción de medidas protectoras para los extranjeros o las embajadas que se encuentren en el Estado en que se produce;
- 6) una emergencia que produzca o pueda producir efectos deterministas graves y que entrañe un fallo y/o problema (por ejemplo, en el equipo o los programas informáticos) que podría tener serias repercusiones para la seguridad a nivel internacional;
- 7) una emergencia que produzca o pueda producir gran preocupación entre la población de más de un Estado como consecuencia del peligro radiológico real o previsto.

- en el caso de los Estados, establecer y mantener disposiciones para notificar con prontitud al OIEA y a todos los Estados que puedan verse afectados en caso de que ocurra una emergencia radiológica con consecuencias transfronterizas, y a fin de que estén preparados para responder a notificaciones similares recibidas de otros Estados, con arreglo a los procedimientos del OIEA [52].

3.4. ADOPCIÓN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Los principales requisitos sobre la adopción de medidas de mitigación abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- en el caso de los primeros actuantes, adoptar medidas para minimizar las consecuencias de una emergencia de la categoría de amenaza IV;
- en el caso de los explotadores de instalaciones o prácticas de las categorías de amenaza I, II, III o IV, adoptar medidas para minimizar las consecuencias de las emergencias;
- en el caso de los servicios de emergencia, apoyar las actividades de respuesta en las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III.

Preparación

- adoptar disposiciones para proporcionar conocimientos especializados y servicios de protección radiológica a los oficiales locales y a los primeros actuantes en emergencias de la categoría de amenaza IV, y para proporcionar orientación a los primeros actuantes en emergencias relacionadas con el transporte y el presunto tráfico ilícito;
- en el caso de los explotadores de prácticas de la categoría de amenaza IV, proporcionarles instrucciones sobre los medios de mitigar las consecuencias potenciales de las emergencias y proteger a los trabajadores y al público;
- en el caso de los explotadores de prácticas en las que se utilicen fuentes peligrosas, adoptar disposiciones para responder a emergencias relacionadas con dichas fuentes, incluido el rápido acceso a un asesor en cuestiones radiológicas o un oficial de protección radiológica;
- en caso de pérdida de una fuente peligrosa, adoptar disposiciones para iniciar rápidamente la búsqueda y emitir la alerta correspondiente;
- adoptar disposiciones para que los explotadores de las categorías I, II o III puedan aplicar medidas de mitigación a fin de evitar que la amenaza se agrave, restablecer un estado seguro y estable, reducir las posibilidades de liberaciones de materiales radiactivos o de exposición, y mitigar las consecuencias de cualquier liberación o exposición real;
- en relación con esas mismas categorías de amenaza, adoptar también disposiciones relativas a la prestación de asistencia técnica al personal de explotación, la existencia de grupos encargados de mitigar las consecuencias, la ubicación del equipo, el personal encargado de dirigir las medidas de mitigación,

la pronta obtención de asistencia de los servicios médicos, de policía y de lucha contra el fuego fuera del emplazamiento, así como sobre el acceso rápido a la instalación del personal de apoyo desde el exterior del emplazamiento y sobre el suministro de información a dicho personal.

3.4.1. Observaciones

Como tales, las emergencias requieren una respuesta rápida. Por lo tanto, el reconocimiento temprano de un suceso es fundamental, como se indica en la subsección anterior. Sin embargo, en muchas de las emergencias examinadas las medidas de respuesta no se adoptaron con la rapidez necesaria, pese al reconocimiento de que estaba ocurriendo una emergencia. En algunos casos, el personal de la instalación no pudo desempeñar las funciones de emergencia que tenía asignadas debido a las condiciones peligrosas (p.ej., altos niveles de radiación o temperatura). En otros casos, los procedimientos y la capacitación resultaron ineficaces porque no habían abarcado todas las emergencias posibles, solo podían aplicarse una vez diagnosticadas las causas subyacentes de los sucesos [37, 49, 53, 54] o no habían tenido en cuenta el comportamiento de los sistemas o instrumentos en condiciones de emergencia [30, 55]. Estas deficiencias relacionadas con los procedimientos y la capacitación se produjeron aun cuando las condiciones de extremo peligro eran una consecuencia lógica de las emergencias postuladas [49, 54].

En algunas emergencias ocurridas dentro de las instalaciones, la asistencia de las organizaciones desde fuera del emplazamiento se retrasó porque no se habían adoptado disposiciones para facilitarles rápido acceso e información sobre la situación con la que se encontrarían al llegar o sobre las precauciones radiológicas que debían adoptar. Por ejemplo, en el accidente de Chernóbil muchos bomberos acudieron en las primeras horas para responder a la emergencia, pero no tenían capacitación suficiente ni protección personal adecuada, lo cual contribuyó a que recibieran dosis de radiación altas.

3.4.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demostraron la importancia de:

- una vez reconocida la ocurrencia de un suceso, aplicar cuanto antes medidas de mitigación, porque todo retraso puede agravar las consecuencias;
- establecer disposiciones para que los explotadores de las instalaciones y las personas que trabajan con fuentes móviles peligrosas (categoría de amenaza IV) puedan aplicar con prontitud medidas de mitigación;
- en las disposiciones de emergencia, tener en cuenta las condiciones reales —por ejemplo, zonas con niveles de radiación altos— que puedan afectar la funcionalidad de dichas disposiciones y la aplicación de los procedimientos de emergencia;
- en las disposiciones de emergencia, tener en cuenta las necesidades de información y de recursos de cualquier organización de respuesta de fuera del emplazamiento que suministre asistencia en el emplazamiento, así como la necesidad de contactar rápidamente con ella y facilitarle acceso inmediato al emplazamiento.

3.5. ADOPCIÓN DE MEDIDAS PROTECTORAS URGENTES

Los principales requisitos sobre la adopción de medidas protectoras urgentes abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- salvar vidas;
- impedir que se produzcan efectos deterministas graves y evitar dosis;
- modificar las medidas protectoras a medida que se disponga de información;
- poner fin a una medida protectora cuando ya no se justifique mantenerla.

Preparación

- establecer niveles nacionales de intervención optimizados;
- adoptar directrices nacionales para la terminación de las medidas protectoras urgentes;
- suministrar información a los primeros actuantes sobre la necesidad de adoptar con urgencia medidas para salvar vidas e impedir lesiones graves;
- en el caso de instalaciones de las categorías de amenaza I o II, establecer disposiciones relativas a la adopción y aplicación de decisiones fuera del emplazamiento;
- establecer disposiciones para que los oficiales en el exterior del emplazamiento adopten con prontitud medidas protectoras;
- establecer disposiciones para la pronta aplicación de medidas urgentes en la ZMP y/o en la ZPMPU;
- en el caso de los explotadores de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, establecer disposiciones para garantizar la seguridad de las personas presentes en el emplazamiento;
- en el caso de los explotadores de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, adoptar disposiciones para garantizar la disponibilidad de los medios de comunicación requeridos.

3.5.1. Observaciones

Por definición, las instalaciones incluidas en las categorías de amenaza I y II son aquellas para las que se postulan sucesos que pueden dar lugar a que las personas reciban dosis fuera del emplazamiento que exijan acción protectora urgente. Entre las medidas protectoras urgentes figuran la evacuación, el alojamiento en refugios sólidos, el bloqueo del tiroides por yodo estable y la restricción del consumo de agua y alimentos potencialmente contaminados. A raíz del accidente de Chernóbil, en particular, fue preciso aplicar medidas urgentes fuera del emplazamiento [10]. En el accidente de TMI podría haber dado lugar a dosis significativas fuera del emplazamiento si la contención no hubiera impedido que se propagaran los materiales radiactivos liberados por la fusión

del núcleo. Por las dudas, se procedió a la evacuación preventiva de cierto número de personas [9]. También durante el accidente de Tokaimura [12] se aplicó la medida preventiva de evacuar a la población local.

Algunos oficiales locales se mostraron renuentes a ordenar una evacuación porque consideraban, erróneamente, que esa medida provocaría pánico y numerosas víctimas de accidentes de tráfico. Sin embargo, después de casi 50 años de investigación [56, 57, 58] sobre grandes evacuaciones (como las efectuadas en respuesta a emergencias radiológicas graves, a la liberación de una sustancia química tóxica, al hallazgo de una bomba de la segunda guerra mundial no detonada y a la amenaza de huracanes) se ha demostrado que las evacuaciones son bastante frecuentes y pueden realizarse sin provocar pánico ni aumentar el riesgo de accidentes de tráfico con consecuencias fatales [57, 59-61]. La experiencia de las evacuaciones masivas efectuadas a raíz de los huracanes Katrina y Rita demostró la importancia tanto de una gestión cuidadosa del tráfico resultante como del suministro de los vehículos necesarios [62].

En TMI, dos días después de que se fundiera el núcleo, se indicó que las mujeres embarazadas y los niños en edad preescolar debían retirarse a una distancia de cinco millas del emplazamiento [63]. El número de personas que evacuaron la zona fue unas diez veces superior al de las que, según las instrucciones, debían hacerlo [56, 64, 65, 66]. Esto se produjo en gran parte por la difusión de información confusa y contradictoria acerca de la gravedad del accidente, así como porque la población creía que posteriormente habría nuevas evacuaciones. Las medidas protectoras se orientaron a un subgrupo de la población (las mujeres embarazadas y los niños en edad preescolar). Sin embargo, las autoridades no explicaron que el motivo de la evacuación de las mujeres embarazadas era proteger al feto. Por eso muchas mujeres en edad de procrear y familias con niños menores de un año también abandonaron la zona [67].

Las medidas precautorias aplicadas en el accidente de TMI distaron mucho de ser completas. Si hubiera fallado la contención, la exposición de los miembros de la población habría sido considerable. Los altos niveles de radiación dentro de la contención deberían haber indicado la necesidad de reforzar las medidas precautorias. En la investigación de la Comisión Reguladora Nuclear se determinó que habría sido prudente recomendar la evacuación preventiva mientras se estaban produciendo los daños en el núcleo, puesto que en el edificio de contención se estaban acumulando gases y vapores muy radiactivos y solo quedaba una sola barrera –la contención– que protegía a la población cercana, una barrera cuya tasa de fuga, conocida, indicaba que bastaría una presión interna para producir el escape [66]. Sin embargo, las autoridades no habían reconocido adecuadamente las zonas de riesgo fuera del emplazamiento antes de que ocurriera el accidente. Por consiguiente, tuvieron dificultades para determinar a qué distancia de la planta debía evacuarse a la población. Esta percibió esa incertidumbre de las autoridades, lo cual socavó la confianza en su competencia y la disposición a aceptar las medidas precautorias que recomendaban.

Los estudios realizados y la experiencia también indican que las emisiones a la atmósfera durante emergencias muy graves en instalaciones de las categorías de amenaza I y II son imprevisibles [68]. Estas emisiones pueden ocurrir por una vía no monitorizada e iniciarse pocos minutos después de que el núcleo se dañe. Por consiguiente, los explotadores de las instalaciones no pueden prever con certeza la ocurrencia de una emisión importante de

materiales radiactivos, como tampoco su magnitud y duración o sus consecuencias radiológicas [68]. Sin embargo, los estudios también demostraron que si se adoptan medidas precautorias (como la evacuación, el alojamiento en refugios sólidos, el bloqueo del tiroides por yodo estable y la restricción del consumo de agua y alimentos potencialmente contaminados) tras detectar en la instalación condiciones que pueden dañar el combustible (dejarlo descubierto), es posible reducir considerablemente las consecuencias fuera del establecimiento [35, 68]. Después de estas medidas precautorias es preciso efectuar una rápida monitorización de la situación posterior a la emisión y aplicar con urgencia medidas protectoras adicionales basadas en los resultados de dicha monitorización. Se ha demostrado que, cuando puede realizarse con rapidez, la evacuación es la medida más eficaz para proteger a las personas que residen cerca de las instalaciones.

El refugio en edificios es una medida protectora interesante porque puede reducir el riesgo para las personas y evita los trastornos que crea la evacuación. Sin embargo, su eficacia como protección contra las emisiones de materiales radiactivos en suspensión en el aire varía y depende de la estructura de los edificios. Por lo general, solo los grandes edificios de mampostería y los refugios preparados especialmente brindan una protección significativa. Para que sean eficaces también es preciso que los ocupantes sellen la estructura, desconecten todos los sistemas de ventilación antes de que llegue la nube radiactiva y ventilen la estructura tan pronto como esta haya pasado. Ahora bien, algunas pruebas indican que las personas no confían en la eficacia del refugio [59, 69]. Otras investigaciones indicaron que durante una emisión de sustancias químicas tóxicas, en lugar de alojarse en refugios como se les ordenó, al menos 50 % de las personas abandonó la zona [70].

El uso de yodo estable puede reducir considerablemente la dosis de radioyodo al tiroides si se administra antes o poco después de la incorporación [71]. Durante el accidente de Chernóbil, las autoridades polacas distribuyeron 17,5 millones de dosis de yodo estable que solo causaron efectos secundarios graves de corta duración en dos adultos cuya sensibilidad al yodo ya se conocía [72]. En una reunión técnica conjunta OIEA/OMS celebrada en septiembre de 2001 se convino en que “la administración de yodo estable al público es una medida pronta y eficaz para la protección del tiroides, que impide los efectos deterministas y minimiza los efectos estocásticos para las personas de todas las edades. No obstante, su uso está destinado fundamentalmente a la protección de los niños y del embrión o feto” [1, adición del anexo III].

Los casos de cáncer del tiroides inducido por la radiación que ocurrieron después del accidente de Chernóbil se debieron a la exposición interna por consumo de leche y verduras contaminadas con yodo 131. La gran mayoría de estos casos de cáncer inducido por la radiación se registraron en personas que en el momento del accidente residían a más de 50 km de la central; también se detectaron otros casos en personas que residían a más de 300 km [73]. Estos cánceres podrían haberse evitado si las autoridades hubieran ordenado a la población que se abstuviera de beber leche hasta que no se hubiese demostrado que los suministros no estaban contaminados con yodo 131. O bien si se hubiera administrado yodo estable a la población antes de que bebiera leche contaminada. Sin embargo, para ello las autoridades hubieran tenido que disponer de millones de dosis de yodo estable y distribuirlas rápidamente a la población de la zona contaminada.

Además, hubieran tenido que convencer a la población afectada de que el yodo estable es una sustancia segura.

Resulta muy difícil, si no imposible, hacer previsiones en tiempo real sobre el impacto fuera del emplazamiento de una emisión atmosférica grave como base para adoptar medidas protectoras urgentes después de un accidente en una instalación de las categorías de amenaza I o II [9, 19, 49]: no solo por la limitación de los datos disponibles, sino también porque, como han demostrado diversas pruebas [74] y la experiencia [9, 37, 55], las proyecciones de dosis computarizadas no pueden proporcionar una base oportuna y precisa que permita adoptar con prontitud medidas protectoras para las zonas cercanas a la instalación. Con todo, en la mayoría de los casos los instrumentos utilizados en las instalaciones de las categorías de amenaza I y II pueden detectar la aparición de condiciones de accidente graves en la instalación con tiempo suficiente para que los explotadores emitan una alerta a fin de poner en marcha medidas protectoras antes o poco después de la emisión [37, 49, 54, 75]. Sin embargo, es posible que esas medidas no se inicien con la debida rapidez si en los planes de emergencia no se prevén sistemas para adoptar rápidamente decisiones de coordinación con las organizaciones de fuera del emplazamiento [76].

Cuando ha ocurrido una emergencia en una instalación, la rápida detección de niveles de radiación altos (p. ej., con activación de alarmas de radiación/criticidad) y la evacuación inmediata, basada en la capacitación impartida previamente, han permitido salvar vidas [77]. A veces es preciso realizar operaciones de búsqueda y rescate en el emplazamiento. Esas operaciones se han realizado en condiciones muy peligrosas mientras el resto del personal de la instalación llevaba a cabo otras operaciones de emergencia. Normalmente, las personas que están cerca de la zona afectada se ocupan de las actividades de rescate [58]; si no se han previsto en el plan de respuesta, esas actividades pueden desviar la atención y el esfuerzo de otras tareas de respuesta a emergencias [56].

3.5.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- adoptar rápidamente medidas en el momento de la emergencia para impedir que la población reciba dosis altas, lo cual, a su vez, evita tratamientos médicos costosos (p. ej., para lesiones o cánceres del tiroides inducidos por la radiación) que sería preciso administrar si no se adoptaran esas medidas;
- en el caso de las instalaciones incluidas en las categorías de amenaza I y II, adoptar medidas basándose en las condiciones de la planta más que en las proyecciones derivadas de datos sobre emisiones a la atmósfera o procedentes de la monitorización del medio ambiente;
- en el caso de las instalaciones incluidas en las categorías de amenaza I y II y de las actividades incluidas en la categoría de amenaza IV, establecer con antelación criterios para la aplicación de medidas de protección del público evitando de esa manera la adopción de decisiones ad hoc;

- coordinar planes de emergencia donde figuren estos criterios para la adopción de medidas protectoras urgentes con todas las autoridades competentes en materia de respuesta a emergencias.

Las enseñanzas también indican que:

- las preocupaciones acerca de la posibilidad de que cunda el pánico y aumente el riesgo de accidentes de tráfico no deben impedir que la institución competente decida llevar a cabo la evacuación para proteger a la población;
- las dosis de yodo estable deben administrarse rápidamente para evitar la incorporación de radioyodo por el tiroides, si bien su distribución puede entrañar problemas logísticos importantes si la población afectada es numerosa;
- las medidas protectoras aplicadas con más frecuencia tras la detección de una emergencia grave (emergencia general) en instalaciones de las categorías de amenaza I o II son la evacuación oportuna, el bloqueo del tiroides por yodo estable y la restricción del consumo de agua y alimentos potencialmente contaminados, seguidas de cerca por la monitorización temprana y la adopción de otras medidas protectoras urgentes después de una emisión. Estas medidas permiten reducir considerablemente las consecuencias fuera del emplazamiento [35, 68]. Sin embargo, en caso de que no sea viable realizar la evacuación con prontitud, el refugio también puede ser una contramedida eficaz, pero debe aplicarse con cautela, teniendo en cuenta la naturaleza de la emergencia y la estructura de los edificios. Solo puede recurrirse al refugio como medida temporal;
- la estrategia de protección que haya de aplicarse en caso de que ocurra una emergencia debe decidirse con antelación teniendo en cuenta las características del emplazamiento y de la instalación, así como los conocimientos sobre la eficacia de las distintas medidas protectoras. En el caso de las instalaciones de la categoría de amenaza I, como los grandes reactores nucleares o las instalaciones con grandes cantidades de combustible gastado, una estrategia de respuesta eficaz para una emergencia que abarque el daño del núcleo o del combustible en la piscina de combustible gastado, consistiría en lo siguiente:
 - aplicar medidas precautorias en los alrededores (en un radio de 3 a 5 km)¹⁶ tan pronto como se detecten en la instalación condiciones que es probable que provoquen daños en el núcleo o en el combustible gastado, sin esperar a disponer de proyecciones de dosis (demasiado lentas e inseguras);
 - rápidamente (en un plazo de horas) efectuar una monitorización y empezar a aplicar medidas protectoras urgentes apropiadas (p. ej., la evacuación) en un radio de 30 km¹⁷ alrededor de un gran reactor;

¹⁶ La denominada “zona de medidas precautorias (ZMP)”.

¹⁷ La denominada “zona de planificación de medidas protectoras urgentes (ZPMU)”.

- suspender rápidamente el consumo de productos agrícolas locales¹⁸ –leche de animales que se alimenten de pastos contaminados o se abreen de aguas contaminadas en un radio de 300 km¹⁹– hasta efectuar los correspondientes muestreos y análisis;
- en un plazo de días, monitorizar la deposición en el suelo y aplicar medidas protectoras iniciales (p.ej., el realojamiento) en un radio de entre 250 y 300 km;
- a fin de reducir la probabilidad de que se produzcan efectos radiológicos en la salud de la población en caso de una emergencia grave, es fundamental establecer disposiciones para adoptar con prontitud (en un plazo de una hora a contar desde el momento en que se sobrepasen los criterios preestablecidos) decisiones relativas a las medidas precautorias y las medidas protectoras urgentes, y notificar posteriormente a la población [35, 68];
- si bien durante una emergencia la atención debe centrarse en la aplicación de medidas para mitigar las consecuencias, también es preciso establecer criterios para determinar cuándo se puede poner fin a las medidas protectoras. Naturalmente, las personas evacuadas desearán volver a casa y reanudar sus actividades. Así pues, si se han aplicado contramedidas, será preciso evaluar las zonas afectadas utilizando criterios preestablecidos para levantar gradualmente dichas contramedidas.

3.6. SUMINISTRO DE INFORMACIÓN, INSTRUCCIONES Y AVISOS AL PÚBLICO

Los principales requisitos sobre suministro de información, instrucciones y avisos al público abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- alertar e informar prontamente al público;

Preparación

- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, adoptar disposiciones para la alerta temprana y el suministro de instrucciones sobre la respuesta a la población y las entidades de fuera del emplazamiento (p. ej., granjas, centros de distribución de alimentos, etc.) y las situadas en la ZMP, la ZPMPU y el radio de planificación de la restricción alimentaria.

3.6.1. Observaciones

Durante los primeros días de la emergencia de TMI, diversas fuentes oficiales –el emplazamiento donde ocurrió la emergencia, el parlamento del estado y las sedes

¹⁸ Los productos agrícolas locales son los que se cultivan en espacios abiertos que pueden resultar contaminados directamente por la emisión y que se consumen en el lapso de pocas semanas (p. ej., las verduras).

¹⁹ La zona denominada “radio de planificación de la restricción alimentaria”.

regional y nacional del órgano regulador– difundieron simultáneamente evaluaciones de la situación a los medios de comunicación y a la población. En muchos casos se trataba de evaluaciones erróneas, incoherentes o engañosas que no estaban actualizadas ni respondían a las preocupaciones inmediatas de la población local. Esto generó confusión e inquietud en la población y mermó su confianza en los oficiales. El problema se subsanó posteriormente, cuando el Presidente de los Estados Unidos ordenó que todas las evaluaciones oficiales procedieran de una única fuente de información oficial establecida en una instalación cercana al lugar del accidente [78].

En la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se indica específicamente la necesidad de que, en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I y II, se adopten disposiciones, antes y durante las operaciones, para proporcionar información a los grupos de población estables, transeúntes y especiales. En el caso de las instalaciones de la categoría de amenaza III, ocurrieron emergencias que no entrañaban riesgos significativos para la población fuera del emplazamiento, pese a lo cual cundió la preocupación por el posible riesgo radiológico debido a la difusión de informes imprecisos y a las conjeturas de los medios de comunicación [79, 80]. Puesto que previamente no se habían adoptado medidas para informar a la población sobre los riesgos de la instalación, los residentes en la zona carecían de elementos para evaluar los informes de los medios de comunicación. Por consiguiente, perdieron confianza tanto en las autoridades como en el explotador de la instalación.

El accidente de Goiânia (relacionado con una fuente perteneciente a la categoría de amenaza IV) también demostró la necesidad de tener en cuenta la demanda de información pública en las emergencias radiológicas. Desde el día en que se descubrió la contaminación radiactiva creció la preocupación del público y el interés de los medios de comunicación. Ante la falta de información clara por parte de las autoridades, se propagaron rumores. Durante la primera semana, aproximadamente, no hubo un encargado de prensa oficial con personal de apoyo adecuado. De manera que tanto el público como los medios de comunicación pululaban alrededor del personal que intentaba afrontar la emergencia distrayéndolo de sus tareas fundamentales. Las autoridades tardaron varios días en controlar el accidente y luego se reconoció que una causa importante de ese retraso había sido la mala gestión de las relaciones con la prensa y el público en la etapa inicial. Cuando más tarde se destinaron recursos para subsanar ese fallo, se tardó cierto tiempo en reestablecer la confianza de la población en las medidas adoptadas por las autoridades [13].

Esos problemas de comunicación no se plantean únicamente en las emergencias radiológicas. En el accidente de Bhopal [81], relacionado con una emisión de isocianato de metilo, se activó una sirena de advertencia, lo cual, en lugar de hacer que la población se alejara del emplazamiento y tomara precauciones, tuvo por efecto atraerla para ver qué pasaba.

En general, los explotadores de instalaciones donde ocurrieron emergencias que podían entrañar un peligro en la comunidad que residía alrededor de la instalación, habían evitado, al parecer, la difusión de información anticipada sobre las medidas previstas para casos de emergencias. Su comportamiento obedecía al deseo de no alarmar a la población de la zona.

Antes del accidente de TMI, el explotador de la planta había utilizado los programas de información pública para persuadir a la población local de que la energía nucleoelectrica era fiable y segura. Entre los riesgos que entrañaba la planta solo se mencionaban las exposiciones rutinarias y a la población se le decía que era imposible que ocurriera un accidente grave. En consecuencia, esta no supo qué debía hacer cuando sucedió el accidente.

Todas las emergencias graves, e incluso las de escasa gravedad, suscitan considerable interés en la población y los medios de comunicación. De hecho, ya es habitual que, cuando sucede una emergencia, los medios de comunicación acudan rápidamente al lugar donde ha ocurrido. Esto puede aumentar la presión sobre los encargados de gestionar la respuesta. Sin embargo, también tiene la ventaja de posibilitar el suministro de información clara a los medios de comunicación. En el caso de los huracanes Katrina y Rita, la población recurrió en gran medida a esos medios para mantenerse informada [62]. En el caso de la emergencia de TMI, hasta que –dos días después del accidente– se emitió una recomendación sobre la aplicación de medidas protectoras, los residentes en la zona siguieron atentamente las noticias que difundían los medios de comunicación. En otras emergencias se observaron conductas similares [82].

El incidente de Londres relacionado con el polonio 210 [33] despertó gran interés en la población y los medios de comunicación. Se tuvieron en cuenta las enseñanzas extraídas de emergencias anteriores y se desplegaron esfuerzos considerables tanto para informar rápidamente al público sobre la naturaleza y magnitud de los peligros como para garantizar la difusión de informes fidedignos durante este prolongado incidente. Entre las medidas tempranas más importantes figuraron la publicación de documentos de preguntas y respuestas en un sitio web (con enlaces a los sitios pertinentes) y la celebración de una conferencia de prensa para suministrar la información disponible sobre lo ocurrido (hasta donde se conocía), anunciar las medidas de respuesta previstas y relativizar los peligros que se planteaban. Para esto último era fundamental transmitir a la población el mensaje de que el polonio 210 no entrañaba un peligro radiológico externo sino que solo era peligroso si se incorporaba al organismo.

Era importante reconocer las necesidades y los plazos de los medios de comunicación y facilitar personal para las entrevistas e imágenes de fondo para los programas de televisión, por ejemplo, imágenes de los laboratorios donde se realizaban los análisis de orina. Si bien esta labor planteaba problemas de logística y de recursos humanos, se la consideró necesaria y eficaz para llevar la iniciativa en el fomento y mantenimiento tanto de la confianza como de la comprensión del público.

Se establecieron mecanismos para garantizar la coordinación entre los comunicados de prensa que difundían diariamente los distintos organismos participantes y presentar una visión unificada de la situación. Paralelamente a la respuesta de salud pública había una investigación penal emprendida por la policía, de manera que era preciso hallar un equilibrio entre el respeto de la confidencialidad de la información derivada de esa investigación y la necesidad de informar a la población. Cuando estaba en juego la seguridad de la población, se daba precedencia a la necesidad de mantenerla informada.

Uno de los instrumentos fundamentales de la interacción con el público fue el servicio NHS Direct (una línea telefónica de asistencia del Servicio Nacional de Salud (NHS) que funciona las 24 horas). En el marco de las disposiciones en materia de respuesta a

emergencias relacionadas con todo tipo de problemas de salud pública, este servicio actuaba como centro de ayuda a los miembros de la población que telefoneaban para obtener información. Existían *scripts* algorítmicos con preguntas y respuestas para emergencias relacionadas con incidentes nucleares y radiológicos, pero, debido a la singularidad del incidente relacionado con el polonio, hubo que adaptarlos rápidamente. La investigación policial y las actividades de respuesta al incidente permitieron detectar con rapidez diversos lugares donde las personas que los hubiesen visitado en determinadas fechas podían haber incorporado polonio 210. Como parte del proceso de identificación de las personas que podía ser necesario someter a una evaluación de la incorporación y la dosis, se difundió por los medios de comunicación un llamado para que esas personas se pusieran en contacto con el servicio NHS Direct.

3.6.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- incluir la necesidad de informar y alertar a la población en los planes de respuesta a emergencias para las instalaciones de las categorías de amenaza I y II;
- proporcionar información sobre las medidas protectoras que deben adoptarse cuando ocurra una emergencia; en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I y II, dicha información debe proporcionarse a la población de las zonas que podrían verse afectadas antes de que ocurra cualquier emergencia. Esto fomentará la confianza —la certeza de que los oficiales se toman a pecho los intereses de la población— y, de esa manera, contribuirá a mejorar el cumplimiento de las recomendaciones cuando ocurra una emergencia. Además, también redundará en una mayor comprensión de los sistemas utilizados para alertar a la población en caso de emergencia;
- adoptar un enfoque coordinado para el suministro de información a los medios de comunicación; esto debe preverse en los planes de emergencia.

Las enseñanzas también indican lo siguiente:

- es preciso tener en cuenta la demanda de información pública sobre los sucesos que ocurran en instalaciones de las categorías de amenaza III, aunque solo sea para garantizar la difusión de información correcta y disipar temores injustificados;
- es preciso estudiar con antelación los medios que han de utilizarse para proporcionar información al público en caso de que ocurra una emergencia relacionada con una actividad de la categoría de amenaza IV;
- la calidad de la información suministrada a las personas que se encuentren en situación de riesgo determina en gran medida su capacidad de protegerse. La aplicación de medidas protectoras por la población tras escuchar una señal de advertencia (p. ej., un toque de sirena) es mucho más probable cuando a continuación se emite un mensaje de aviso (p. ej., por altavoces o a través de la radio) para indicar la naturaleza de la amenaza, las zonas de riesgo (que requieren la adopción de medidas protectoras) y las zonas exentas de riesgo (que no

requieren esas medidas). El mensaje debe indicar el lugar del suceso, la naturaleza del peligro radiológico y la gravedad y el grado de apremio de la amenaza. Es fundamental que en el mensaje se describan los límites políticos y geográficos de las zonas de riesgo para facilitar su reconocimiento por la población local, que se hagan recomendaciones específicas sobre las medidas que deben adoptar las personas para protegerse y que se indique cuál es la autoridad facultada para formular esas recomendaciones. También es importante que los mensajes sean claros y coherentes y que se reiteren;

- teniendo en cuenta la probabilidad de que las personas que atraviesen las zonas afectadas por una emergencia no entiendan las señales de advertencia ni conozcan los puntos de referencia locales, es preciso establecer mecanismos específicos para ponerse en contacto con ellas y proporcionarles orientación;
- la utilización eficaz de los medios de comunicación (p. ej., las emisoras de radio locales) puede ser el principal método de aviso en el caso de emergencias en lugares imprevistos –categoría de amenaza IV– o bien complementar el uso de otros sistemas de aviso.

3.7. PROTECCIÓN DE LOS TRABAJADORES DE EMERGENCIA

Los principales requisitos sobre protección de los trabajadores de emergencia abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- adoptar disposiciones para proteger a los trabajadores de emergencia.

Preparación

- adoptar disposiciones para designar como trabajadores de emergencia a personas que puedan participar en una intervención con el fin de salvar vidas, evitar una gran dosis colectiva o impedir la evolución de situaciones catastróficas;
- designar como trabajadores de emergencia a las personas llamadas a participar en la respuesta en una instalación de las categorías de amenaza I, II o III, o en la ZMP o la ZPMPU;
- informar a los primeros actuantes de los riesgos de exposición radiológica y del significado de las señales y los rótulos;
- adoptar orientaciones nacionales para la gestión, el control y el registro de las dosis recibidas por los trabajadores de emergencia;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, determinar las condiciones peligrosas previstas en que los trabajadores de emergencia puedan tener que desempeñar sus funciones;
- adoptar disposiciones para proteger a los trabajadores de emergencia;

- aplicar el sistema completo de protección ocupacional una vez finalizada la fase emergencia;
- comunicar a los trabajadores afectados las dosis y los riesgos una vez finalizada la intervención;
- indicar en los planes de emergencia a la persona responsable de asegurar el cumplimiento de los requisitos para la protección ocupacional.

3.7.1. Observaciones

La extrema gravedad del accidente de Chernóbil requirió la adopción de medidas heroicas. Los trabajadores entraron en el edificio dañado para rescatar a sus compañeros lesionados. Además, había que evaluar la cantidad y el tipo de radiación emitida a la atmósfera. Para ello se utilizó un avión que atravesó la nube radiactiva y sobrevoló el emplazamiento. También se intentó sofocar el incendio y reducir los niveles de radiactividad arrojando directamente materiales desde helicópteros al agujero del techo. Estas actividades esenciales no se podrían haber realizado sin sobrepasar los límites de dosis anuales.

Durante el accidente muchos trabajadores de emergencia, entre ellos miembros de la brigada de bomberos fuera del emplazamiento, resultaron expuestos a dosis de radiación muy altas, que en algunos casos fueron letales. Esto ocurrió, en parte, porque la capacidad de los instrumentos de monitorización quedó superada, no se proporcionaron medios para medir en forma continua las dosis a las personas y la ropa protectora y la capacitación impartida resultaron inadecuadas. La ropa antiincendios normal no proporciona protección adecuada contra la radiación beta; esta radiación provocó quemaduras graves y en algunos casos contribuyó a la muerte de las personas afectadas.

En TMI, la necesidad de realizar operaciones de respuesta y las condiciones peligrosas podrían haberse previsto sobre la base de estudios relativos a accidentes anteriores. En todo caso, faltaron instrumentos de exploración de alto rango, dosímetros de lectura directa de alto rango y equipo de protección respiratoria.

La respuesta al accidente de Goiânia duró varios meses y los trabajadores de emergencia participaron en numerosas actividades sumamente estresantes. Algunos tuvieron que realizar actividades hospitalarias de protección radiológica en estrecho contacto con las víctimas del accidente y, en algunos casos, efectuar una monitorización de la radiación durante las autopsias de las cuatro personas fallecidas. Años después del suceso aún persistían los efectos psicológicos en las personas que habían participado en la respuesta a la emergencia [83].

Una vez concluida la fase de emergencia en los accidentes de Chernóbil y de Goiânia pasaron varios meses antes de que se estableciera un sistema de protección radiológica para el gran número de trabajadores que participaron en la fase posterior a la emergencia. En el caso de Chernóbil, el seguimiento médico de las personas que participaron en las operaciones de emergencia y posteriores a la emergencia se vio dificultado por la falta de registros detallados sobre las dosis que habían recibido.

Las dosis recibidas por los trabajadores de emergencia que participan en la recuperación de fuentes fuera de control se pueden reducir al mínimo estableciendo un sistema de protección radiológica aplicable desde el principio de las operaciones de recuperación. Esto abarca la localización precisa de la fuente, la adquisición de los recursos necesarios –como elementos de blindaje, dosímetros y contenedores blindados–, la determinación de los medios para reducir al mínimo las dosis durante la recuperación, y el ensayo de las tareas de recuperación [21, 25].

3.7.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- proporcionar con antelación a los trabajadores de emergencia información clara y cabal sobre los riesgos y, en la medida de lo posible, impartirles capacitación sobre las posibles medidas que deban aplicarse;
- proporcionar a los trabajadores de emergencia equipo protector y de monitorización adecuado, que esté disponible rápidamente y en cantidad suficiente para la emergencia postulada;
- tener en cuenta las necesidades de dichos trabajadores en el plan de emergencia;
- evaluar y registrar de manera apropiada las dosis recibidas por los trabajadores de emergencia con miras a su ulterior atención médica.

Las enseñanzas también indican que una emisión de materiales radiactivos puede causar exposiciones tanto internas como externas. Por consiguiente, es posible que los dosímetros individuales de lectura directa, que solo suelen medir la exposición a la radiación externa penetrante, no proporcionen una medida suficiente del peligro y que, por lo tanto, se necesiten criterios adicionales para la gestión de la exposición de los trabajadores de emergencia.

3.8. EVALUACIÓN DE LA FASE INICIAL

Los principales requisitos sobre evaluación de la fase inicial abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- evaluar la magnitud y la evolución probable de las condiciones peligrosas a lo largo de toda la emergencia;
- efectuar una monitorización radiológica, recoger muestras y evaluarlas;
- poner la información a disposición de todas las organizaciones de respuesta.

Preparación

- en el caso de los explotadores de prácticas o fuentes de la categoría de amenaza IV, adoptar disposiciones para caracterizar la situación, iniciar medidas, identificar a las personas potencialmente expuestas y comunicarse con las organizaciones de respuesta fuera del establecimiento;

- en el caso de los explotadores de instalaciones de las categorías I, II o III, adoptar disposiciones para evaluar las condiciones y las exposiciones, y utilizar esta información en relación con las medidas protectoras;
- adoptar disposiciones para la pronta evaluación de las condiciones radiológicas en la ZMP y la ZPMPU a efectos de determinar las medidas protectoras urgentes que sea preciso aplicar;
- en el caso del grupo de especialistas en materia de radiaciones que preste asistencia a las entidades encargadas de la respuesta inicial, adoptar disposiciones para determinar los radionucleidos y definir las zonas en las que se requieran medidas protectoras;
- adoptar disposiciones para asegurar el registro y mantenimiento de la información.

3.8.1. Observaciones

Si bien en algunas emergencias desde las primeras fases de las actividades de respuesta se dispone de datos acerca de la naturaleza del suceso y sus posibles consecuencias, en muchas situaciones los datos pertinentes solo se conocen después de cierto tiempo y por medio de una variedad de fuentes y acciones. En consecuencia, es importante conocer los datos fundamentales y disponer de mecanismos claros para combinar estas corrientes de datos y obtener una imagen de conjunto. Por ejemplo, en el incidente de Londres relacionado con el polonio 210, el dato inicial disponible era la incorporación de esta sustancia por la persona envenenada, junto con algunos detalles sobre los lugares donde había estado en las semanas precedentes. La evaluación del riesgo inicial indicó que existía un riesgo significativo de salud pública debido a la posible propagación de la contaminación a raíz de los sucesos que condujeron al envenenamiento, ya fuese por residuos de la sustancia utilizada o por fluidos corporales de la víctima. En esa etapa no era posible asegurar que se tratara de un suceso aislado o que hubiera una sola víctima. Se elaboró rápidamente una estrategia para poner en marcha la respuesta de salud pública [33]. En esta estrategia se asignó prioridad a verificar con los demás hospitales de la zona si no había otras víctimas que presentaran o hubiesen presentado los mismos síntomas, y a efectuar una monitorización radiológica de los ambientes cuya contaminación era más probable, p. ej., la vivienda de la víctima, los hospitales donde había recibido tratamiento y los lugares donde constaba que había estado.

La monitorización temprana de la contaminación en los lugares señalados indicó la existencia de niveles de radiación que confirmaban las posibilidades de amenaza para la salud pública, pero también determinó que, en lugar de haberse propagado, la contaminación era fragmentaria y estaba depositada sobre todo en superficies de los lugares afectados. Esto ayudó a afinar la evaluación general del riesgo para luego concentrarse en la evaluación de los distintos mecanismos de transferencia y propagación de la contaminación y de incorporación del material radiactivo. Sobre esa base se elaboraron cuestionarios de selección para reconocer los grupos de personal, clientes y visitantes de hoteles, restaurantes y oficinas que pudieran haber sufrido el mayor riesgo de exposición y a los que se debía someter a monitorización radiológica individual mediante una técnica basada en el análisis de orina. A medida que avanzaba la

investigación policial se fueron determinando nuevos lugares que debían incluirse en la monitorización. La combinación de estas corrientes de datos en la principal organización de respuesta de salud pública permitió determinar modelos de transferencia de la contaminación que ayudaron a afinar las evaluaciones del riesgo y, a su vez, aportaron datos a la investigación policial.

Puesto que en la respuesta al incidente participó un gran número de organizaciones, era importante elaborar una imagen coherente de la situación y coordinar las actividades de respuesta. Esta labor se llevó a cabo bajo la dirección de un órgano gubernamental, el Comité de Contingencias Civiles (CCC), en el que estaban representadas las diferentes organizaciones de respuesta. Una contribución fundamental al Comité fue la elaboración de un cuadro compartido de información basado en los informes sobre la situación que cada organismo debía presentar dos horas antes de la reunión. Durante ese tiempo se podían subsanar las posibles discrepancias en los datos y el Comité podía concentrar su labor en la estrategia de respuesta. Cualquier noticia de último momento o actualización importante podía comunicarse durante la reunión.

3.8.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- la evaluación de la magnitud y el alcance de un problema es un proceso evolutivo, lo cual significa que las entidades encargadas de la respuesta deben seguir evaluando el problema para comprobar la validez de la evaluación inicial y vigilar los cambios de las condiciones.

3.9. GESTIÓN DE LA RESPUESTA MÉDICA

Los principales requisitos sobre la gestión de la respuesta médica abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- en el caso del facultativo médico o de alguna otra parte responsable, notificar la presencia de síntomas médicos de exposición a la radiación;
- dar tratamiento especializado a toda persona que reciba una dosis que pudiera tener efectos deterministas graves en su salud;
- adoptar medidas para detectar cualquier aumento de los casos de cáncer en los trabajadores de emergencia y en la población.

Preparación

- adoptar disposiciones a fin de que el personal médico tenga conocimiento de los síntomas médicos, así como de los procedimientos de notificación y de otras medidas;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, adoptar disposiciones para tratar a los trabajadores víctimas de contaminación o sobreexposición;

- en el caso de las entidades jurisdiccionales comprendidas en las zonas de emergencia de una instalación de la categoría de amenaza I, contar con un plan de control médico para efectuar el cribado;
- adoptar disposiciones en el plano nacional con el objeto de tratar a personas afectadas por exposición o contaminación;
- adoptar disposiciones para identificar y someter a vigilancia y tratamiento médico a largo plazo a aquellos grupos de personas que estén en riesgo por un aumento discernible de la incidencia de cánceres.

3.9.1. Observaciones

Algunas emergencias ocurridas en instalaciones de las categorías de amenaza III y IV fueron descubiertas por los médicos que trataron a las víctimas. El primer tipo de emergencias abarca accidentes como los de Costa Rica [20] y San Salvador [14], relacionados con pacientes de radioterapia y con una instalación de irradiación, respectivamente, mientras que los accidentes de Goiânia [13], Tailandia [25] y Turquía [21] fueron emergencias del segundo tipo. Como los médicos locales no están familiarizados con el diagnóstico de las lesiones radiológicas, en muchos casos transcurrió cierto tiempo hasta que se sospechó que había habido exposición a radiaciones. Posiblemente, un diagnóstico precoz de la causa de las lesiones hubiera evitado más lesiones o muertes.

Asimismo, al no haberse diagnosticado correctamente la causa de las lesiones se indicaron tratamientos inadecuados. Por ejemplo, el médico que efectuó el examen anual de la persona que había estado expuesta a dosis altas en ambas manos no diagnosticó correctamente el síntoma de exposición radiológica, a pesar de que la víctima le había mencionado la posibilidad de haber estado expuesta a radiaciones [17]. Trascurrieron otros 14 días hasta que se diagnosticó la exposición radiológica aguda.

Es bien sabido que las lesiones radiológicas evolucionan con el tiempo y afectan a los tejidos profundos. De ahí la importancia de la información sobre las características de la dosis recibida por el paciente. Sin embargo, en algunos casos los médicos no lo comprendieron: consideraron que esas lesiones solo requerían tratamiento convencional administrable a nivel local y no formularon pronóstico sobre el tejido expuesto basadas en las dosis [17]. Esto determinó la indicación de un tratamiento incorrecto (p. ej., para salvar el tejido) y retrasó el suministro del tratamiento adecuado. Los médicos que después de los accidentes relacionados con irradiadores ocurridos en Italia en 1975 [29] y en San Salvador en 1989 [14] trataron las lesiones inducidas por la radiación no disponían de una descripción de los síntomas iniciales ni de información suficiente para reconstruir la dosis. En el caso del accidente de San Salvador, los pacientes fueron enviados posteriormente a otro país que contaba con personal médico más experimentado y mejores instalaciones.

Cuando se produce una sobreexposición grave, el tratamiento puede abarcar la administración de fármacos especiales, que no suelen estar disponibles, así como el suministro de terapia sustitutiva y la intervención quirúrgica, justificada por síntomas clínicos y pronóstico basadas en la reconstrucción de la dosis. En el mundo solo hay unos

pocos centros médicos con suficiente experiencia en el tratamiento especializado de las lesiones inducidas por la radiación. Sin embargo, según la gravedad de la lesión, y si el diagnóstico es adecuado y se consulta con expertos, también sería posible tratar eficazmente algunas de esas lesiones en hospitales locales. Esto tendría la ventaja de reducir el estrés psicológico que sufriría el paciente si tuvieran que enviarlo a otro país para recibir tratamiento.

En la emergencia de San Salvador la cooperación entre varias organizaciones gubernamentales e internacionales para el suministro de conocimientos especializados sobre tratamiento médico y dosimetría se retrasó porque para solicitar esa asistencia se siguieron los procedimientos administrativos normales [14].

En todo caso, la cooperación y la asistencia internacionales son fundamentales para afrontar los problemas que plantea la gestión médica de los casos de sobreexposición.

Cuando ocurre una emergencia radiológica grave, como en los accidentes de Chernóbil o de Goiânia, es necesario efectuar un cribado de los pacientes. En la respuesta al accidente de Goiânia, las autoridades implantaron un sistema de servicios médicos de tres niveles: uno centrado en la descontaminación, otro para atender a los pacientes que habían recibido dosis de entre 1 y 2 Gy, y otro para los que habían recibido más de 2 Gy o sufrían lesiones radiológicas locales que requerían aislamiento y terapia sustitutiva. Sin embargo, esta estrategia entrañaba la separación de las familias y el establecimiento de diferentes servicios médicos dotados de médicos y físicos sanitarios con experiencia en el tratamiento de la contaminación. En algunos casos no se disponía de suficiente personal experimentado, en las instalaciones había dificultades para controlar la contaminación y los desechos contaminados y algunos médicos temían el riesgo de exposición a la radiación y de contaminación que pudiera entrañar el contacto con los pacientes [13].

Algunas de las personas que cuando niños estuvieron expuestas a radioyodo como consecuencia del accidente de Chernóbil padecen cáncer del tiroides. Es preciso identificar cuanto antes a las personas afectadas por esta enfermedad, lo cual requiere un seguimiento a largo plazo de la población expuesta. En Belarús, por ejemplo, hay un programa de vigilancia médica de las personas con mayor riesgo de cáncer del tiroides. La tasa de mortalidad entre las personas detectadas mediante este programa es considerablemente menor que la tasa de mortalidad internacional de los pacientes con este tipo de cáncer [84].

Tras el reconocimiento del incidente de Londres relacionado con el polonio 210, una de las primeras preocupaciones se refirió a la posible existencia de otras víctimas con síntomas agudos que aún no se hubieran identificado. La respuesta ante esta posibilidad abarcó la adopción de tres medidas: 1) se estableció contacto directo con todos los hospitales de la zona de Londres para verificar si alguno de sus pacientes presentaban o habían presentado los síntomas pertinentes; 2) el Oficial Médico Jefe del Gobierno emitió una carta de alerta para su distribución por vía jerárquica a todos los profesionales de la salud; y 3) los cuestionarios de cribado utilizados por el servicio NHS Direct y por los grupos de salud pública encargados de los lugares afectados contenían preguntas encaminadas a identificar a las personas que podían presentar los síntomas pertinentes. De esta manera se identificó a 186 personas que era preciso someter a un examen más riguroso, de las cuales 29 fueron enviadas a una clínica especializada para evaluar sus casos.

Afortunadamente, no se encontraron personas que padecieran efectos radiológicos agudos. Sin embargo, las medidas aplicadas eran necesarias para desechar esa posibilidad.

Tanto en el suceso de Goiânia como en el de Londres era posible que un gran número de personas hubieran incorporado materiales radiactivos debido a la propagación de la contaminación. En ambos casos fue necesario elaborar programas tanto de cribado y de monitorización radiológica individual, para vigilar la salud de las personas, como de información destinada a tranquilizar al público general, junto con la monitorización radiológica del medio ambiente para la evaluación permanente del riesgo durante la respuesta, es decir, la determinación de la naturaleza y las consecuencias de esos sucesos. Los radionucleidos detectados en ambos casos, cesio 137 (un emisor beta/gamma) y polonio 210 (un emisor alfa), plantearon problemas diferentes en materia de cribado, monitorización y gestión de pacientes. Esas experiencias demostraron la importancia de contar con planes para abordar estos problemas y disponer de las capacidades básicas para su aplicación en diversos tipos de situaciones.

En el accidente de Goiânia la labor de monitorización abarcó a un total de 112 000 personas, incluidas las que se sometieron voluntariamente a ese examen (para quedarse más tranquilas). La radiación gamma por cesio 137 facilitó técnicamente la selección con monitores portátiles, pero hubo que resolver importantes problemas de logística y asignar recursos considerables. En el caso de las personas que podían haberse contaminado se efectuó un bioensayo de muestras de orina y/o materias fecales para evaluar las dosis. A tal efecto se enviaron muestras activas a laboratorios de calidad reconocida situados a más de 1 000 km de distancia, lo cual provocó retrasos en la recepción de los resultados, además de diversos problemas logísticos. En la Ref. [13] se llegó a la conclusión de que había que estudiar la posibilidad de incluir en los planes de preparación para emergencias la disponibilidad de equipo transportable para bioensayo y monitorización del cuerpo entero, así como de especialistas capacitados para adaptar los procedimientos normales a las situaciones anormales. Posteriormente, muchos países mejoraron su capacidad en esta esfera.

En el incidente de Londres relacionado con el polonio 210, debido a la naturaleza de esta sustancia –un emisor alfa casi puro– se plantearon problemas de otro tipo. La selección no podía basarse en una monitorización externa, sino en la determinación de los lugares donde habían estado las personas y en sus actividades. Gracias a la monitorización del medio ambiente, el número de lugares donde era más probable que se hubieran registrado casos de incorporación pudo reducirse de varias decenas a 11, con inclusión de hoteles y restaurantes donde podía haber habido miles de personas afectadas. Para cada uno de esos lugares se estableció un grupo de salud pública que, con la ayuda de especialistas en protección radiológica, elaboraron cuestionarios específicos para cada lugar con el fin de identificar a las personas con mayor riesgo de haber incorporado polonio 210 y efectuar una monitorización individual que abarcaba la evaluación de muestras de orina de 24 horas. Estos grupos se encargaron de la logística para el envío de las muestras de orina a los laboratorios radiológicos y de comunicar a las personas los resultados de las pruebas, además de tranquilizar al personal que prestaba servicio en esos lugares. Esta tarea también se vio dificultada por el hecho de que la lengua materna de muchos empleados de los hoteles no era el inglés. En este caso, la enseñanza extraída indica la conveniencia de recurrir a especialistas en protección no radiológica para relacionarse con el público.

Los integrantes de los grupos de salud pública tenían experiencia en el control de enfermedades transmisibles y en la gestión de incidentes químicos, de manera que sabían cómo tratar con las personas afectadas. Con la ayuda de los especialistas en protección radiológica, esos grupos pudieron realizar una parte de la labor de respuesta que requería el uso de muchos recursos y que, de no ser por su intervención, hubiera absorbido valiosos recursos de protección radiológica, habida cuenta del prolongado período de respuesta a este incidente.

Durante el incidente se planteó a las personas la posibilidad de que la HPA conservara su nombre y otros datos en un registro seguro a largo plazo en previsión de que fuese necesario o útil contactar con ellas en el futuro. Finalmente esta opción se dejó de lado tras comprobar que los niveles de exposición no requerían un seguimiento a largo plazo. Pero en la fase inicial de la respuesta no se disponía de información suficiente para tomar esa decisión. La experiencia de incidentes anteriores no radiológicos había demostrado que si la recogida de datos sobre las personas afectadas no se inicia en una fase temprana resulta difícil obtener esa información en una fase posterior. Por consiguiente, se asignaron recursos para obtenerlos como medida precautoria.

Tanto en el suceso de Goiânia como en el incidente de Londres relacionado con el polonio 210 los pacientes representaban un peligro para las personas encargadas de su atención y tratamiento. En ambos casos había radiactividad en los fluidos corporales: orina, heces, vómito y sudor; en el suceso de Goiânia los pacientes también representan un peligro de exposición externa. En ese caso el personal médico y de enfermería expresó preocupación por su seguridad y tardó cierto tiempo en tranquilizarse; solo una parte del personal tenía suficiente competencia técnica en la materia. Esta experiencia se debe tener en cuenta en relación con los programas de capacitación del personal médico, el suministro de información pertinente a los profesionales médicos y la planificación para emergencias.

En el incidente de Londres el cuidado y tratamiento del paciente comenzó, en gran parte, antes de comprobar su contaminación con polonio 210. Si bien se determinó la presencia de actividad significativa en los fluidos corporales, es interesante señalar que los niveles de contaminación comprobados en los hospitales fueron relativamente bajos, lo cual se atribuye a los estrictos regímenes de limpieza establecidos para prevenir la propagación de infecciones; también en el caso del personal que atendió al paciente los niveles de incorporación fueron bajos (esto se atribuye al empleo rutinario de equipo protector individual y de procedimientos para controlar las infecciones; fuera del paciente, la dosis más alta evaluada correspondió a su esposa, que cuidó de él en su casa durante los primeros días).

Tanto en Goiânia como en Londres se practicaron autopsias cuando se comprobaron niveles de radiactividad altos. Se elaboraron procedimientos de seguridad apropiados y las instalaciones se adaptaron temporalmente para la correcta realización de las autopsias en condiciones de seguridad. Esto demuestra que es preciso establecer disposiciones de emergencia para hacer frente a estas eventualidades.

3.9.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- impartir a los profesionales capacitación para reconocer las lesiones inducidas por la radiación y comprender las dificultades inherentes al tratamiento;
- en el caso de los médicos que participen en el tratamiento de pacientes que hayan sufrido exposiciones capaces de causarles lesiones en los tejidos, o dosis que supongan una amenaza para su vida, consultar prontamente con otros médicos experimentados en el tratamiento de casos relacionados con exposiciones radiológicas graves y, si procede, decidir el traslado del paciente a un hospital apropiado;
- en el caso de los encargados de la respuesta a emergencias, reunir información suficiente para poder reconstruir el perfil de dosis a las personas que hayan sufrido niveles de exposición altos, con el fin de determinar la evolución del daño y el tratamiento necesario. Esta información debe abarcar lo siguiente:
 - a) estimaciones de la dosis recibida en todo el cuerpo o en determinados tejidos,
 - b) fotografías/diagramas de la instalación/práctica donde haya ocurrido el suceso,
 - c) una descripción de la fuente de exposición (p.ej., actividad, radionucleido, tasa de dosis a 1 metro de distancia),
 - d) una descripción detallada de las circunstancias de la exposición (p. ej., ubicación de la persona en cada momento),
 - e) lecturas de todos los dosímetros individuales (todo el personal) u otros dispositivos de monitorización radiológica,
 - f) muestras de las prendas y otros efectos que la persona llevaba al sufrir la sobreexposición,
 - g) una descripción completa de los síntomas clínicos tempranos, con indicación del momento en que hayan aparecido,
 - h) los resultados de un examen médico general de todos los sistemas y órganos, incluida la piel y la mucosa visible,
 - i) hemograma completo para detectar la primera oleada de síntomas relacionados con la exposición;
- en el caso de las autoridades, establecer planes y procedimientos para efectuar el cribado de las víctimas y trasladarlas a instalaciones médicas apropiadas, garantizar la disponibilidad de personal médico suficiente para atender al número de víctimas postulado, reunir datos de dosimetría individual y facilitarlos a los médicos, obtener asistencia de expertos en diagnóstico y tratamiento de lesiones radiológicas, y trasladar a los pacientes que hayan sufrido exposición grave a servicios con experiencia en el tratamiento de esas lesiones;
- incluir en el plan nacional de emergencia disposiciones sobre la pronta solicitud de asistencia a organizaciones internacionales para atender a las víctimas, con arreglo a la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica [51];

- establecer criterios para identificar a los grupos que hayan sufrido niveles de exposición altos y deban ser objeto de seguimiento médico a largo plazo para la detección precoz de cáncer.

Las enseñanzas también indican que es preciso reducir al mínimo el impacto psicológico del tratamiento de las lesiones inducidas por la radiación y que, por lo tanto, el paciente debe recibir dicho tratamiento lo más cerca posible de su casa o en una región que tenga las mismas características de idioma y cultura. Si el tratamiento se administra en otro país, hay que adoptar disposiciones para que pueda acompañarlo algún miembro de la familia.

3.10. NECESIDAD DE MANTENER INFORMADO AL PÚBLICO

Los principales requisitos sobre la necesidad de mantener informado al público abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- suministrar información al público.

Preparación

- adoptar disposiciones para suministrar información al público;
- adoptar disposiciones para coordinar el suministro de información al público.

3.10.1. Observaciones

La experiencia ha demostrado que durante cualquier emergencia tanto el público como los medios de comunicación ejercen mucha presión para que se suministre información. La transmisión de noticias durante las 24 horas no ha hecho más que intensificar esa presión. No es infrecuente que poco tiempo después del anuncio del suceso los medios de comunicación acudan al emplazamiento donde ha ocurrido la emergencia y observen directamente su desarrollo. Además, las personas que piensen que hayan podido resultar directamente afectadas emprenderán sus propias investigaciones, con el consiguiente incremento de dicha presión. Por ejemplo, cuando se estrella un avión la compañía aérea suele habilitar rápidamente un número de teléfono para atender las llamadas de los miembros del público preocupados por la suerte que pueda haber corrido algún familiar o amigo.

Hay muchos casos de emergencias radiológicas en las que se subestimó la demanda de información y al no existir disposiciones precisas para atender esa demanda los encargados de gestionar la respuesta se vieron sobrepasados, con el consiguiente desmedro de su capacidad de responder con eficacia a la emergencia real. Es lo que sucedió, por ejemplo, en los accidentes de TMI (categoría de amenaza I) y de Goiânia (categoría de amenaza IV).

La experiencia también ha demostrado que, al menos a corto plazo, la demanda de información no es necesariamente proporcional a la gravedad de la emergencia tal como la estiman los encargados de gestionarla. Es lo que ocurrió en enero de 1986 en los Estados Unidos de América cuando debido a la rotura de un cilindro de hexafluoruro de uranio (categoría de amenaza III) se produjo una emisión de esta sustancia. Murió un trabajador, pero la contaminación con uranio fuera del emplazamiento no supuso ningún

peligro radiológico significativo para el público. Sin embargo, el suceso despertó sumo interés en los medios de comunicación. Los responsables no estaban preparados para afrontar esa situación y no pudieron salir al paso de las noticias engañosas. La incapacidad de informar a esos medios y facilitar evaluaciones oficiales precisas y coherentes para corregir sus mensajes provocó temores injustificados sobre la posible contaminación entre los residentes de la zona. Por esa razón hubo que efectuar una monitorización radiológica en gran escala con el solo propósito de tranquilizar al público y a los oficiales locales [80].

Este ejemplo también demuestra que si el suministro de información no se gestiona con cuidado las autoridades pueden verse obligadas a emprender medidas mitigadoras de las consecuencias radiológicas de una emergencia que tal vez no sean necesarias. En la respuesta al accidente de Tailandia relacionado con una fuente huérfana, las personas que participaron en la recuperación de la fuente llevaban mandiles plomados para sugerir a los medios de comunicación que estaban debidamente protegidas. Ahora bien, estos mandiles no son eficaces para reducir la tasa de dosis de rayos gamma por cobalto 60 y, sin duda, su utilización entorpeció la labor de los trabajadores [25]. Durante la respuesta a una emergencia relacionada con una fuente perdida en Turquía [21] hubo mucha presión, sobre todo por parte de los medios de comunicación, para que se mitigara el peligro cubriendo la zona donde estaba la fuente con una capa de hormigón. En ese caso los responsables resistieron a la presión porque esta medida habría complicado aún más la operación de recuperación e impedido la localización de otras fuentes.

Sin una gestión cuidadosa de la información es muy probable que los medios de comunicación soliciten la opinión de “expertos espontáneos”, médicos locales y otras personas respetadas por la comunidad. La información confusa, contradictoria y engañosa puede dar lugar a que el público emprenda acciones injustificadas y a veces perjudiciales. En el accidente de TMI muchas más personas que aquellas a las que se había recomendado que lo hicieran optaron por la evacuación; en el accidente de Goiânia, 100 000 personas pidieron que se las sometiera a monitorización aun cuando muchas de ellas ni siquiera procedían de la zona afectada; en el accidente de Chernóbil se practicaron abortos injustificados; tanto en el accidente de Goiânia como en el de Tailandia hubo protestas contra la inhumación de las víctimas.

Debido a las presiones ejercidas durante una emergencia puede suceder que los encargados de proporcionar información al público y a los medios de comunicación no tengan suficientemente en cuenta la necesidad de utilizar un lenguaje fácil de comprender. Durante algunas emergencias los portavoces oficiales utilizaron términos técnicos. Eso puede generar sospechas de que se está reteniendo información y dar lugar a conjeturas. En algunos casos las personas encargadas de las sesiones informativas para los medios de comunicación se seleccionaron sobre la base de sus funciones técnicas o de gestión sin tener en cuenta su capacidad de comunicación. Esto contribuyó a que se cometieran errores al informar sobre los aspectos técnicos de la emergencia y redujo la confianza del público en la credibilidad de las autoridades [82].

Mantener bien informado al público durante la respuesta a emergencias relacionadas con fuentes fuera de control aumenta, al parecer, su confianza y disposición a colaborar [13, 21, 25] y ayuda a limitar la presión para que la emergencia se resuelva rápidamente cuando, en cambio, se necesita más tiempo para estudiar la solución

adecuada. Esto abarca la celebración de sesiones informativas para proporcionar periódicamente a la prensa descripciones oportunas y precisas de las operaciones en curso, corregir la información inexacta y mantener una relación estrecha y de mutuo apoyo con los medios de información. También abarca actividades de mayor amplitud, como la participación en debates, la preparación de información en un lenguaje sencillo y el mantenimiento de un servicio telefónico de control de rumores/información durante las 24 horas.

En el accidente de Goiânia, cuando la necesidad de proporcionar información a los medios de comunicación y al público se volvió más evidente, e incluso apremiante, se destinaron recursos adicionales a tal efecto. Sin embargo, no se había preparado el material informativo necesario y los encargados de la respuesta carecían de capacitación en asuntos relacionados con los medios de comunicación. Con todo, organizaron sesiones informativas para los periodistas de la radio y la televisión, gracias a lo cual estos pudieron describir la situación en un lenguaje sencillo. El público conocía a los periodistas, quienes tenían un cierto grado de credibilidad. Además, se preparó un folleto titulado “Lo que hay que saber acerca de la radiactividad y la radiación”, del cual se distribuyeron 250 000 ejemplares. También se estableció un servicio de consulta telefónica directa accesible durante las 24 horas.

3.10.2. Conclusiones

Los principales objetivos de la información pública en casos de emergencia consisten en:

- velar por que las personas que no se encuentren en situación de riesgo entiendan que su seguridad se está controlando activamente y que, salvo indicación en contrario, no es preciso que adopten medidas protectoras. Esto contrasta con el objetivo del aviso de emergencia, que consiste en velar por que todas las personas que se encuentren en situación de riesgo cumplan oportunamente las recomendaciones de las autoridades en materia de medidas protectoras;
- velar por que la demanda de información pública no interfiera con la gestión de la respuesta a la emergencia.

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- tener especial cuidado en proporcionar al público información oportuna y precisa, de inmediato y en forma continua, con independencia de que su preocupación se considere o no justificada;
- en los planes de emergencia tanto para las instalaciones de las categorías de amenaza I, II y III como para las actividades de la categoría de amenaza IV, incluir disposiciones relativas al suministro de información apropiada al público y a los medios de comunicación;
- coordinar el suministro de información por las autoridades públicas y por los explotadores;
- capacitar al personal de los centros de información para suministrar información al público y a los medios de comunicación de manera clara y sencilla.

3.11. ADOPCIÓN DE CONTRAMEDIDAS EN LA AGRICULTURA, MEDIDAS CONTRA LA INGESTIÓN Y MEDIDAS PROTECTORAS A MÁS LARGO PLAZO

Los principales requisitos sobre la adopción de contramedidas en la agricultura, medidas contra la ingestión y medidas protectoras a más largo plazo abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- adoptar contramedidas en la agricultura y medidas a más largo plazo;
- llevar a cabo una gestión adecuada de los desechos radiactivos y la contaminación;
- poner fin a una medida protectora.

Preparación

- especificar niveles de intervención y niveles de actuación optimizados;
- en zonas con actividades correspondientes a la categoría de amenaza V, tomar disposiciones para la adopción de contramedidas en la agricultura;
- en caso de una emisión importante de material radiactivo procedente de una instalación de las categorías de amenaza I o II, tomar disposiciones para el realojamiento temporal;
- dentro de las zonas de emergencia, adoptar disposiciones para vigilar los vehículos a fin de impedir que la contaminación se extienda;
- adoptar disposiciones para la gestión de los desechos radiactivos;
- adoptar disposiciones para evaluar la exposición recibida por el público y poner esa información a disposición del público.

3.11.1. Observaciones

Después de una emisión accidental de material radiactivo procedente de una instalación de las categorías de amenaza I o II es posible que sea necesario adoptar medidas protectoras relacionadas con el consumo de alimentos producidos en terrenos sobre los que haya pasado la nube radiactiva. Lo más urgente suele ser evitar el consumo de leche contaminada, pero también es preciso considerar la prohibición de otros alimentos en un plazo relativamente breve, en particular las verduras. Asimismo, se deben adoptar, con un calendario de aplicación un poco más largo, medidas protectoras en relación con el consumo de alimentos que puedan estar contaminados al cabo de unos meses, p. ej., la carne. Como se comprobó en el caso del accidente de Chernóbil, es posible que la aplicación de esas contramedidas deba llegar hasta lugares bastante alejados del emplazamiento donde haya ocurrido el accidente, abarcando zonas muy extensas que han de ser objeto de monitorización radiológica ambiental. En la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se indica la necesidad de adoptar disposiciones para aplicar y revisar niveles de intervención operacional (NIO) por omisión. Obviamente, esos NIO se deben establecerse con antelación e incorporar a las disposiciones de emergencia tanto para las

instalaciones de las categorías de amenaza I y II como para las actividades correspondientes a la categoría de amenaza V.

A raíz del accidente de Chernóbil muchos Estados aplicaron controles para los alimentos contaminados. Las concentraciones de actividad empleadas como valores de referencia variaban considerablemente debido a las diferencias en los criterios de dosis y los supuestos de modelización utilizados, que respondían más a presiones políticas que a razones científicas. Esto generó bastante confusión, como resultado de lo cual la Comisión del Codex Alimentarius definió las concentraciones de actividad que debían emplearse como valores de referencia en el comercio internacional de alimentos [85, 86].

En la mayoría de los alimentos las concentraciones de actividad disminuyeron considerablemente al cabo de poco tiempo. Sin embargo, varios países que durante ese período establecieron programas de monitorización de los alimentos aún aplican regularmente esos controles a los alimentos importados, en algunos casos sin haber examinado la necesidad de mantenerlos.

Los valores establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius se aplican únicamente al comercio internacional y no al consumo interno en el país afectado por el accidente, donde es posible que se empleen valores más altos. Sin embargo, no es seguro que esta diferencia esté clara para el público, que tal vez esté dispuesto a aceptar la aplicación de niveles más altos en caso de que ocurra un suceso en su país.

Después del accidente de Chernóbil, el Ministerio de Salud de la antigua URSS adoptó los siguientes límites admisibles de dosis anual al público causada por la exposición accidental: 100 mSv en 1986, 30 mSv en 1987, y 25 mSv en 1988 y 1989. En el caso de los trabajadores de emergencia, los límites admisibles eran los siguientes: 250 mSv en 1986 (para el personal militar: 500 mSv hasta el 21 de mayo de 1986), 100 mSv en 1987, y 50 mSv en 1988 y 1989. El Gobierno de la antigua URSS adoptó inicialmente como criterio para el realojamiento una dosis de por vida de 350 mSv desde 1990. Este valor fue objeto de serias críticas por considerarlo demasiado alto, de manera que no se aplicó. En 1991 se adoptó por ley un criterio más bajo consistente en una dosis de por vida de 70 mSv. Ello supuso un aumento del número de personas residentes en el territorio contaminado que debían ser realojadas. La adopción de un criterio tan bajo puede atribuirse en parte al hecho de que antes de la emergencia no se habían establecido criterios a tal efecto y, por lo tanto, hubo que elaborarlos durante el período de intensa emoción y desconfianza posterior al accidente [88, 87].

En el accidente de Goiânia también resultó muy difícil establecer los NIO para el realojamiento durante la emergencia, por limitaciones de tiempo, presiones políticas y falta de orientación internacional. Ello condujo a la adopción de supuestos demasiado prudentes para elaborar los NIO, lo cual determinó la aplicación de medidas protectoras innecesarias, la generación de cantidades innecesarias de desechos radiactivos y costos innecesarios de descontaminación y disposición final. Además, en lugar de convencer al público de que las medidas adoptadas iban en su interés, le indujo a pensar que el riesgo era mayor del que realmente existía.

Inmediatamente después de que concluyera la fase de respuesta a emergencias en Chernóbil, en Goiânia y en otros sucesos, tanto la población como los oficiales públicos y los medios de comunicación ejercieron intensas presiones para que se adoptaran medidas

a fin de reanudar las actividades normales. En el caso del accidente de Chernóbil, debido a esas presiones se realizaron muchas tareas injustificadas, como la descontaminación de zonas (p. ej., la ciudad de Pripjat) donde se había evacuado a la población, aun cuando se descartaba su regreso en un futuro previsible [89].

Muchos intentos de descontaminar aldeas después del accidente de Chernóbil resultaron ineficaces debido a la falta de una planificación apropiada previa a la emergencia. Estos resultados indujeron a pensar que no valía la pena descontaminar las zonas urbanas. Sin embargo, posteriormente se demostró en la zona de Novozybkov que contramedidas sencillas, como la remoción de la capa superficial del suelo, el uso de técnicas especiales de excavación y la limpieza de los techos, incluso aplicadas entre 10 y 15 años después del suceso, redujeron considerablemente la tasa de dosis externa [90].

Durante la respuesta a la emergencia de Goiânia se efectuaron tareas adicionales de descontaminación después de haberse anunciado el final de la fase de descontaminación, lo cual aumentó la preocupación del público y la desconfianza de los oficiales.

3.11.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- elaborar con antelación los NIO correspondientes a diversas medidas protectoras e incorporarlos a las disposiciones de emergencia;
- utilizar medidas protectoras y NIO genéricos armonizados internacionalmente;
- en caso de que sea necesario modificar los valores durante una emergencia, proporcionar al público explicaciones claras sobre las razones y la oportunidad de ese cambio;
- establecer con antelación métodos y criterios para la descontaminación de distintas zonas (calles, techos, capa superficial del suelo, subsuelo, etc.) a fin de reducir las tasas de dosis;
- no anunciar que se ha completado la descontaminación hasta que una evaluación final confirme que se han logrado las metas en materia de reducción de dosis.

3.12. MITIGACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS NO RADIOLÓGICAS DE LA EMERGENCIA Y DE LA RESPUESTA

Los principales requisitos sobre mitigación de las consecuencias no radiológicas²⁰ de la emergencia y de la respuesta abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- tener en cuenta las consecuencias no radiológicas para cerciorarse de que las medidas sean más benéficas que perjudiciales.

²⁰ Las consecuencias no radiológicas pueden ser psicológicas, económicas y de otra índole.

Preparación

- en el caso de las entidades jurisdiccionales comprendidas en las zonas de emergencia, tomar disposiciones para justificar, optimizar y autorizar diferentes niveles de intervención o de actuación, en relación con contramedidas en la agricultura o medidas protectoras a más largo plazo;
- adoptar disposiciones para responder a la preocupación del público.

3.12.1. Observaciones

Todos los accidentes nucleares (p.ej., el de Chernóbil) y radiológicos (p.ej., el de Goiânia) graves provocaron efectos psicológicos perjudiciales significativos. El temor de las personas a la radiación, junto con la información confusa y contradictoria sobre los sucesos o la falta de información explicativa adecuada, generó desconfianza en las autoridades y los expertos oficiales, y las personas experimentaron una sensación de pérdida de control sobre sus vidas. En consecuencia, a veces se emprendieron acciones inapropiadas, y ocasionalmente perjudiciales, basadas en ideas incorrectas acerca de los riesgos y la manera de reducirlos²¹. Algunas personas que se encontraban cerca de la zona del suceso sufrieron estigmatización y segregación social.

En la antigua Unión Soviética se estableció un sistema de indemnización para reducir la tensión del público y promover la recuperación. Las indemnizaciones se determinaban básicamente teniendo en cuenta el lugar donde vivían las personas en el momento y después del accidente, en vez de considerar el riesgo de efectos en la salud o los impactos tangibles (p. ej., el costo de reasentamiento, la pérdida de bienes o de empleos). Este sistema generó ideas equivocadas acerca de los riesgos sanitarios porque la recepción de compensaciones financieras entrañaba el reconocimiento de la posibilidad de futuros efectos perjudiciales para la salud.

El sistema de indemnización también supuso una carga considerable para los países afectados. El número de personas que solicitaron indemnizaciones relacionadas con el accidente de Chernóbil fue aumentando con el tiempo. El pago de estas indemnizaciones absorbió recursos en detrimento de otros componentes del gasto público [91]. Las políticas de indemnización implantadas después del accidente de Goiânia también crearon problemas: cuando las personas descubrieron que recibirían indemnizaciones por los artículos contaminados pidieron que se adoptaran criterios más restrictivos para definir la contaminación.

3.12.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

²¹ Interferencia en la inhumación de las víctimas, evitación de las víctimas o de las personas procedentes de la zona afectada, negativa a comprar productos procedente de esa zona, negativa a vender pasajes aéreos a personas procedentes de esa zona, abortos motivados por el miedo a los efectos genéticos, negativa a administrar tratamiento médico a las víctimas, evacuaciones espontáneas y uso de fármacos inadecuados.

- considerar y tener en cuenta el impacto psicológico que podrían tener en los miembros del público las medidas adoptadas durante y después de una emergencia grave;
- basar cualquier posible sistema de indemnización en criterios preestablecidos claramente vinculados con los riesgos para la salud y los impactos económicos tangibles.

3.13. REALIZACIÓN DE LAS OPERACIONES DE RECUPERACIÓN

Los principales requisitos sobre la realización de las operaciones de recuperación abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

Respuesta

- planificar la transición de la fase de emergencia a las operaciones de recuperación a largo plazo y a la reanudación de las actividades sociales y económicas normales;
- una vez finalizada la fase de emergencia, aplicar a los trabajadores el sistema completo de requisitos prescritos para la protección ocupacional.

Preparación

- establecer disposiciones para la transición de las operaciones de la fase de emergencia a las operaciones habituales de recuperación a largo plazo;
- establecer un proceso formal para la cancelación de las restricciones y de otras disposiciones.

3.13.1. Observaciones

Cuando los medios de comunicación y el público estiman que la fase de respuesta de emergencia ha concluido ejercen intensa presión para que la comunidad recupere sus condiciones de vida normales. Es probable que entonces los oficiales públicos adopten medidas muy visibles, aunque su eficacia sea mínima o incluso resulten contraproducentes²².

Durante el accidente de Goiânia la estrategia básica de recuperación de las zonas contaminadas consistió en identificarlas, adoptar medidas de realojamiento, descontaminarlas y liberarlas rápidamente para uso irrestricto. Las zonas que no era posible descontaminar en la medida necesaria para autorizar su uso irrestricto se destinaron a usos controlados por las autoridades (p. ej., construcción de plazas públicas pavimentadas). Estas estrategias fueron eficaces para reducir la tensión del público y la alteración de su ritmo de vida.

Los accidentes que causan una contaminación significativa generan inevitablemente grandes cantidades de desechos radiactivos [13, 92]. En Goiânia [13] y en Juárez [93] la determinación de los lugares para almacenar los desechos (de manera temporal o

²² Después del accidente de Chernóbil las actividades de descontaminación realizadas en Pripyat y en otras zonas a las que no iba a regresar la población provocaron dosis innecesarias a los trabajadores.

definitiva) se demoró y generó problemas políticos: ese retraso tuvo efectos adversos en la marcha de todo el proceso de recuperación. Si bien cada situación de accidente tiene sus características propias, la pregunta “¿Qué hacer con los desechos?” siempre reviste una importancia decisiva. Por consiguiente, en la planificación genérica de la preparación se debe incluir un marco para abordar esta cuestión.

En el incidente de Londres relacionado con el polonio 210 la fase de respuesta duró unas seis semanas y se superpuso a la fase de recuperación, que duró varios meses. En la orientación genérica del Reino Unido titulada “Emergency Response and Recovery” [94] se recomienda iniciar operaciones de recuperación con intervención de múltiples organizaciones tan pronto como surja la emergencia y se señala que lo ideal sería que esas operaciones se simultanearan con las actividades de respuesta. Los objetivos consisten en garantizar que las prioridades de recuperación a largo plazo se tengan en cuenta en la planificación y ejecución de la respuesta, que las organizaciones pertinentes de los sectores público, privado y de voluntariado participen lo antes posible en las operaciones de recuperación y que haya continuidad en la gestión de la emergencia cuando se ponga fin a la fase de respuesta.

Ese fue el procedimiento seguido en el caso del incidente de Londres relacionado con el polonio 210: el Grupo de Coordinación Estratégica (SCG), presidido por la policía, adoptó la decisión de establecer un subgrupo –el Grupo de Trabajo de Recuperación (RWG), presidido por el Consejo Municipal de Westminster– que actuó en nombre de las distintas municipalidades de Londres donde había lugares contaminados. Durante las fases iniciales de la respuesta, el RWG elaboró una estrategia marco y diversos procesos para la restauración y dispensa de dichos lugares [95]. Esa estrategia marco debía aplicarse desde el momento en que la policía u otro organismo competente indicaran un lugar potencialmente contaminado hasta la dispensa de dicho lugar para uso público seguro. La finalidad era lograr que cada uno de los lugares que podían estar contaminados con material radiactivo se declarara seguro o que se restablecieran las condiciones adecuadas para su uso público seguro, teniendo en cuenta su utilización prevista y los resultados de las evaluaciones del riesgo específico. Los objetivos del marco consistían en indicar con claridad las líneas de comunicación y de responsabilidades, proporcionar orientaciones acerca del grado de monitorización necesario para caracterizar los requisitos pertinentes sobre contaminación y restauración –teniendo en cuenta también la gestión de los desechos–, fijar prioridades entre los distintos lugares potencialmente contaminados que se hubieran notificado al WCC, proporcionar orientaciones a los propietarios/ocupantes de dichos lugares, y aportar un marco que respaldara la adopción de un enfoque coherente con objeto de restablecer en dichos lugares las condiciones adecuadas para su uso público seguro.

Como parte de sus preparativos para afrontar posibles incidentes químicos, biológicos, radiológicos o nucleares, o relacionados con materiales peligrosos, el Gobierno del Reino Unido ya había establecido el Servicio Gubernamental de Descontaminación (GDS). Este servicio desempeña una función de coordinación y facilitación, proporciona asesoramiento y orientación a los encargados de la descontaminación y evalúa la capacidad de las empresas especializadas del sector privado para realizar las operaciones de descontaminación y garantizar el acceso rápido a sus servicios. De esta manera se asegura la pronta disponibilidad de recursos para llevar a cabo la restauración.

Sin embargo, muchos de los lugares contaminados eran locales comerciales, p. ej., oficinas de hoteles y restaurantes, y la responsabilidad legal por los costos recaía en los propietarios, quienes debían recurrir a su compañía aseguradora. Esto supuso retrasos y creó problemas que tuvo que resolver el Gobierno.

En diez lugares fue preciso realizar tareas de restauración y hasta que concluyeron los trabajos se prohibió el acceso normal a ellos. Esto causó considerables problemas a algunos de sus ocupantes, cuyas actividades se vieron interrumpidas. En unos pocos lugares, después de realizar evaluaciones del riesgo, se autorizó el ingreso bajo control para recuperar elementos que ayudaran a paliar algunos de los problemas.

3.13.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la necesidad de lo siguiente:

- prever la intensa presión de los medios de comunicación y del público para que se restablezcan las condiciones de vida normales, a raíz de la cual las autoridades pueden sentirse inclinadas a emprender actividades que no tengan efecto significativo en la seguridad de la población;
- velar por que las autoridades mantengan un alto grado de credibilidad para facilitar el proceso de recuperación.

4. REQUISITOS SOBRE ELEMENTOS INFRAESTRUCTURALES

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Actualmente, se reconoce en general que la consecución y el mantenimiento de un nivel de seguridad alto dependen de la existencia de una sólida infraestructura jurídica y gubernamental, incluido un órgano regulador nacional con responsabilidades y funciones bien definidas. Muchas emergencias se habrían podido mitigar mejor si hubiera existido una infraestructura adecuada para afrontarlas. No cabe esperar que las funciones de emergencia puedan desempeñarse correctamente si no se ha establecido una infraestructura adecuada de preparación y respuesta a emergencias.

4.2. AUTORIDAD

Los principales requisitos sobre autoridad abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- establecer mediante leyes, códigos jurídicos o estatutos la autoridad para adoptar disposiciones en materia de preparación y respuesta;
- documentar tanto los papeles como las funciones, facultades y responsabilidades de todos los participantes;
- asignar responsabilidades y facultades y establecer medidas de coordinación;
- especificar en los planes para emergencias las disposiciones relativas a la delegación y/o transferencia de autoridad.

4.2.1. Observaciones

En la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se indica expresamente que la responsabilidad primordial por la seguridad recaerá en el explotador. Por consiguiente, en caso de que ocurra una emergencia, el explotador tiene la responsabilidad de dar el primer aviso e informar acerca de los peligros. Sin embargo, en algunos casos el explotador retrasó la notificación a las autoridades fuera del emplazamiento para consultar con el personal directivo o intentar resolver el problema. En esos casos el explotador no estaba expresamente obligado a notificar e informar prontamente a las autoridades fuera del emplazamiento. Diversos países han establecido un requisito legal de pronta notificación; después de las emergencias el órgano regulador emprende investigaciones para cerciorarse de que se ha cumplido ese requisito.

El requisito sobre autoridad incluido en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] está dirigido ante todo a las organizaciones o personas que soliciten o posean autorización para realizar una práctica (es decir, que tengan la responsabilidad legal por los materiales radiactivos). Sin embargo, se plantea un problema relacionado con las actividades de la categoría de amenaza IV. Por ejemplo, es posible que los explotadores de plantas de reciclado de metales no se hayan considerado oficialmente responsables de la detección de una fuente huérfana en la chatarra y la respuesta a la presencia. No obstante, si declaran el hallazgo tal vez se las considere responsables de su ulterior gestión como desecho radiactivo. En consecuencia, los directivos inescrupulosos pueden sentirse inclinados a ocultar la presencia de la fuente y no declararla a las autoridades nacionales.

Es probable que la responsabilidad por la respuesta a una emergencia radiológica declarada se reparta entre muchos organismos locales y nacionales y varíe según la naturaleza de la emergencia (p. ej., accidental o intencional/delictiva), del material o la práctica, de la institución responsable de la práctica (p. ej., gubernamental, militar o privada) o de la actividad de respuesta (p. ej., protección de los alimentos o de la salud pública, recuperación del control sobre la práctica). Puesto que a menudo ha resultado imposible hacer estas distinciones en la etapa inicial de una emergencia, la respuesta gubernamental se ha demorado y ha creado confusión, con el consiguiente descrédito del gobierno entre el público y los medios de comunicación. Este conflicto entre distintas bases de autoridad se hizo patente en la emergencia de TMI, donde dio lugar a que varias organizaciones desempeñaran, sin eficacia, el mismo papel. Debido a las deficiencias en la identificación de otras organizaciones de respuesta y en el intercambio de información se descuidaron funciones fundamentales de la respuesta a la emergencia [47, 48]. Después del accidente de TMI estos problemas se subsanaron estableciendo un proceso integral [96] en cuyo marco la actuación de todas las organizaciones a las que se asigna un papel en una emergencia (p. ej., técnico, humanitario o relacionado con el cumplimiento de la ley) se ajusta a unas responsabilidades locales y nacionales claramente definidas.

Las autoridades locales son las más idóneas para adoptar medidas inmediatas con el fin de proteger a la población, pero a menudo carecen de suficientes conocimientos, equipo y medios especializados para responder a un accidente radiológico. En el caso de una emergencia relacionada con una actividad de la categoría de amenaza IV este problema

puede agravarse si las autoridades locales no contaban con la posibilidad de que ocurriera y por lo tanto no estaban preparadas para afrontarla.

Durante los accidentes de Chernóbil y de TMI, las autoridades nacionales asumieron la responsabilidad de decidir la aplicación de medidas protectoras, pero sin una coordinación eficaz con las autoridades locales. Por consiguiente, la aplicación de esas medidas se retrasó varios días. En el accidente de Chernóbil ese retraso provocó casos infantiles evitables de cáncer del tiroides inducido por la radiación [87].

Durante la emergencia de TMI, las decisiones nacionales sobre la aplicación de medidas de respuesta se retrasaron innecesariamente porque, por ley, debían recibir la aprobación de una mayoría de los cinco miembros de la Comisión Reguladora Nuclear. Este problema se resolvió modificando la legislación para designar a una sola persona encargada de adoptar las decisiones durante una emergencia.

En el Reino Unido la legislación básica a este respecto es la Ley de contingencias civiles, de 2004, complementada por orientaciones e infraestructuras de apoyo [97]. En estos documentos se establece un marco único para la protección civil capaz de afrontar toda la gama de desafíos en materia de respuesta a emergencias. Se define con claridad un conjunto de funciones y responsabilidades para los que participan en la preparación y respuesta a emergencias a nivel local, cuya labor ha de ajustarse a un marco nacional. En esta ley se divide en dos categorías a los encargados de la respuesta a nivel local, y se les asignan funciones diferentes.

La categoría 1 abarca a las organizaciones que desempeñan un papel central en las actividades de respuesta a la mayoría de las emergencias (p. ej., los servicios de emergencia, las autoridades locales y la Agencia de Protección de la Salud). Estas organizaciones deben desempeñar todas las funciones de protección civil.

Las organizaciones de la categoría 2 (p. ej., los órganos reguladores, las empresas de transporte y de servicios públicos) desempeñan un menor número de funciones, centradas en la cooperación y el intercambio de información pertinente con otras organizaciones de las categorías 1 y 2. Las organizaciones de ambas categorías forman los foros locales de fomento de la resiliencia, que apoyan la coordinación y cooperación entre los encargados de la respuesta en el plano local. Dichos foros actúan a nivel de distrito policial, porque en el Reino Unido la policía desempeña la función rectora en materia de seguridad pública.

Diversas investigaciones sobre peligros naturales y tecnológicos indican que tanto las organizaciones del sector público como las del sector privado asignan baja prioridad a la planificación para casos de emergencia [56, 59, 60]; en consecuencia, los planificadores nacionales y regionales tropiezan con dificultades para lograr que las entidades jurisdiccionales participen en esa labor. Por su parte, los planificadores locales también tienen dificultades para lograr que otros organismos locales –como los servicios de policía, de bomberos y de urgencias médicas– destinen tiempo de trabajo de su personal a elaborar planes y procedimientos para casos de emergencia y a realizar actividades de capacitación, simulacros y ejercicios.

Después de algunas emergencias el personal encargado de dirigir las actividades de respuesta fue sometido a procedimientos de investigación y enjuiciamiento penales. Obviamente, esta posibilidad genera considerable tensión entre dicho personal y puede

contribuir a retrasar su adopción de medidas de respuesta, aun cuando actúe dentro de la autoridad que se le ha conferido y con arreglo a la práctica aceptada internacionalmente.

4.2.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- definir con claridad en la legislación las responsabilidades y la autoridad de los participantes –tanto autoridades locales y nacionales como explotadores– en la respuesta a emergencias con miras a agilizar la adopción de decisiones.

4.3. ORGANIZACIÓN

Los principales requisitos sobre organización abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- establecer las relaciones orgánicas y las interfaces entre todas las principales organizaciones de respuesta;
- asignar en los planes para emergencias los puestos a los que incumbirá, dentro de cada organización, el desempeño de las funciones de respuesta;
- asignar el personal a los puestos que corresponda para desempeñar las funciones necesarias;
- velar por que en todo momento se disponga de suficiente personal cualificado.

4.3.1. Observaciones

Las tareas y las condiciones de trabajo en una situación de emergencia no son las mismas que en una situación normal y, por ende, las aptitudes del personal necesario para una respuesta eficaz a las emergencias también son diferentes. Sin embargo, a veces se asignan al personal funciones de respuesta a emergencias sobre la base de su posición en la organización, incluso cuando las propias personas tal vez no se consideran calificadas para desempeñarlas.

Durante la respuesta a la emergencia de Goiânia, se impartió capacitación a voluntarios locales y se les asignó tareas que requerían el contacto con la población (p.ej., para obtener información o materiales disponibles a nivel local). Los miembros de la brigada de bomberos local (después de recibir capacitación) se incorporaron a los grupos de protección radiológica y de descontaminación. El recurso a miembros de la población local permitió atenuar su sensación de estar sufriendo una intrusión externa y reforzar su confianza en las actividades de respuesta a la emergencia [92].

En muchas ocasiones se solicitó asistencia por conducto del OIEA [13-28]. Esa asistencia abarcaba diversas esferas: monitorización radiológica, reconstrucción de la dosis, recuperación de fuentes y conocimientos médicos sobre tratamiento de lesiones inducidas por la radiación. Sin embargo, la experiencia del OIEA indica que algunos países tuvieron dificultades para solicitar y recibir con rapidez dicha asistencia debido a la lentitud de los sistemas que utilizan habitualmente para recabar asistencia internacional.

Hay muchos problemas que suelen dificultar la respuesta a emergencias poco comunes (p. ej., incendios descontrolados de gran magnitud, terremotos); esa respuesta requiere la pronta intervención de múltiples organizaciones y entidades jurisdiccionales con diferentes estructuras de mando, terminologías, sistemas de comunicaciones y servicios. Por consiguiente, algunos países (como el Canadá, los Estados Unidos y México) han establecido un sistema de comando de accidentes que unifica la terminología, los conceptos operativos y los procesos de respuesta a todos los niveles (local o nacional). Un aspecto importante de este sistema consiste en la implantación de una cadena de mando bien definida encabezada por un comandante de incidentes. Al parecer, gracias a este sistema ha mejorado la eficacia de la respuesta a las emergencias que requieren la intervención de múltiples entidades ya que permite integrar rápidamente sus distintas aportaciones en la organización general de la respuesta. En la Ref. [34] se describe la aplicación de este sistema para satisfacer los requisitos internacionales [1].

4.3.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- velar por que las entidades interesadas establezcan con antelación las disposiciones necesarias para organizar la respuesta a emergencias aun cuando las consideren poco probables, y por que esas disposiciones se incluyan en los planes de emergencia;
- asignar las responsabilidades relacionadas con la respuesta a organizaciones para las cuales esta labor sea lo más compatible posible con sus funciones normales; en consecuencia, los aspectos no radiológicos de la respuesta deben seguir a cargo de las entidades que desempeñan habitualmente esas actividades;
- integrar en los planes de respuesta a emergencias un marco estándar destinado a los organismos y voluntarios locales, velando por que los participantes conozcan los peligros y los métodos operacionales seguros, por que se realice una supervisión cuidadosa de su labor y por que sus actividades se coordinen de manera apropiada;
- establecer procedimientos simplificados y ágiles para solicitar asistencia internacional.

4.4. COORDINACIÓN DE LA RESPUESTA A EMERGENCIAS

Los principales requisitos sobre coordinación de la respuesta a emergencias abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- elaborar disposiciones para la coordinación de la respuesta;
- adoptar disposiciones para coordinar las evaluaciones de dosis y efectos en la salud que efectúen diferentes organizaciones y Estados;

- adoptar disposiciones para asegurarse de que a todos los Estados comprendidos en zonas de emergencia definidas se les suministre la información que les permita elaborar sus propias medidas de preparación para responder a una emergencia, y de que se cuente con las medidas de coordinación transfronteriza que corresponda.

4.4.1. Observaciones

En ciertos casos, algún turno saliente no informó al nuevo turno sobre la situación de la emergencia, con el consiguiente perjuicio para las actividades de respuesta [9]. Durante el suceso de Goiânia, para asegurar la transmisión de información de un grupo a otro, se programaron reuniones informativas con el personal entrante y se estableció un sistema de relevo escalonado.

En algunos países ocurrieron emergencias radiológicas durante las cuales diferentes organizaciones de respuesta nacionales ignoraban, y por ende no tuvieron en cuenta, las funciones de las otras organizaciones de respuesta. Esto generó retrasos y confusión. Asimismo, algunos organismos o ministerios consideraron, erróneamente, que se les había asignado una función, solo porque el público o algunos funcionarios superiores lo creían así; esto también incidió negativamente en la respuesta a la emergencia [63, 66].

Algunos países han establecido comités de coordinación locales integrados por todas las organizaciones a las que se ha asignado una función en la respuesta a emergencias relacionadas con materiales peligrosos [56]. La experiencia indica que estos comités no refuerzan solo la coordinación sino también la confianza y el reconocimiento entre los distintos participantes, para lo cual es preciso que se reúnan periódicamente. La labor de esos comités es más eficaz cuando cuentan con un coordinador de dedicación exclusiva encargado de las actividades administrativas/logísticas y tienen acceso a materiales de capacitación y a información sobre la amenaza de que se trate, así como a los recursos disponibles en su comunidad y en las comunidades vecinas.

La respuesta de las comunidades a los desastres es más eficaz cuando las organizaciones de respuesta a emergencias han colaborado en la elaboración de los planes y procedimientos y han realizado actividades conjuntas de capacitación, simulacros y ejercicios, además de celebrar debates [56, 59, 98].

La coordinación del suministro de información y orientación al público es un tema importante que ya se ha abordado pero en el que conviene insistir. Cuando ocurrió el accidente de TMI se pidió casi inmediatamente al órgano regulador que evaluara la situación. Sin embargo, como no se le había asignado claramente una función en el plan de emergencia, dicho órgano fue incapaz de responder en un plazo adecuado o de proporcionar descripciones pertinentes de la situación cuando se le solicitaron. La eficacia de la respuesta a este accidente mejoró considerablemente cuando se estableció cerca del lugar de la emergencia un único centro de operaciones encargado de coordinar la respuesta nacional y suministrar información a los medios de comunicación. Después del accidente de TMI el órgano regulador adoptó disposiciones para definir con claridad su función en casos de emergencia, simplificar su proceso de toma de decisiones y adoptar medidas para activar grupos encargados de asuntos técnicos y de otra índole

específicamente capacitados y preparados para evaluar situaciones de emergencia y realizar otras actividades de respuesta [99].

También durante el accidente de TMI, se decidió que todos los condados situados en un radio de 20 millas alrededor de la planta debían elaborar planes de evacuación [100]. En el curso de la elaboración independiente de sus planes de evacuación, dos condados situados al oeste de la planta decidieron invertir la circulación en una autovía. Desafortunadamente, el condado situado más al norte decidió que todo el tráfico debía circular hacia el sur y el que estaba situado más al sur decidió dirigirlo hacia el norte. Posteriormente, los planificadores del organismo estatal de gestión de emergencias descubrieron la incompatibilidad entre los dos planes. Solo se evitó un embotellamiento en gran escala porque en vez de evacuar a las mujeres embarazadas y a los niños de edad preescolar en un radio de 20 millas, como estaba previsto, se ordenó su evacuación en un radio de cinco millas.

Algunos problemas se debieron a la elaboración de planes de respuesta diferentes y descoordinados en materia de seguridad tecnológica y de seguridad física. Por ejemplo, la respuesta a la detección de un intruso en una central nuclear [101] consistió fundamentalmente en cerrar todas las puertas, lo cual interfirió con la activación de los centros de emergencia, las comunicaciones con el exterior del emplazamiento y las funciones de notificación. Después de un acto terrorista relacionado con una fuente radiactiva, los objetivos de los servicios de seguridad física (recoger pruebas, etc.) pueden ser incompatibles con los de los servicios de seguridad tecnológica (reducir al mínimo la exposición de las personas).

4.4.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- coordinar eficazmente la respuesta a emergencias mediante una planificación previa adecuada, incluido el establecimiento de una estructura de gestión apropiada, según se indicó en la subsección anterior;
- utilizar comités locales de planificación para emergencias y realizar programas conjuntos de capacitación, así como simulacros y ejercicios, para facilitar el proceso;
- establecer con claridad disposiciones en materia de traspaso de responsabilidades, porque muchas emergencias duran varios días o incluso semanas;
- coordinar eficazmente los planes de respuesta a emergencias con los planes de los servicios de seguridad física.

4.5. PLANES Y PROCEDIMIENTOS

Los principales requisitos sobre planes y procedimientos abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- establecer disposiciones para coordinar la respuesta nacional, con inclusión de la especificación de la organización responsable de las medidas, las responsabilidades de los explotadores y de otras organizaciones de respuesta, y la coordinación con las medidas de respuesta a una emergencia convencional;
- velar por que cada organización de respuesta prepare planes para la coordinación de sus funciones asignadas;
- elaborar planes de respuesta a emergencias que se basen en la evaluación de las amenazas;
- coordinar los planes con todos los demás planes que puedan aplicarse en una emergencia;
- en el caso de las autoridades competentes, velar por que se preparen planes de emergencia, por que las organizaciones de respuesta participen en la preparación de los planes, por que en estos se tengan en cuenta los resultados de cualquier evaluación de amenazas y cualquier enseñanza derivada de la experiencia operacional y de emergencias que hayan ocurrido con fuentes de tipo similar, y por que los planes se revisen y actualicen periódicamente;
- abarcar en los planes de emergencia la asignación de responsabilidades, la identificación de las condiciones de funcionamiento que puedan originar la necesidad de una intervención, los niveles de intervención, los procedimientos, incluidas las disposiciones en materia de comunicaciones, los métodos y la instrumentación utilizados para evaluar la emergencia y sus consecuencias, las disposiciones relativas a información pública y los criterios para poner fin a cada acción protectora;
- velar por que el plan de emergencia preparado por una instalación o práctica de las categorías de amenaza I, II, III o IV se coordine con los planes de las otras organizaciones;
- determinar el contenido del plan de emergencia de una instalación o práctica de la categoría de amenaza I, II, III o IV;
- velar por que las organizaciones explotadoras y las organizaciones de respuesta elaboren los procedimientos, instrumentos analíticos y programas informáticos requeridos para el desempeño de las funciones necesarias;
- verificar la validez de los procedimientos, instrumentos analíticos y programas informáticos;
- velar por que el explotador ejecute el plan de emergencia en el emplazamiento;
- velar por que las organizaciones de respuesta ejecuten los planes de emergencia fuera del emplazamiento y, en su caso, más allá de las fronteras.

4.5.1. Observaciones

En la presente publicación ya se ha señalado la importancia de contar con planes y procedimientos de emergencia claramente definidos. La respuesta a muchas emergencias

se vio dificultada porque esos planes y procedimientos no se habían establecido con antelación [14, 30, 77].

También se plantean problemas cuando los planes de emergencia se elaboran sin la contribución de los que se encargarán de aplicarlos. La participación de todas las organizaciones competentes en la elaboración de esos planes permite detectar errores en los supuestos acerca de las capacidades de respuesta, conocer mejor tanto las capacidades de las otras organizaciones de respuesta como la función que tienen asignada y determinar los recursos necesarios. La participación de estas organizaciones también favorece su implicación y, por ende, su determinación de contribuir a la aplicación eficaz del plan.

Una correcta definición de los procedimientos permite mejorar el desempeño de las difíciles tareas que deben emprenderse durante una emergencia. Sin embargo, se ha comprobado que muchos procedimientos resultaron ineficaces en condiciones de emergencia por que estaban mal diseñados, porque no se disponía de suficiente tiempo e información para aplicarlos, porque sus usuarios carecían de la capacitación o los conocimientos especializados necesarios o porque no eran compatibles con otros elementos del sistema de respuesta. La eficacia de los procedimientos se puede evaluar poniéndolos a prueba en condiciones de emergencia realistas mediante simulacros y ejercicios.

Las respuestas a las emergencias de Chernóbil y de Goiânia demostraron que las decisiones relativas a la aplicación de medidas protectoras que afectan a la población pueden proceder de oficiales públicos que no sean especialistas en radiación y, por lo tanto, las adopten basándose en su propia percepción del riesgo radiológico y de los problemas sociales y políticos.

El accidente de Chernóbil puso en evidencia que no se habían adoptado disposiciones para afrontar sucesos poco probables que podían tener consecuencias graves. Por ejemplo, cuando el núcleo resultó gravemente dañado no se prohibió de inmediato el consumo de leche y verduras producidas en la zona, lo cual provocó casos de cáncer del tiroides inducido por la radiación. Además, muchos bomberos y otros participantes en las actividades de respuesta en el emplazamiento murieron como consecuencia del alto nivel de exposición. Esas personas no pudieron medir las tasas de dosis (que podían resultar letales en pocos minutos) y carecían de la capacitación o el equipo necesarios para actuar en las condiciones graves provocadas por el accidente.

El accidente de Goiânia [13] y otro de escala similar, también relacionado con una fuente de radioterapia, ocurrido en Juárez (México) [29, 93] son ejemplos de sucesos radiológicos poco probables que tuvieron consecuencias graves en lugares públicos. Tanto los lugares donde ocurren estas emergencias como sus consecuencias son imprevisibles. Tampoco es posible prever el lugar y las consecuencias de un suceso relacionado con el uso de un dispositivo de dispersión radiactiva por agentes terroristas.

El Reino Unido ha establecido hace muchos años un marco integrado de respuesta a emergencias para afrontar todo tipo de peligros [94]. En su elaboración se aprovecharon las enseñanzas extraídas del accidente de Three Mile Island, así como la experiencia adquirida en casos de inundaciones, incendios de sustancias químicas, etc. La amenaza de posibles ataques terroristas con agentes químicos, biológicos, radiológicos o nucleares

puso aún más de relieve la necesidad de dotarse de un enfoque integrado para afrontar todo tipo de peligros. En cualquier emergencia que afecta al sector público la policía desempeña un papel rector. Si se trata de una emergencia grave, esta establece un Grupo de Coordinación Estratégica (SCG) y asume su dirección. Integran el grupo representantes superiores de los servicios de emergencia, el Servicio Nacional de Salud, las autoridades locales, los servicios públicos y diversos órganos científicos/reguladores. Estas organizaciones prestan asesoramiento y desempeñan las funciones que se les asigna, pero la policía asume el mando de las actividades de respuesta. Si la emergencia reviste importancia nacional, como una gran inundación o ataques terroristas en múltiples lugares, la policía conserva las funciones de mando a nivel local, pero el Gobierno se encarga de la coordinación y los aspectos normativos en el plano nacional por conducto del Comité de Contingencias Civiles (CCC), un grupo de gestión de crisis que se reúne en la Sala de Prensa de la Oficina del Gabinete. En cada tipo de emergencia la función rectora se encomienda a un departamento del Gobierno, que ocupa la presidencia del CCC, salvo que decida asumirla el Primer Ministro.

Este marco se ha utilizado para afrontar una variedad de emergencias y su uso también se ejercita periódicamente en relación con emplazamientos nucleares y posibles ataques terroristas. De esta manera, cuando el 7 de julio de 2005 estallaron cuatro bombas en la red de transportes de Londres, las diferentes organizaciones de respuesta conocían bien sus funciones y responsabilidades y había una clara estructura de mando y control dirigida por la policía [102]. Estas disposiciones también se aplicaron eficazmente durante el incidente de Londres relacionado con el polonio 210. En ambos incidentes intervinieron múltiples organismos de respuesta, todos ellos representados –directamente o por conducto del departamento gubernamental del que dependían– en el SCG y en el CCC. La experiencia obtenida en una variedad de emergencias anteriores ha demostrado también la necesidad de que los organismos que deban colaborar estrechamente dispongan de contactos clave entre asesores integrados en sus respectivas estructuras de respuesta. Esta medida no supone una mayor necesidad de recursos de personal superior, pero debe incluirse en los planes de organización y en los programas de capacitación pertinentes.

También han ocurrido emergencias radiológicas graves que implicaron sobreexposiciones causadas por usuarios (p. ej., radiógrafos) de fuentes móviles peligrosas en condiciones anormales mientras intentaban recuperar su control o mitigar los efectos. Estas sobreexposiciones se produjeron porque los usuarios no disponían de procedimientos, capacitación e instrumentos apropiados ni tenían una comprensión adecuada de los principios básicos de seguridad radiológica y de los principios operativos de los dispositivos que utilizaban [30].

4.5.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- establecer con antelación planes de respuesta a emergencias, los cuales deben redactarse y compartirse con todas las partes interesadas, abarcar toda la gama de posibles emergencias, incluidos los sucesos poco probables que puedan tener consecuencias graves, y deben estar integrados en un programa de gestión de

- emergencias para afrontar todo tipo de peligros y complementarse mediante procedimientos consignados por escrito;
- prestar especial atención a la integración de los planes de respuesta de emergencia con las disposiciones establecidas para responder a amenazas de ataques terroristas y otros actos delictivos relacionados con materiales radiactivos;
 - elaborar planes y procedimientos genéricos que puedan proporcionar una infraestructura de mando y control, y desarrollar capacidad para desplegar servicios de expertos y recursos en emergencias relacionadas con instalaciones y prácticas de las categorías de amenaza I, II, III o IV.

4.6. APOYO LOGÍSTICO E INSTALACIONES

Los principales requisitos sobre apoyo logístico e instalaciones abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- proporcionar los dispositivos, instrumentos, suministros, equipos, sistemas de comunicación, instalaciones y elementos de documentación adecuados;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I o II, designar instalaciones de emergencia donde se coordinarán las medidas de respuesta en el emplazamiento, las medidas de respuesta locales fuera del emplazamiento, las medidas de respuesta nacionales, la información pública y las labores de vigilancia y evaluación fuera del emplazamiento;
- en el caso de las instalaciones de la categoría de amenaza I, establecer un centro de control de emergencias en el emplazamiento;
- designar laboratorios para realizar análisis de muestras ambientales y biológicas, así como mediciones de la contaminación interna;
- designar una o varias instalaciones nacionales de emergencia a efectos de la coordinación de las medidas de respuesta y de la información pública;
- adoptar disposiciones para obtener el apoyo que corresponda de las organizaciones responsables de prestar ese tipo de asistencia.

4.6.1. Observaciones

Los recursos necesarios para la respuesta al accidente de Goiânia se encontraban en Río de Janeiro o en São Paulo, a más de 1 300 km de distancia. Esto planteó graves problemas de logística. En esa ocasión el Brasil movilizó todos sus recursos pertinentes y recabó asistencia internacional en el marco de la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica [13, 51]. Se necesitaron expertos en tratamiento médico de los pacientes, despliegue y mantenimiento de capacidad de monitorización, logística, bioensayos, dosimetría personal y análisis de muestras ambientales. En la fase de mayor actividad había más de 700 personas trabajando en la descontaminación del medio ambiente. Hubo que impartir al personal capacitación en el uso del equipo de monitorización y fue necesario establecer en el emplazamiento diversas instalaciones de apoyo, a saber: instalaciones donde reparar el equipo de monitorización,

una lavandería para la limpieza de los elementos contaminados, un equipo móvil de monitorización corporal y una instalación para fabricar contenedores de desechos.

En algunos casos las salas de control de la instalación se utilizaron al mismo tiempo para apoyar la respuesta a una emergencia y para las funciones de explotación. Por ejemplo, durante el accidente de TMI en determinado momento había 40 personas en la sala de control. El ruido y la congestión resultantes dificultaron la labor del personal de dicha sala para responder al accidente [9, 53]. En el mismo suceso, durante los primeros días se recibieron en la sala de control más de 4 000 llamadas telefónicas, debido a lo cual las líneas quedaron bloqueadas y no se pudo recibir información importante relacionada con la gestión de la respuesta [9]. También en esa emergencia, la asistencia técnica proporcionada por los explotadores resultó inadecuada porque las instalaciones, los instrumentos y la capacitación no se habían concebido para emplearlos en la respuesta a un accidente grave [53].

En algunos casos, poco después de que la población se enterara de un suceso que le parecía importante se produjeron sobrecargas y, a veces, colapsos en la red telefónica pública. Una situación como esta impidió que durante el accidente de TMI el órgano regulador pudiera estar en comunicación con el emplazamiento, además de dificultar muchos otros aspectos de la respuesta oficial a esa emergencia.

La experiencia indica que un uso habitual de las instalaciones, el equipo y otros recursos de emergencia permite ahorrar costos, familiarizar a los encargados de la respuesta a emergencias con los recursos que han de emplear y garantizar el mantenimiento adecuado del equipo que deba utilizarse. Sin embargo, para apreciar estas ventajas es imprescindible establecer controles que garanticen la disponibilidad de dichos recursos durante una emergencia.

En muchas emergencias surgieron problemas debido a incompatibilidades entre los grupos de comunicaciones y/o las radiofrecuencias utilizadas por las diferentes organizaciones de respuesta.

Durante la respuesta a algunas emergencias [13] hubo fallos en el equipo de monitorización y de otra índole o se comprobó que este era inutilizable en las condiciones ambientales y laborales imperantes, a saber, altas temperaturas, intensa luminosidad solar, lluvia, súbitos cambios de temperatura, alto grado de humedad o trato brusco. Ello se debió a que el equipo se había seleccionado sobre la base de su adecuación en condiciones de laboratorio, sin tener en cuenta cómo funcionaría sobre el terreno.

En la respuesta a algunas emergencias se plantearon problemas cuando el equipo resultó demasiado complicado para su uso por un personal con poca capacitación y experiencia en condiciones de emergencia reales. Además, durante algunas emergencias en las que intervinieron múltiples organizaciones de respuesta también surgieron problemas cuando cada organización efectuó la monitorización ambiental utilizando su propio equipo, sin tener en cuenta la necesidad de armonizar la calibración y los procedimientos.

En circunstancias normales, los agentes de los organismos locales –como el personal policial, los bomberos y los funcionarios públicos– utilizan radiofrecuencias diferentes para evitar sobrecargas en la red de comunicaciones e interferencias entre sus respectivas actividades. Sin embargo, esto crea dificultades en las situaciones de emergencia, ya que

en esas circunstancias es posible que los distintos organismos necesiten comunicarse entre sí. Este problema fue particularmente grave durante los ataques del 11 de septiembre contra el Centro de Comercio Mundial de Nueva York, ya que, aun cuando fuentes cercanas al Departamento de Policía previeron el inminente derrumbe de las torres, esta información no pudo transmitirse a tiempo al personal del Departamento de Bomberos para que su personal evacuara los edificios. La imposibilidad de utilizar sistemas de comunicación interoperables contribuyó a incrementar el número de bajas entre los bomberos que acudieron para responder a la emergencia [103].

4.6.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- determinar los recursos que puedan necesitar las organizaciones de respuesta para responder a una amplia gama de sucesos;
- cerciorarse de que los grupos de emergencia estén familiarizados con las instalaciones y el equipo que deban utilizar en caso de emergencia;
- cerciorarse de que el equipo esté fácilmente disponible en caso de emergencia y sea adecuado para los fines requeridos en los entornos en que deba utilizarse;
- velar por que los canales de comunicación estén siempre disponibles, con inclusión del uso de sistemas de comunicación telefónica diferenciados y redundantes y de radiofrecuencias compatibles.

4.7. CAPACITACIÓN, SIMULACROS Y EJERCICIOS

Los principales requisitos sobre capacitación, simulacros y ejercicios abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- velar por que el explotador y las organizaciones de respuesta determinen cuáles son los conocimientos, las capacidades y las aptitudes que se necesiten para poder desempeñar las funciones requeridas y adopten disposiciones para asegurarse de que el personal cuente con los conocimientos, las capacidades, las aptitudes, el equipo y los procedimientos necesarios, así como otras disposiciones para que pueda desempeñar las funciones de respuesta que se le asignen;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, informar a las personas que frecuenten el emplazamiento sobre las disposiciones establecidas para notificarles en caso de que ocurra una emergencia y sobre las medidas que deben tomar cuando reciban esa notificación;
- en el caso de las instalaciones o prácticas de las categorías de amenaza I, II o III, efectuar programas de ejercicios en relación con la respuesta a emergencias y todas las interfaces de organización; en el caso de las categorías de amenaza IV o V, someter a prueba los programas establecidos a nivel nacional;
- velar por que el personal responsable de las funciones de respuesta fundamentales participe en actividades de capacitación, ejercicios o simulacros;

- impartir capacitación a los oficiales fuera del emplazamiento encargados de adoptar decisiones sobre medidas protectoras, los cuales deben participar en ejercicios;
- en el caso de las instalaciones de las categorías de amenaza I, II o III, evaluar la ejecución de los ejercicios con respecto a los objetivos de la respuesta.

4.7.1. Observaciones

Las investigaciones y la experiencia operacional indican que la respuesta de las comunidades en casos de desastre es más eficaz cuando reciben capacitación para la ejecución de los planes y procedimientos de emergencia, efectúan simulacros para evaluar el desempeño individual, realizan ejercicios anuales para evaluar la eficacia tanto de los planes y procedimientos como de la capacitación, y celebran debates para determinar aspectos que es preciso mejorar [56, 98].

Otro problema frecuente consiste en que las personas que ocupan puestos de nivel superior (p. ej., dirigentes del gobierno nacional o local) en las organizaciones de respuesta no suelen participar en las actividades de capacitación o en los ejercicios, de manera que no saben cómo actuar cuando deben intervenir en condiciones de emergencia apremiantes.

Una de las enseñanzas que se extraen a menudo tras examinar las actividades de respuesta a emergencias se refiere a la falta de capacitación o al suministro de capacitación inadecuada. El principal motivo de que no se imparta capacitación en materia de respuesta a emergencias consiste en la baja prioridad que se asigna a esta labor. También se señalan otros problemas relacionados con la capacitación, a saber:

- no se ha concebido una capacitación apta para fomentar los conocimientos, las capacidades y las actitudes que se requieren para que los encargados de las tareas de respuesta puedan actuar durante una emergencia;
- no se han previsto actividades de seguimiento (repaso) de la capacitación;
- la capacitación no se ha impartido en condiciones que simulen las de una emergencia;
- la capacitación se ha centrado más en las personas que en la creación de grupos;
- la capacitación no ha abarcado a todas las personas y organizaciones que podrían tener que participar en actividades de respuesta;
- no se han efectuado evaluaciones para verificar si la capacitación se ha recibido correctamente.

Las investigaciones y la experiencia demuestran la utilidad de los simulacros de actuación en grupo para desarrollar y poner a prueba las competencias grupales. Sin embargo, para integrar a un grupo en la organización de respuesta a emergencias es preciso organizar ejercicios con todos los grupos de respuesta [104].

Las investigaciones también indican que para desempeñar eficazmente sus tareas las personas deben recibir una capacitación centrada en los conocimientos, las competencias

y las actitudes que se necesitan para aplicar la respuesta adecuada en cada situación. También es importante desarrollar conocimientos especializados en resolución de problemas, evaluación de estrategias en función de sus posibilidades de éxito y estimación del tiempo necesario para completar una tarea [104].

Un problema que se plantea en relación con los cursos de capacitación de repaso consiste en que a menudo resultan repetitivos y poco interesantes, de manera que las personas suelen ser reacias a participar en ellos y a tomarlos en serio. Para mitigar este problema, los cursos de repaso deben centrarse en tareas que sean fundamentales, difíciles e infrecuentes y que requieran el ensayo de nuevas estrategias y el aprendizaje de la experiencia [104].

En muchos casos se conciben ejercicios centrados en escenarios que no son realistas con la intención de activar y demostrar todas las funciones de respuesta dentro del horario normal de trabajo. Al no simular muchos aspectos importantes de las emergencias reales, estos ejercicios pueden crear expectativas falsas que resulten perjudiciales durante la respuesta a una emergencia real.

4.7.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- velar por que todas las personas y organizaciones que deban actuar en caso de emergencia reciban capacitación adecuada para participar en la respuesta;
- concebir programas de capacitación para desarrollar competencias en resolución de problemas y trabajo en grupo;
- concebir cursos de capacitación de repaso que supongan un acicate para las personas que deban efectuar tareas de respuesta y fomenten su participación;
- velar por la realización de programas de capacitación, simulacros y ejercicios para todas las personas y organizaciones que deban intervenir en caso de emergencia;
- velar por que los ejercicios se basen en escenarios realistas.

4.8. PROGRAMA DE GARANTÍA DE CALIDAD

Los principales requisitos sobre el programa de garantía de calidad abarcados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] se refieren a lo siguiente:

- velar por que el explotador de una instalación, práctica o fuente de las categorías de amenaza I, II, III o IV y las organizaciones de respuesta fuera del emplazamiento establezcan un programa de garantía de calidad;
- velar por que el explotador de una instalación, práctica o fuente de las categorías de amenaza I, II, III o IV y las organizaciones de respuesta fuera del emplazamiento adopten disposiciones para examinar y evaluar las respuestas en emergencias y en simulacros y ejercicios e introducir las mejoras necesarias.

4.8.1. Observaciones

Durante la respuesta a algunas emergencias, el equipo, los suministros y las instalaciones que se necesitaban no siempre estaban disponibles o eran adecuados; ello se debió a que:

- a) no se habían adquirido con antelación;
- b) no estaban donde debían;
- c) se habían retirado de los almacenes para casos de emergencia y no se habían devuelto;
- d) no funcionaban cuando se los necesitó;
- e) no estaban debidamente calibrados ni se efectuaba el mantenimiento necesario;
- f) había concluido su período de vida útil recomendado.

Estos problemas se deben sobre todo a que las emergencias son sucesos infrecuentes y, por lo tanto, el equipo, las instalaciones y los recursos destinados exclusivamente a la respuesta a emergencias no se utilizan en condiciones normales y no existe un programa adecuado para garantizar su mantenimiento. La experiencia indica que la respuesta a emergencias también se ha visto perjudicada por la falta de actualización de las listas de teléfonos de emergencia, los procedimientos y otra documentación pertinente.

Además, es posible que los programas de capacitación, la dotación de personal y los procedimientos de emergencia no se hayan mantenido actualizados y que su aplicación no satisfaga las normas establecidas.

Los simulacros y los ejercicios son medios eficaces para determinar el grado de adecuación del plan, las medidas de organización, la dotación de personal, los procedimientos, la capacitación, el equipo y los recursos. Sin embargo, en muchos casos no se habían adoptado disposiciones para extraer lecciones y tenerlas en cuenta.

Las lecciones extraídas tras el examen de las respuestas a emergencias reales, según se indican en diversas publicaciones del OIEA [11 a 31], aportan información útil que puede aprovecharse para mejorar las disposiciones de emergencia. Por eso el OIEA ha alentado a los Estados a que después de una emergencia grave exijan la realización de un examen, cuyos resultados deberán difundirse ampliamente. También se ha observado que la realización de evaluaciones y exámenes externos por homólogos en la etapa de preparación permite determinar aspectos susceptibles de mejora.

4.8.2. Conclusiones

Estas enseñanzas demuestran la importancia de lo siguiente:

- establecer un programa de garantía de calidad aplicable a las disposiciones de emergencia;
- aprovechar la información procedente tanto de simulacros y ejercicios como de emergencias reales para mejorar las disposiciones de emergencia (planes, procedimientos, equipo, recursos, etc.);

- realizar auditorías internas y externas, así como evaluaciones, para detectar posibles defectos en las disposiciones de emergencia.

5. CONCLUSIONES

Las enseñanzas extraídas de estos incidentes y emergencias confirman los requisitos enunciados en la publicación de Requisitos de Seguridad [1] del OIEA. La aplicación efectiva de estos requisitos en la esfera de la preparación y respuesta para casos de emergencia contribuye a lograr un nivel adecuado de preparación y respuesta para afrontar cualquier emergencia radiológica que ocurra en un Estado y también ayuda a reducir al mínimo sus consecuencias para las personas, los bienes y el medio ambiente [1].

APÉNDICE I
DESCRIPCIÓN DE DIEZ
EMERGENCIAS DOCUMENTADAS

1. EL ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE THREE MILE ISLAND (TMI)

Como la mayoría de los reactores, el reactor de TMI tenía tres barreras que era preciso que fallaran para que ocurriera una emisión importante de materiales radiactivos capaz de causar exposición del público. Las agujas de combustible (primera barrera) forman el núcleo donde se produce la reacción nuclear. El núcleo está rodeados por un sistema de refrigeración (segunda barrera), cuya función consiste en mantenerlo siempre cubierto de agua. El sistema de refrigeración abarca bombas que reponen automáticamente el agua que pueda haberse perdido. El núcleo y el sistema de refrigeración están colocados en una gran estructura sólida denominada “contención” (tercera barrera), destinada a impedir cualquier emisión a la atmósfera de material radiactivo procedente del núcleo y del sistema de refrigeración. El núcleo siempre debe estar cubierto de agua para evitar que se recaliente, ya que en tal caso las agujas que contienen el combustible pueden empezar a fallar y poco después el combustible puede empezar a fundirse. Al fundirse el núcleo se emiten a la contención grandes cantidades de material radiactivo. La fusión del núcleo también puede crear condiciones capaces de provocar el fallo imprevisible de la contención. El diseño de esta central abarcaba dispositivos para evitar la fusión del núcleo, pero no las emisiones en caso de que el núcleo se fundiera.

El accidente comenzó el 28 de marzo de 1979 hacia las cuatro de la mañana cuando se detuvo una bomba que inyectaba agua en la caldera. No era un suceso grave y el sistema de seguridad de la planta debía haberlo afrontado sin dificultad. El sistema de seguridad funcionó según lo previsto y paró la central (detuvo la reacción nuclear). Durante la parada una válvula no se cerró, lo cual provocó una pérdida de agua del sistema de refrigeración. El sistema de seguridad detectó esta pérdida de agua y puso en marcha las bombas para reponer el agua que se perdía y mantener el núcleo cubierto de agua. En ese momento un instrumento de la sala de control indicó incorrectamente que había demasiada agua en el sistema de refrigeración. Los operadores, actuando conforme a los procedimientos pertinentes y a la capacitación recibida, cerraron algunas de las bombas del sistema de seguridad que estaban reponiendo el agua. Al cabo de pocas horas el núcleo quedó descubierto y se empezó a fundir: en unos minutos se emitió a la contención alrededor del 40 % de todo el material radiactivo del núcleo. Fue aproximadamente la misma cantidad que se emitiría a la atmósfera a raíz del accidente de Chernóbil. La radiación en algunas partes de la central y la contención aumentó rápidamente hasta niveles 1 000 o más veces superiores al nivel normal. Sin embargo, los operadores seguían sin percatarse de que el núcleo no se estaba refrigerando, pese a las indicaciones inequívocas de su fusión. Varias horas después los operadores pusieron en marcha un número de bombas suficiente para cubrir con agua el núcleo fundido. La masa del núcleo fundido tardó varias horas en enfriarse. La contención, pese a que no se había diseñado para afrontar estas condiciones, se mantuvo fundamentalmente intacta y solo se emitió a la atmósfera una fracción muy pequeña del material radiactivo, de manera que la exposición del público fue escasa. Pasaron varios días antes de que se comprendiera que había habido peligro de que ocurriera una gran emisión. Pasaron varios años antes de que se descubriera que se había fundido el núcleo.

Como ya se ha señalado, dos días después de la fusión del núcleo se aconsejó que las mujeres embarazadas y los niños de edad preescolar abandonaran la zona situada en un radio de cinco millas [63]. Sin embargo, en su investigación, la Comisión Reguladora Nuclear determinó que hubiera sido prudente recomendar la evacuación preventiva cuando se estaba produciendo el daño en el núcleo, porque en el edificio de contención se estaban acumulando gases y vapores de intensa radiactividad, de manera que el público cercano solo estaba protegido por esa única barrera restante, cuya tasa de fuga conocida indicaba que bastaría una presión interna para provocar una fuga [66]. Además, la recomendación de evacuar a unos pocos miles de mujeres embarazadas y niños de edad preescolar provocó la evacuación de familias enteras: se estima que más de 100 000 personas abandonaron las zonas situadas a 40 kilómetros de la central.

2. EL ACCIDENTE EN LA CENTRAL NUCLEAR DE CHERNÓBIL

El accidente ocurrió el 26 de abril de 1986 en la central nuclear de Chernóbil, situada en el norte de Ucrania, y provocó la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de materiales radiactivos, principalmente isótopos radiactivos de cesio y yodo. Resultaron contaminadas vastas zonas de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania, y, en menor medida, otros países. Un número considerable de personas recibió dosis de radiación internas y externas.

El accidente de Chernóbil causó, al cabo de pocos días o semanas, la muerte de 30 empleados de la central y bomberos (de los cuales 28 fallecieron por exposición a la radiación). Además, unos 240 000 trabajadores de operaciones de recuperación (también llamados “liquidadores” o “trabajadores de limpieza”) participaron en 1986 y 1987 en actividades de mitigación en gran escala en el reactor y en un radio de 30 km a su alrededor. Hasta 1990 se siguieron realizando actividades residuales de mitigación en una escala relativamente grande. En total, unas 600 000 personas (entre civiles y militares) recibieron certificados especiales que acreditan su condición de liquidadores, con arreglo a las leyes promulgadas en Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania [32, 39].

Además, a raíz de la emisión masiva a la atmósfera de materiales radiactivos, en 1986 fue preciso evacuar a unas 116 000 personas de las zonas cercanas al reactor, y en 1987 hubo que realojar a unas 220 000 personas de Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania.

El accidente de la central nuclear de Chernóbil ocurrió mientras se estaba realizando una prueba técnica de baja potencia en el reactor de la unidad 4. El funcionamiento inadecuado e inestable del reactor provocó una sobretensión incontrolable, seguida de una serie de explosiones de vapor que dañaron gravemente el edificio del reactor y causaron la destrucción total del reactor.

Las emisiones de radionucleidos desde el reactor dañado se produjeron fundamentalmente durante diez días, pero las tasas de emisión fueron variando. Desde el punto de vista radiológico, los radionucleidos más importantes son el yodo 131 y el cesio 137, porque a estas sustancias corresponde la mayoría de la exposición a la radiación recibida por la población. Según las estimaciones, se emitieron 1 760 PBq de yodo 131 y 85 PBq de cesio 137 [90] (1 PBq = 10^{15} Bq). Sin embargo, hay que tener en cuenta que las dosis se estimaron sobre la base de mediciones ambientales y del tiroides o corporales, y que para efectuarlas no era necesario conocer las cantidades emitidas.

Las tres principales zonas de contaminación –definidas como aquellas donde la densidad de deposición de cesio 137 fue superior a 37 kBq m^{-2} (1 Ci km^{-2})– se encontraban en Belarús, la Federación de Rusia y Ucrania; los nombres de estas zonas son: Zona Central, Gomel-Mogilev-Bryansk y Kaluga-Tula-Orel. La Zona Central va desde el reactor hasta unos 100 km de distancia, principalmente hacia el oeste y el noroeste. La zona de contaminación de Gomel-Mogilev-Bryansk está centrada a 200 km al norte-noreste del reactor, en el límite entre las regiones de Gomel y Mogilev en Belarús y la región de Bryansk en la Federación de Rusia. La zona de Kaluga-Tula-Orel se encuentra en la Federación de Rusia, a unos 500 km de distancia al noreste del reactor. En conjunto, como se indica en la Ref. [39, Anexo J; 56, Apéndice A] resultó contaminada una superficie de aproximadamente $150\,000 \text{ km}^2$ en la antigua Unión Soviética. En esas zonas vivían alrededor de cinco millones de personas.

Fuera de la antigua Unión Soviética hubo muchas zonas del norte y el este de Europa donde la densidad de deposición de cesio 137 varió entre 37 y 200 kBq m^{-2} . La superficie total de esas zonas fue de $45\,000 \text{ km}^2$, alrededor de un tercio de la superficie total contaminada en la antigua Unión Soviética.

Las dosis más altas las recibieron los aproximadamente 600 trabajadores de emergencia que estuvieron en el emplazamiento de la central nuclear de Chernóbil durante la noche del accidente. Las exposiciones más importantes se debieron a irradiación externa, porque en la mayoría de los casos la incorporación de radionucleidos por inhalación fue relativamente pequeña. Se confirmaron 134 casos de síndrome agudo de irradiación entre los trabajadores de emergencia. De esos pacientes, 41 recibieron dosis de irradiación externa al cuerpo entero inferiores a 2,1 Gy. Otros 93 pacientes recibieron dosis más altas y sufrieron síndrome agudo de irradiación más grave: 50 con dosis de entre 2,2 y 4,1 Gy, 22 con dosis de entre 4,2 y 6,4 Gy, y 21 con dosis de entre 6,5 y 16 Gy. Las dosis a la piel causadas por exposición beta externa evaluadas en ocho pacientes con síndrome agudo de irradiación fueron de 10 a 30 veces superiores a las dosis al cuerpo entero provocadas por irradiación.

Las dosis al tiroides recibidas por las personas evacuadas variaron según la edad, el lugar de residencia y la fecha de evacuación. Por ejemplo, en los residentes en Pripjat, que en su mayoría fueron evacuados dentro de las 48 horas posteriores al accidente, la dosis media al tiroides ponderada en función de la población se estima en 0,17 Gy, con una variación entre 0,07 Gy en los adultos y 2 Gy en los niños menores de 1 año. Para el conjunto de la población evacuada esa dosis media se estima en 0,47 Gy. Las dosis a órganos y tejidos distintos del tiroides fueron, en promedio, mucho menores.

Después de las primeras semanas posteriores al accidente, cuando las exposiciones a la radiación se debieron principalmente al yodo 131, las tasas de dosis fueron mucho más bajas y correspondieron a radionucleidos con períodos de semidesintegración mucho más prolongados. Desde 1987, la dosis total recibida por la población de las zonas contaminadas se debió fundamentalmente a exposición externa provocada por cesio 134 y cesio 137 depositados en el suelo y a exposición interna debida a la contaminación de alimentos por esos radionucleidos. Otras causas, por lo general menos importantes, de exposiciones a la radiación a largo plazo fueron el consumo de alimentos contaminados con estroncio 90 y la inhalación de aerosoles que contenían isótopos de plutonio. Tanto la irradiación externa como la irradiación interna por cesio 134 y cesio 137 provocaron

dosis relativamente uniformes a todos los órganos y tejidos corporales. Las dosis efectivas medias por cesio 134 y cesio 137 recibidas durante los primeros 10 años posteriores al accidente se estiman en 10 mSv, aproximadamente. La dosis efectiva mediana fue de 4 mSv, aproximadamente, y se estima que solo unas 10 000 personas recibieron dosis efectivas superiores a 100 mSv. Se prevé que las dosis efectivas de por vida serán alrededor de un 40 % mayores que las dosis recibidas durante los primeros 10 años posteriores al accidente [105].

3. EL ACCIDENTE DE CRITICIDAD DE TOKAIMURA (JAPÓN)

En 1999 se produjo en Tokaimura (Japón) un accidente de criticidad en una planta de conversión de combustible dedicada al procesamiento de combustible muy enriquecido para un reactor rápido experimental. Mediante procedimientos no autorizados los trabajadores vertieron en un tanque de precipitación 16,6 kg de uranio enriquecido al 18,8 %, lo cual provocó una excursión de criticidad.

Tres trabajadores (A, B y C) recibieron dosis de 10 a 20 Gy, de 6 a 10 Gy y de 1,2 a 5,5 Gy, respectivamente. Los trabajadores (A y B) que recibieron las dosis más altas fallecieron: el primero 83 días y el segundo 211 días después del accidente. De los trabajadores expuestos a la radiación contratados para trabajar en condiciones de exposición radiológica controlada, 21 participaron en la operación de drenaje de agua de la camisa de refrigeración; se estima que las dosis (gamma y neutrones) recibidas por estos trabajadores variaron entre 0,04 y 119 mGy. Seis de ellos participaron en la operación de vertido de ácido bórico en el tanque de precipitación; en su caso las dosis estimadas (gamma y neutrones) variaron entre 0,034 y 0,61 mGy. Con respecto a otros 56 trabajadores que se encontraban en el emplazamiento, las dosis estimadas (gamma y neutrones) variaron entre 0,1 y 23 mGy. En el caso de los tres trabajadores del servicio de emergencia de Tokaimura que llevaron al hospital a los tres trabajadores expuestos (A, B y C), las dosis estimadas (gamma y neutrones) variaron entre 0,5 y 3,9 mGy. Siete trabajadores locales que estaban montando un andamio en una obra en construcción recibieron dosis estimadas (gamma y neutrones) que variaron entre 0,4 y 9,1 mGy [12].

Si bien el accidente de criticidad de Tokaimura tuvo algunas consecuencias para las poblaciones cercanas, no se prevén efectos significativos a largo plazo. De los aproximadamente 200 residentes evacuados de un radio de 350 m, alrededor del 90 % recibieron dosis de hasta 5 mSv y del resto ninguno recibió dosis superiores a 25 mSv. Aun cuando se produjo contaminación medible por deposición de productos de fisión suspendidos en el aire fuera del emplazamiento, esa contaminación no persistió y las lecturas máximas fueron inferiores a $0,01 \text{ mSv h}^{-1}$ [77].

Durante los últimos 50 años han ocurrido varios accidentes de criticidad que en muy poco tiempo dieron lugar a grandes cantidades de radiación. En muchos casos estos accidentes provocaron dosis letales para las personas que estaban cerca del lugar del suceso, pero no emitieron a la atmósfera suficientes materiales radiactivos o provocaron suficiente radiación para generar una amenaza sanitaria a más de 1 km del lugar del suceso (ni, en la mayoría de los casos, a distancias más pequeñas).

4. EL ACCIDENTE DE GOIÂNIA

El accidente radiológico de Goiânia ha sido uno de los más graves ocurridos hasta la fecha; provocó la muerte de cuatro personas y lesiones por radiación en muchas otras, así como la contaminación radiactiva de varias partes de la ciudad.

Goiânia, una ciudad de un millón de habitantes, es la capital del estado brasileño de Goiás. En 1985 se produjo el cese repentino de actividad de un estudio médico privado que administraba una clínica donde había una unidad de radioterapia con una fuente radiactiva muy peligrosa (50,9 TBq cesio-137). Cuando la instalación de la clínica dejó de utilizarse, nadie se hizo responsable de esa unidad de radioterapia. El cierre de la instalación se había precipitado porque el propietario deseaba destinar el emplazamiento a otra actividad. Durante la preparación del emplazamiento para la nueva actividad se demolió parcialmente la clínica, pero el empresario se quedó sin fondos. La unidad de radioterapia quedó abandonada en ese edificio abandonado.

Dos personas del lugar que habían oído comentar que el equipo se encontraba en la clínica abandonada entraron en el edificio, encontraron la unidad de radioterapia y, sin saber de qué se trataba, pensaron que podría venderse como chatarra y retiraron el peligroso conjunto fuente radiactivo del cabezal de la máquina. Se llevaron la fuente a su casa y al tratar de desmontarla provocaron la ruptura de la cápsula. El material radiactivo que contenía la cápsula era sal de cloruro de cesio, una sustancia muy soluble y de fácil dispersión. Después de la ruptura de la cápsula de la fuente, los restos del conjunto fuente se vendieron al propietario de una chatarrería. Este observó que el material de la fuente emitía un resplandor azul en la oscuridad. Varias personas se sintieron atraídas por el fenómeno y durante varios días amigos y familiares acudieron a observarlo. Fragmentos de la fuente del tamaño de un grano de arroz se distribuyeron a varias familias, lo cual provocó exposición externa e ingestión de sal de cloruro de cesio. Esta situación, que se prolongó durante cinco días, causó la contaminación de una zona extensa y la exposición grave de un número de personas que presentaban diversos síntomas, a saber: náuseas y vómitos, y posteriormente lesiones en la piel.

A los pocos días una de las personas que sufrían síntomas fue al médico, pero los síntomas no se relacionaron con la irradiación y la enviaron a casa. Unas dos semanas más tarde, cuando se habían enfermado muchas personas, una mujer pensó que la causa de la enfermedad era el polvo luminoso del conjunto fuente. Puso lo que quedaba en una bolsa, fue en autobús hasta el consultorio del médico, puso la bolsa sobre el escritorio y le dijo que era eso “lo que estaba matando a su familia”. El médico se preocupó, tomó la bolsa y la dejó en un patio, donde permaneció un día.

Aproximadamente al mismo tiempo, uno de los médicos que atendían a las víctimas empezó a sospechar que las lesiones en la piel eran de origen radiológico. Tras una llamada telefónica al médico que había recibido la bolsa con partes de la fuente, este consideró que la bolsa sospechosa debía someterse a monitorización para ver si era radiactiva. Cuando un físico médico acudió al consultorio observó inmediatamente que la aguja de su detector de tasa de dosis se desplazaba hasta el final de la escala, cualquiera fuera la dirección explorada. Supuso que el detector estaba averiado y fue a buscar otro. Al ver que este indicaba tasas de dosis muy altas se convenció de que estaban en presencia de una fuente de radiación importante.

El físico médico y el médico consideraron que debía procederse a la evacuación inmediata de cierto número de personas e informaron de la situación a las autoridades locales, quienes a su vez lo hicieron a las autoridades en Río de Janeiro. Sin embargo, no se adoptaron disposiciones de emergencia en los planos local o nacional para afrontar ese accidente y todos los recursos necesarios se encontraban en Río y en São Paulo, ciudades situadas a 1.300 km de distancia.

Las autoridades locales evacuaron a los residentes de las zonas contaminadas a un estadio de fútbol y a partir del día siguiente llegaron los expertos encargados del cribado. Se tardó cinco días en controlar la emergencia.

En el Estadio Olímpico de Goiânia se estableció un servicio de monitorización de personas y objetos. En total, unas 110 000 personas se presentaron para someterse a monitorización. Se comprobó que entre ellas había 249 con contaminación. Las que solo presentan contaminación externa fueron descontaminadas, pero 129 también sufrían contaminación interna, de manera que fueron derivadas para recibir atención médica. Mediante métodos citogenéticos se determinó que 79 personas habían recibido dosis bajas al cuerpo entero, de manera que se les prestó atención ambulatoria. Cincuenta personas requerían estrecha vigilancia médica: 30 quedaron en observación médica en la unidad de atención primaria y las otras 20 fueron hospitalizadas en una unidad de atención secundaria.

Catorce de estos pacientes requirieron atención médica intensiva y fueron enviados a la unidad de atención terciaria en Río de Janeiro. Durante el mes posterior al suceso, cuatro personas murieron por complicaciones del síndrome agudo de irradiación, entre otras, hemorragias e infecciones [13].

Alrededor de 150 personas que resultaron expuestas y/o contaminadas son objeto de seguimiento; en la Ref. [13] se indican los efectos sanitarios observados en este grupo. Las dosis colectivas por exposición externa e interna se estimaron en 56,3 Sv-persona y 3,7 Sv-persona, respectivamente, con inclusión de 14,9 Sv-persona (exposición externa) y 2,3 Sv-persona (exposición interna) correspondientes a las cuatro personas fallecidas [106].

Inicialmente, los lugares contaminados se determinaron sobre la base de la información que suministraban las personas sometidas a examen médico. En algunos lugares los niveles de contaminación eran altos. Se comprobó que había 85 viviendas con niveles de contaminación significativos y en 41 casos se evacuó a los ocupantes [13]. Se han demolido siete casas. También resultaron contaminados 45 lugares públicos (calles, plazas y comercios). Se detectó contaminación en unos 50 vehículos. Durante seis meses se ejecutó un programa de descontaminación. En total se retiraron 3 500 m³ de desechos [13]. El programa estuvo a punto de detenerse por falta de acuerdo inicial sobre la ubicación del repositorio temporal de desechos. El problema se resolvió gracias a la intervención personal del Presidente del Brasil. El repositorio definitivo se terminó de construir en 1997, diez años después del accidente.

Un total de 755 profesionales participaron en las actividades de respuesta al accidente y posterior descontaminación. Además, se suministró asistencia internacional mediante acuerdos bilaterales y en el marco de la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica.

5. EL ACCIDENTE DE SAN JOSÉ (COSTA RICA)

El suceso empezó el 22 de agosto de 1996 en el Hospital San Juan de Dios de San José cuando se reemplazó una fuente de radioterapia de cobalto 60. Al calibrar la nueva fuente se cometió un error en el cálculo de la tasa de dosis. Debido a este error de cálculo se administraron a los pacientes dosis de radiación significativamente más altas que las prescritas. Fue un accidente radiológico importante y afectó a 115 pacientes con neoplasias que recibían tratamiento de radioterapia. El error fue descubierto el 27 de septiembre y se detuvieron los tratamientos. Oficialmente, la máquina de radioterapia se retiró del servicio el 3 de octubre.

Las mediciones en la máquina y la revisión de los historiales de los pacientes confirmaron que las tasas de exposición habían sido entre un 50 % y un 60 % superiores a las previstas. En julio de 1997 el OIEA sometió a examen y evaluación a 70 de los 73 pacientes que seguían vivos. Se determinó que cuatro pacientes sufrían consecuencias graves; otros 16 presentaban efectos adversos importantes por sobreexposición y estarían en situación de riesgo en el futuro. Había 26 pacientes que no presentaban efectos graves pero corrían cierto riesgo de sufrir efectos en el futuro. En otros 22 no se apreciaban efectos y se consideró que el riesgo de que sufrieran efectos en el futuro era bajo, ya que en el caso de muchos de ellos solo una pequeña parte del tratamiento se había administrado con la nueva fuente. Al menos dos pacientes habían sufrido subexposición. Tres pacientes no fueron examinados.

Al 7 de julio de 1997, es decir, nueve meses después del accidente, habían muerto 42 pacientes. Se examinaron los datos relativos a 34 de estos pacientes. En aquel momento, cuando aún no se habían extraído todas las conclusiones de las autopsias ni había concluido el examen de los historiales, se determinó que tres pacientes podían haber muerto como resultado directo de la sobreexposición a las radiaciones y que en el caso de otros cuatro la sobreexposición figuraba probablemente entre los principales factores de defunción. Se consideró que 22 pacientes habían muerto como consecuencia de su enfermedad y no de la exposición a la radiación; en el caso de otras cinco defunciones no se disponía de información o la información disponible no era concluyente. En el cuadro 2 se resumen los resultados del examen de los pacientes y los historiales.

CUADRO 2. RESULTADOS DEL EXAMEN MÉDICO [20]

Nº de pacientes	Efectos perjudiciales en los pacientes sobrevivientes
4	Efectos graves
16	Efectos acusados con altos riesgos de secuelas futuras
26	Efectos de radiación no graves en la fecha del examen; riesgo parcial de efectos en el futuro
22	No hay efectos de radiación en la fecha del examen; bajo riesgo de efectos en el futuro
2	Subexposición por suspensión de radioterapia (tras detectarse el error)
3	Pacientes no examinados; uno de ellos podría sufrir efectos en el futuro
Total 73	
Nº de muertes	Resultados del examen de los pacientes fallecidos
3	Exposición considerada como la causa principal de la muerte
4	Exposición considerada como importante factor coadyuvante
22	Muerte debida al tumor o a causas distintas a la exposición
5	Datos insuficientes para emitir un dictamen
8	Datos de pacientes que no fueron examinados
Total 42	

6. EL ACCIDENTE DE SAN SALVADOR

En febrero de 1989 ocurrió un accidente en una instalación de irradiación industrial cerca de San Salvador (El Salvador). Durante el proceso de esterilización de productos médicos empaquetados mediante irradiación de una fuente de cobalto 60 instalada en un bastidor móvil, el bastidor quedó bloqueado en la posición de irradiación. El operador (trabajador A) violó los sistemas de seguridad del irradiador, que ya estaban deteriorados, y entró en la sala de irradiación. Ese trabajador trató de ajustar el bastidor, pero no pudo desbloquearlo y al cabo de cinco minutos abandonó la sala. Poco después regresó con dos trabajadores (B y C) de otro departamento, que carecían de experiencia en la instalación de irradiación, para que lo ayudaran a desbloquear el bastidor manualmente [14].

Los elementos de la fuente de cobalto 60 estaban contenidos en lápices de acero inoxidable de doble cápsula de unos 45 cm de longitud con tapones firmes del mismo material de aproximadamente 1 cm de diámetro en los extremos. La fuente tenía dos módulos, cada uno de ellos con 14 lápices activos y 40 lápices simulados inactivos (barras separadoras de acero inoxidable). Cuando la fuente se instaló, en junio de 1975, la radiactividad total de la fuente gamma de cobalto 60 era de 4,0 PBq (108 kCi). Cuando ocurrió el accidente, su radiactividad había disminuido a 0,66 PBq (18 kCi).

Al día siguiente la empresa tuvo conocimiento de que se habían recibido partes de enfermedad para justificar la inasistencia de los trabajadores A, B y C; ahora bien, en esos partes se decía que esos hombres sufrían intoxicación alimentaria. La empresa no supo que el accidente había causado lesiones radiológicas a los trabajadores hasta que, al cuarto día, personal médico del hospital se puso en contacto con ella. Sin embargo, aún no se reconocía la importancia de las lesiones.

Durante el resto de la semana la instalación funcionó más o menos normalmente, con el número habitual de paradas para efectuar reparaciones, las cuales suelen requerir la entrada a la sala de irradiación. Se piensa que el bastidor portafuentes se averió en el primer suceso, a raíz de lo cual esa misma semana se produjo un segundo suceso en cuyo transcurso los lápices salieron despedidos del módulo superior de la fuente. Más tarde se comprobó que un lápiz activo había quedado en la sala de irradiación; todos los otros habían caído en la piscina de agua.

Al sexto día se detectó el alto nivel de radiación en la sala de irradiación (por la presencia del lápiz activo). La empresa pidió ayuda al proveedor y este envió a dos operarios que localizaron el lápiz y lo pusieron en la piscina. Al principio se pensó que este segundo suceso no había provocado la exposición de ningún trabajador. Sin embargo, las pruebas citogenéticas realizadas durante la investigación del accidente indicaron que cuatro trabajadores habían recibido dosis superiores a los límites de exposición ocupacional.

El detector de tasa de dosis estaba instalado en la pared de la sala de irradiación y estaba conectado con la puerta de acceso para evitar que el personal entrara si se registraban niveles de radiación anormales. Para entrar había que apretar el botón de prueba del detector. Ahora bien, más de cinco años antes del accidente se había producido un fallo en la sonda del detector y se había retirado el conjunto de sonda, sin quitar los cables. La retirada de la sonda debía desactivar el irradiador, pero se descubrió que era posible entrar a la sala de irradiación apretando el interruptor de prueba y girando varias veces los botones del panel del detector. Este método se convirtió en el procedimiento

“habitual” para acceder a la sala de irradiación. Con lo cual se violaba una importante característica de seguridad del diseño [14].

La práctica de utilizar el detector de tasa de dosis fuera de la puerta (cerrada) de acceso del personal a la sala de irradiación desempeñó un papel decisivo en la exposición de al menos cuatro trabajadores (el encargado de mantenimiento y los trabajadores X, Y y Z) durante el segundo suceso. La tasa de dosis fuera de la puerta habría debido ser 30 veces inferior a la tasa detectable ya en el interior del laberinto de entrada. Si bien un bastidor portafuentes (completo o semicompleto) en posición elevada se podía detectar con el monitor instalado fuera de la puerta cerrada, la presencia del lápiz activo solo podía registrarse con un detector ubicado en el laberinto de entrada.

Ningún trabajador portaba dosímetro personal. Su exposición solo se descubrió posteriormente, cuando se realizaron pruebas citogenéticas de todos los trabajadores que podían haber sufrido exposición como resultado del accidente. Las dosis estimadas para esos cuatro trabajadores variaron entre 0,09 Gy y 0,22 Gy. Si no se hubiera detectado el alto nivel de radiación debido a la presencia del lápiz activo en la sala de irradiación, el personal operacional podría haber acumulado dosis mucho mayores, incluso letales, por exposición incontrolada continua.

Los tres trabajadores (A, B y C) que resultaron expuestos a dosis de radiación altas desarrollaron síndrome agudo de irradiación. Su tratamiento hospitalario en San Salvador (y posterior tratamiento más especializado en México D.F.) fue eficaz para contrarrestar los efectos agudos. Sin embargo, dos de las víctimas presentaban lesiones tan graves en piernas y pies que hubo que amputarlos. El trabajador A, que había recibido la exposición más intensa, falleció seis meses y medio después del accidente: su muerte se atribuye a daño radiológico residual en pulmón, agravado por lesión sufrida durante el tratamiento.

En el caso del trabajador B, después de la amputación, el suministro de apoyo psicológico se convirtió en el factor más importante para su ulterior evolución. En cuanto al paciente C, gracias a la terapia rehabilitadora indicada posteriormente empezaron a aliviarse los efectos crónicos residuales, sobre todo en el pie con mayor exposición [14].

7. LA EMISIÓN DE MATERIALES PELIGROSOS EN BHOPAL (INDIA)

La filial India de la Union Carbide Corporation tenía una instalación en Bhopal donde utilizaba isocianato de metilo (ICM) para fabricar un plaguicida. El ICM es una sustancia muy tóxica, inflamable y soluble en agua. Si bien las proyecciones habían indicado grandes posibilidades de venta, este plaguicida tuvo poca demanda en el mercado y la planta no era rentable. Para ahorrar dinero, la empresa recortó los fondos destinados a actividades de capacitación en seguridad y de mantenimiento. Una noche de 1984 ocurrió un accidente a raíz del cual se produjo una emisión no controlada de ICM que superó los dispositivos de seguridad de la planta. Por razones de economía se había decidido no construir una antorcha donde se hubiera podido quemar el gas de escape ni la cortina de agua donde hubiera podido disolverse para luego verterlo sin daño en una piscina colectora del emplazamiento. En cambio, la nube de gas derivó a sotavento sobre un barrio de tugurios donde vivían miles de personas. Lo peor fue que durante el accidente se activó una sirena de alarma cuyo sonido atrajo a una multitud de personas que acudieron a la planta para ver qué pasaba. El ICM atacó los ojos, las membranas mucosas

y los pulmones con un saldo estimado de 2 000 personas muertas y otras 20 000 que sufrieron lesiones graves. La precariedad de las viviendas impidió que sirvieran de refugio eficaz y debería haberse emprendido una evacuación al menos parcial de la zona afectada. Además, si la población hubiera sabido que el ICM es soluble en agua la exposición habría sido menor porque las víctimas hubieran podido cubrirse la cara con toallas húmedas [81].

8. LOS HURACANES KATRINA Y RITA

El huracán Katrina mató a casi 1 500 personas, por lo que se convirtió en el más mortífero de los últimos 80 años en los Estados Unidos y el tercero más mortífero en la historia de ese país. La mayoría de las muertes se registraron en Nueva Orleans después de que cedieran algunos de los diques que protegían a la ciudad. El huracán también causó pérdidas por valor de 75 000 millones de dólares, por lo que se convirtió en el desastre más costoso en la historia del país. El efecto económico total, que abarca las pérdidas indirectas por interrupción de las actividades, se cifró aproximadamente en el doble de esa cantidad.

El huracán Rita impactó una zona ubicada en la frontera entre los estados de Louisiana y Texas, pero causó menos muertes porque las evacuaciones comenzaron antes y la observancia de las instrucciones fue mayor que en el caso de Katrina. Rita causó menos destrucción (unos 10 000 millones de dólares) porque la densidad de población de la zona afectada era menor [62]. A continuación se presenta una evaluación preliminar de la información.

Evaluación de las emergencias

En el caso de los huracanes la evaluación de las emergencias incumbe principalmente al Servicio Meteorológico Nacional y en particular al Centro Nacional de Huracanes (CNH) y sus oficinas locales de pronóstico. Se llevó a cabo una vigilancia adecuada de ambas tormentas y se difundió información oportuna a las autoridades federales, estatales y locales, así como a los medios de comunicación. En el caso del huracán Katrina, el 27 de agosto de 2005 el CNH emitió una *Alerta de huracán* a las 10:00 horas y un *Aviso de huracán* a las 22:00 horas. El ojo del huracán se abatió sobre la frontera entre los estados de Louisiana y Mississippi el 29 de agosto alrededor de las 11:00 horas. En el caso de Rita, el CNH emitió el 21 de septiembre de 2005 una *Alerta de huracán* a las 16:00 horas y el 22 de septiembre un *Aviso de huracán* a las 11:00 horas. El ojo del huracán impactó en la frontera entre los estados de Texas y Louisiana el 24 de septiembre hacia las 4:00 horas.

Protección de la población

Las autoridades locales de Nueva Orleans tardaron demasiado en emitir una orden de evacuación en el caso del huracán Katrina –la emitieron el 28 de agosto, un día antes de su llegada– aun cuando habían decidido emitirla casi 30 horas antes. Al parecer, el retraso se debió a problemas que debían haberse resuelto en una planificación previa. Muchas familias consiguieron marcharse, en parte porque algunas lo hicieron antes de que se emitiera la orden oficial de evacuación. Pero muchas otras permanecieron en la ciudad por falta de medios de transporte. De hecho, aproximadamente un tercio de las familias de Nueva Orleans no tenían vehículos particulares o los que poseían no eran suficientemente fiables para viajar fuera de la ciudad. Cuando esta se inundó, muchas

personas que habían permanecido en ella fueron obligadas a salir de su casa para alojarlas en el estadio Superdome y el Centro de Convenciones. En estas instalaciones no había reservas de alimentos y de agua ni generadores de emergencia.

Inmediatamente entraron en acción helicópteros de la Guardia Costera de los Estados Unidos para realizar operaciones de búsqueda y salvamento, los cuales prosiguieron después con el apoyo de grupos de Búsqueda y Rescate Urbano que acudieron desde otros estados. A medida que salían de la zona afectada, las víctimas eran transportadas a servicios de atención colectiva repartidos a lo largo del país. La distribución de los evacuados fue muy variable: decenas de miles de personas fueron enviadas a Houston, Dallas y San Antonio, algunas familias fueron enviadas a sitios tan alejados como Minneapolis y Salt Lake City, ubicados a miles de millas de Nueva Orleans. Hubo familias desmembradas que tardaron varias semanas en volver a reunirse. El suministro de atención médica representó un problema grave tanto durante la tormenta como inmediatamente después. El personal de algunas casas de salud abandonó a sus pacientes antes de que llegara el huracán y algunos de los pacientes se ahogaron cuando la ciudad se inundó. Hubo unos pocos hospitales que siguieron funcionando durante la emergencia, pero pocas personas pudieron llegar a ellos. Después de la tormenta se controló estrictamente el acceso a Nueva Orleans y a otras zonas afectadas. Incluso condados que habían sufrido daños mínimos (como los de St. Charles y Jefferson, al oeste de la ciudad) mantuvieron la prohibición de regresar hasta una semana más tarde.

Las órdenes de evacuación por el huracán Rita se empezaron a emitir el 21 de septiembre, tres días antes de su llegada. El alcalde de Houston instó a las personas que vivían en “zonas de baja altitud” a que las evacuaran, pero esa instrucción era ambigua, ya que la ciudad está construida en un terreno muy llano. La gestión del tráfico durante la evacuación resultó muy complicada debido a que el número de evacuados (estimado en 1,6 millones) fue muy superior a las proyecciones (alrededor de 500 000). El gran volumen de tráfico causó graves embotellamientos y retrasos en la evacuación de la zona donde acabó aterrizando el huracán. Estos problemas se resolvieron cuando se invirtió la dirección de los carriles de llegada y se los habilitó para la circulación de salida. El gran número de evacuados provocó una considerable presión en los recursos de alojamiento. Las actividades de búsqueda y salvamento después del huracán tuvieron un alcance limitado pero fueron eficaces porque el huracán impactó en una zona poco poblada. La atención médica fue, en general, mejor que en el caso del Katrina, porque la evacuación de los hospitales y las casas de salud se efectuó antes de que llegara la tormenta, pero 24 residentes en casas de salud murieron cuando el autobús que los transportaba se incendió.

Operaciones para afrontar los peligros

Las tareas de reparación de los diques dañados en Nueva Orleans se pusieron en marcha cuando empezó la inundación. Además, desde fuera de la comunidad se aportó una gran cantidad de recursos para retirar los escombros y rehabilitar la infraestructura en la zona afectada (energía eléctrica, agua, alcantarillado, transporte y telecomunicaciones). En las zonas dañadas de Mississippi y Alabama se emprendieron labores similares. Lamentablemente, estas operaciones no se ejecutaron con suficiente rapidez por problemas de coordinación. En un caso, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias rechazó recursos útiles de personal y equipo aportados por otro organismo federal.

Gestión de los incidentes

Los fallos de gestión más graves en ambas emergencias fueron, probablemente, la insuficiente dotación de personal policial y de autobuses para la evacuación en Nueva Orleans y de controladores de equipaje en el aeropuerto de Houston, así como las deficiencias en materia de logística, coordinación externa, comunicaciones y documentación. Los organismos locales, estatales y federales no tuvieron información precisa sobre la situación o sobre las actividades de respuesta de otras organizaciones. El alcalde de Nueva Orleans afirma que el 29 de agosto solicitó asistencia federal, pero esta solo empezó a llegar cuatro días más tarde. El retraso se produjo al parecer, por discrepancias entre los gobiernos federal y estatal sobre el nivel de gobierno que debía encargarse de la emergencia. A nivel federal, esa función no se encomendó a la Agencia para el Manejo de Emergencias (que normalmente se encarga de las operaciones en casos de desastre) sino a las fuerzas armadas. La información pública fue en general correcta, en gran medida porque los medios de comunicación dieron amplia cobertura a ambas emergencias. De hecho, la cobertura televisiva fue, al parecer, una importante fuente de información para las organizaciones de respuesta. Los reporteros describieron en detalle las lamentables condiciones de vida en el estadio Superdome y en el Centro de Convenciones de Nueva Orleans, así como los grandes embotellamientos en las afueras de Houston. Sin embargo, esos medios también difundieron rumores infundados sobre actos de violencia y exageraron considerablemente la importancia de los actos delictivos en Nueva Orleans [62].

9. LOS ATENTADOS DE LONDRES DEL 7 DE JULIO DE 2005

En la mañana del 7 de julio de 2005 se produjeron en el centro de Londres cuatro explosiones separadas, pero interrelacionadas, cuando atacantes suicidas detonaron otras tantas bombas en la red de transporte pública. Tres bombas estallaron en la red de metro y la otra en un autobús; el saldo fue de 52 muertos y unos 700 lesionados. Cada uno de esos sucesos constituyó un incidente grave de por sí y su efecto acumulado planteó el serio desafío de tener que aplicar disposiciones de respuesta a emergencias sin saber si estaban por producirse o no nuevos ataques.

Muy pronto los primeros actuantes pudieron confirmar que no había radiación y que en los ataques no se habían utilizado componentes químicos, biológicos, radiológicos o nucleares. No obstante, para entonces todas las organizaciones que hubieran tenido que intervenir en caso de que se comprobara la presencia de esos componentes ya habían empezado a activar sus capacidades de respuesta a emergencias. Esto representó, de por

sí, una experiencia valiosa, teniendo en cuenta que muchas de estas organizaciones también debían desempeñar otras funciones en emergencias convencionales. Por ejemplo, la principal organización de protección contra la radiación, la Agencia de Protección de la Salud (HPA), también tenía otras divisiones que prestaban asesoramiento sobre una variedad de problemas de salud pública, como la posible exposición a sustancias químicas en el metro de Londres después de las explosiones, y la prevención de la propagación de infecciones transmitidas por sangre y fluidos corporales. En general, las disposiciones de respuesta a emergencias fueron eficaces, pero, obviamente, también se extrajeron lecciones, muchas de las cuales guardaban relación con las disposiciones de preparación en materia de protección radiológica [102, 107].

En la época de los ataques la HPA era una organización relativamente nueva en la que se había agrupado a una serie de organizaciones consolidadas que ya tenían antecedentes en materia de respuesta a emergencias. Si bien se habían hecho progresos para unificar los procedimientos, era evidente que aún debían mejorarse las disposiciones de mando y control, además de definir con mayor claridad las distintas competencias. Esta tarea se completó aproximadamente un año después, cuando se introdujeron nuevas mejoras sobre la base de la experiencia adquirida en las emergencias relacionadas con la epidemia de gripe aviar, lo cual fue un factor decisivo para responder con eficacia al posterior incidente de Londres relacionado con el polonio 210.

Uno de los efectos de los ataques perpetrados durante la hora de mayor tráfico fue la paralización de las redes de transporte públicas, razón por la cual muchas personas no pudieron llegar al trabajo. A raíz de esta experiencia, la HPA modificó sus planes de emergencia a fin de que su Centro Nacional de Coordinación de Emergencias funcionara en cualquiera de sus cuatro sedes principales; estas instalaciones estaban dotadas de equipos similares para que pudieran utilizarse como salas de reunión/instalaciones de capacitación o bien como centros de operaciones de emergencia. Cuando ocurrieron los atentados el Centro Nacional de Coordinación se había establecido en la sede de la HPA en Londres y también estaba en funcionamiento el Centro de Operaciones de Emergencia de la División de Protección Radiológica.

Uno de los problemas que se detectaron en relación con estos sucesos, así como con el posterior incendio en el depósito de petróleo de Buncefield (diciembre de 2005) [108], se refirió a las dificultades que existían para evaluar con rapidez los datos de monitorización ambiental a fin de efectuar evaluaciones del riesgo que proporcionaran una base sólida para asesorar a los encargados de las actividades de respuesta y al gobierno. A raíz de esta constatación las disposiciones de respuesta se modificaron con objeto de que durante los sucesos se destacaran junto al personal de la HPA asesores científicos de la policía encargados de la monitorización en los diferentes lugares de delitos. Esta medida facilitó el intercambio de datos de monitorización y otra información pertinente obtenida tanto en los lugares de los delitos como en la monitorización ambiental de lugares públicos a cargo de la HPA.

10. EL INCIDENTE DE LONDRES RELACIONADO CON EL POLONIO 210, 2006

El 23 de noviembre de 2006, Alexander Litvinenko murió en Londres supuestamente envenenado con polonio 210, un emisor casi puro de partículas alfa. Muchos lugares de la ciudad resultaron contaminados debido al envenenamiento y a los sucesos que lo precedieron. Las posibles incorporaciones de polonio 210 procedentes de la contaminación plantearon un riesgo de la salud pública y suscitaron considerable preocupación en el público. Dada la magnitud del suceso, en la respuesta a esta emergencia tuvieron que intervenir múltiples organismos, incluido el máximo nivel de gobierno, que adoptó disposiciones para la gestión de la respuesta. La Agencia de Protección de la Salud (HPA) se encargó de coordinar y gestionar la respuesta de salud pública en esta emergencia que abarcó a miles de personas [33].

Al mismo tiempo, el Servicio de Policía Metropolitana de Londres puso en marcha una investigación penal. A medida que avanzó la investigación se indicaron numerosos lugares donde era posible que hubiese contaminación radiactiva. Con objeto de establecer prioridades y gestionar los medios de monitorización y demás recursos necesarios para responder a una situación de emergencia en rápida evolución, era fundamental mantener buenos enlaces con la policía y otros organismos. Se encontró contaminación con polonio 210 en decenas de lugares, con inclusión de hospitales, hoteles, oficinas, restaurantes, bares y medios de transporte. En algunos casos pudieron aplicarse procedimientos sencillos de descontaminación mientras se llevaba a cabo la monitorización, tras lo cual el lugar se declaró de acceso público seguro. Pero en otros lugares eso no fue posible porque los niveles de contaminación obligaron a prohibir el acceso del público hasta que se realizaran las necesarias labores de restauración o de descontaminación. La fase más intensa de la respuesta duró hasta enero de 2007, y la de recuperación se prolongó hasta el verano.

Hospitalización y reconocimiento

Como en muchos otros incidentes, se tardó cierto tiempo en descubrir que la causa había sido la exposición a la radiación. El 3 de noviembre, pocos días después del envenenamiento, el Sr. Litvinenko ingresó en un hospital general del norte de Londres con un cuadro de vómitos, diarrea y dolor abdominal. Su estado se agravó y fue trasladado a un hospital especializado de Londres. Se informó de que en una entrevista telefónica había dicho que lo habían envenenado. Se investigaron varias causas posibles, entre ellas el envenenamiento químico y los efectos de la radiación ionizante. Con respecto a esta última, ya se habían realizado mediciones de contaminación y tasa de dosis en el paciente y su entorno hospitalario, pero no se había detectado radiación. La clave está en que en un entorno médico no se prevé que pueda haber contaminación alfa, de manera que no había detectores capaces de detectar ese tipo de contaminación.

Pocos días antes de la muerte del Sr. Litvinenko, el Servicio de Policía Metropolitana, que investigaba la denuncia de envenenamiento, solicitó la asistencia de sus asesores científicos y de la HPA para determinar la posible causa de ese cuadro clínico. Las pruebas detectaron la presencia de una cantidad significativa de polonio 210 en el cuerpo del Sr. Litvinenko. Las evaluaciones iniciales de la HPA indicaron que para explicar su evolución clínica la incorporación debía ser superior a 1 GBq de dicha sustancia [109]. Además, la exposición a sus fluidos corporales y a cualquier otro material radiactivo

(cuya dispersión era probable) podía plantear un riesgo de salud pública considerable. Por otra parte, no se sabía si se trataba de un único suceso o había habido otros incidentes conexos, relacionados con más de una fuente de material radiactivo.

Estrategia de la respuesta de salud pública

Para afrontar los peligros asociados con este incidente, la HPA definió los objetivos fundamentales de la respuesta de salud pública que se resumen a continuación:

- Evitar la ulterior exposición del público:
 - colaborar estrechamente con la policía para contribuir a su investigación penal e identificar a las personas y los lugares que puedan estar contaminados;
 - elaborar una estrategia de monitorización ambiental para apoyar esa labor;
 - realizar evaluaciones y prestar asesoramiento sobre el acceso público a los lugares contaminados y su restauración.
- Evaluar los riesgos de las personas potencialmente expuestas:
 - elaborar y aplicar criterios de evaluación del riesgo;
 - ofrecer y realizar monitorización personal por análisis de orina e informar de sus resultados.
- Asesorar y tranquilizar a las personas expuestas y al público en general.

Las actividades necesarias para lograr estos objetivos abarcaron la determinación de los lugares donde había, o podía haber habido, contaminación a raíz del envenenamiento; la obtención de información basada en la monitorización ambiental y el conocimiento de las actividades emprendidas en esos lugares; la evaluación de las posibles modalidades y magnitudes de la incorporación de polonio 210 y, posteriormente, la identificación de los casos que pudieran requerir examen clínico o seguimiento individual y el establecimiento de las prioridades pertinentes.

Gestión de la respuesta

El incidente requirió una respuesta en la que intervinieron múltiples organismos con arreglo al Marco de Respuesta a Emergencias del Reino Unido [94]. Los servicios del Gobierno encargados de la gestión de crisis se activaron en las Salas de Prensa de la Oficina del Gabinete, donde el Comité de Contingencias Civiles (CCC) asumió la gestión general de la respuesta. En un nivel inferior, el Grupo de Coordinación Estratégica (SCG), presidido por la policía, se encargó de coordinar las actividades de los distintos organismos para cumplir las instrucciones del CCC. En general las disposiciones de respuesta funcionaron correctamente. Si bien el caso del incidente no correspondía en absoluto a las situaciones hipotéticas previstas en los sectores de la seguridad nuclear y la lucha contra el terrorismo, la respuesta integrada se benefició claramente de la experiencia adquirida en el importante programa de ejercicios establecido en estos sectores.

Casi desde el primer día se vio que el incidente tendría una fase de recuperación bastante larga, de manera que el SCG adoptó prontamente la decisión de establecer un subgrupo, el Grupo de Trabajo de Recuperación (RWG) presidido por el Consejo Municipal de Westminster, que actuaba en nombre de los distintos municipios donde había lugares

contaminados. Durante las fases de respuesta temprana el RWG elaboró una estrategia marco y diversos procesos para la restauración y dispensa de los lugares contaminados [94]. Esta labor fue importante para definir con claridad las responsabilidades, así como los protocolos y procedimientos que debían utilizarse.

Monitorización ambiental y evaluaciones

Unos de los primeros lugares en que intervinieron los grupos de monitorización ambiental fueron los hospitales donde había sido tratado el Sr. Litvinenko. Existía un claro riesgo potencial de que sus fluidos corporales hubieran sido fuentes de contaminación. En los hospitales se detectaron niveles de contaminación bajos; sin embargo, teniendo en cuenta las estrictas normas de limpieza aplicadas en esos establecimientos, es probable que los niveles de contaminación hayan sido considerablemente más altos cuando estuvo ingresado el Sr. Litvinenko. Por consiguiente, se estimó necesario realizar monitorizaciones individuales del personal que había estado en contacto con él. Se detectaron algunas incorporaciones, pero de nivel relativamente bajo, en parte debido al uso rutinario de equipo protector personal y de procedimientos de asepsia.

La investigación penal avanzó rápidamente y permitió determinar los desplazamientos de personas pertinentes y lugares que podían estar contaminados. En pocas semanas se detectaron más de 40 lugares que debían ser objeto de monitorización y evaluación como escenas del delito, por la policía y sus asesores científicos, o como riesgos de salud pública, por la HPA. En el segundo caso se aplicaron algunas de las disposiciones nacionales de respuesta a emergencias nucleares civiles y militares, y la HPA coordinó el programa de monitorización utilizando recursos de varias organizaciones de diversas partes del Reino Unido. En el momento más crítico había 70 especialistas en monitorización que trabajaban en turnos. Un descubrimiento clave fue que la contaminación no estaba distribuida de manera uniforme, sino en fracciones separadas, y que cuando estaba fijada en superficies duras no se quitaba fácilmente, por lo cual su incorporación resultaba difícil.

Utilizando técnicas de modelización y la corriente de datos de monitorización ambiental se elaboraron estimaciones de los rangos de posibles dosis de radiación a personas en restaurantes, bares, oficinas, hoteles, hospitales, automóviles y medios de transporte público donde se habían detectado zonas contaminadas con polonio 210, así como a las que habían estado en contacto con personas potencialmente contaminadas con esta sustancia. Se tuvieron en cuenta las posibilidades de incorporación –por ingestión, inhalación o heridas– de polonio 210 depositado en objetos y superficies que se hubieran contaminado directamente o bien a través de fluidos corporales. Sobre la base de estas evaluaciones se elaboraron cuestionarios de cribado para identificar a las personas que debían ser objeto de monitorización individual. También se tuvieron en cuenta los posibles impactos radiológicos de las descargas de polonio 210 desde los dos hospitales a la red de alcantarillado y de la incineración de los desechos hospitalarios, así como las posibles consecuencias de la inhumación o la cremación del cadáver del Sr. Litvinenko.

Respuesta de salud pública

El 25 de noviembre, después de efectuar una evaluación del riesgo, la HPA difundió por los medios de comunicación un mensaje en el que pedía a los miembros del público que

hubieran estado en los lugares potencialmente contaminados en un determinado período de tiempo que llamaran al número de NHS Direct (un servicio telefónico de asistencia disponible durante las 24 horas). Se elaboró un cuestionario para facilitar la obtención de información clave durante las llamadas. Los datos relativos a las personas que llamaron porque habían estado en los lugares señalados se transmitieron a la HPA para ulterior evaluación y seguimiento de su estado de salud. En total se efectuaron 3 837 llamadas a NHS Direct y se transmitieron 1 844 cuestionarios a la HPA para el seguimiento de los casos. Además de este grupo de personas, también había que tener en cuenta al personal que trabajaba en los distintos lugares determinados en la investigación policial y a las otras personas que, según constaba, habían estado en esos lugares.

Se asignó un grupo de salud pública a cada uno de los principales lugares, para cada uno de los cuales se elaboraron evaluaciones del riesgo y cuestionarios destinados a identificar a las personas en situación de riesgo que requerían monitorización mediante una técnica de espectrometría alfa en muestras de orina de 24 horas. En el curso de esta labor fue preciso explicar el proceso y responder a numerosas preocupaciones del personal y los directivos de los establecimientos afectados. Esta tarea también se vio dificultada por el hecho de que la lengua materna de muchos empleados de los hoteles no era el inglés. Un grupo de evaluación clínica se encargó del cribado de las personas señaladas por cualquier fuente de información como portadoras de síntomas potencialmente relacionados con efectos de la radiación o que daban muestras de grave preocupación. De las 186 personas examinadas por este grupo, 29 fueron enviadas para su examen a una clínica especializada donde se comprobó que ninguna de ellas sufría efectos de radiación agudos.

Programa de monitorización individual

Muy pronto se vio que el número de personas que requerirían análisis de orina sería muy grande: cientos o, quizá, miles. Para afrontar esta situación, y teniendo en cuenta el ritmo con que se iba identificando a esas personas, la HPA elaboró rápidamente una técnica de monitorización y unos protocolos que se utilizaron en tres laboratorios de distintas partes del Reino Unido. También se establecieron arreglos de emergencia con otros laboratorios de Europa y con el OIEA para el caso de que fuera necesario recurrir a ellos.

En total se procesaron y evaluaron muestras de orina de 752 personas [110]. Hubo que elaborar un protocolo de comunicación para indicar los resultados en bandas de dosis. El polonio 210 se produce naturalmente y en pequeñas cantidades está presente en la orina de todas las personas. El nivel mínimo de comunicación de resultados se fijó en 30 milibecquerels por muestra de 24 horas, para estar seguros de que cualquier resultado superior guardara probablemente relación con el suceso. Cuando las incorporaciones superaban el nivel mínimo de comunicación se llevaba a cabo un análisis de la dosis efectiva comprometida. Los datos de monitorización individual agregados se difundían regularmente en los comunicados de prensa de la HPA. En total hubo 86 personas con cantidades de polonio 210 en orina superiores al nivel mínimo de comunicación, pero sus dosis no llegaban 1 mSv. En otras 36 personas las dosis variaban entre ≥ 1 mSv y < 6 mSv; 17 personas tenían dosis ≥ 6 mSv. Del grupo que tenía dosis más altas, 14 personas eran empleados y visitantes del bar de un hotel, dos eran empleados de otro hotel y una era un miembro de la familia del Sr. Litvinenko que lo había cuidado hasta su

ingreso en el hospital. Esta última persona presentaba la dosis evaluada más alta: aproximadamente 100 mSv.

Seguimiento de visitantes extranjeros

Además de los residentes en el Reino Unido, un gran número de las personas potencialmente expuestas a polonio 210 eran extranjeros que habían estado en alguno de los hoteles o en otros lugares relacionados con el incidente o habían pasado por ellos. Fue preciso localizar a esas personas por medio de canales diplomáticos y de salud pública. A tal efecto, la HPA creó un grupo asesor para el extranjero. No resultó fácil establecer los contactos apropiados en los distintos países. En este proceso se contó con la ayuda del OIEA. Se intentó realizar el seguimiento de un total de 664 personas de 52 países y territorios. Resultó bastante difícil obtener información sobre los resultados debido a la legislación vigente en materia de protección de datos o por consideraciones relacionadas con el secreto médico. No obstante, se recibieron resultados correspondientes a alrededor de una cuarta de las personas identificadas. Ninguna de esas personas había recibido dosis superiores a 6 mSv y en cinco de ellas las dosis variaban entre ≥ 1 mSv y < 6 mSv. En ocho personas los niveles de polonio 210 en orina eran superiores al nivel mínimo de comunicación de resultados, pero inferiores a 1 mSv [102].

Comunicación con el público y los medios de información

Durante el incidente se decidió mantener la relación más abierta posible con los medios de información y con el público, respetando al mismo tiempo la confidencialidad de las investigaciones policiales y la sensibilidad de las personas involucradas en el incidente. La primera conferencia de prensa, celebrada el 24 de noviembre, fue fundamental para marcar el tono. En esa ocasión la HPA anunció que las pruebas practicadas al Sr. Litvinenko indicaban la presencia de una cantidad significativa de polonio 210, explicaron en qué consistía la radiación alfa y aclararon que esta sustancia solo representaba un peligro cuando era ingerida, inhalada o absorbida por heridas. También se mencionó la monitorización que se estaba llevando a cabo en los lugares determinados por la policía.

Durante los días y semanas subsiguientes, se emitieron numerosas entrevistas por radio y televisión y hasta Navidad la HPA difundió comunicados de prensa diarios, además de atender miles de llamadas de los medios de comunicación y mantener actualizada la información publicada en el sitio web. Se desplegaron esfuerzos considerables para mantener los enlaces con otros participantes en las actividades de respuesta a fin de poder transmitir al público una imagen coherente de lo que estaba ocurriendo.

APÉNDICE II
DESCRIPCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE
EMERGENCIAS RADIOLÓGICAS

El presente apéndice contiene descripciones resumidas normalizadas de diferentes tipos de emergencias radiológicas y los datos estadísticos conexos. Las emergencias se agrupan por tipo de práctica. Los cuadros 3 a 11 se han adaptado fundamentalmente de la Ref. [32].

CUADRO 3. EMERGENCIAS DE CRITICIDAD NUCLEAR

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1945	Estados Unidos	Nuevo México (Los Álamos)	Investigación nuclear	2 personas expuestas: 1 muerto	0,5–5,1 Gy	ND	Procedimiento inseguro; durante un experimento con el conjunto crítico a un científico se le escapó de la mano un bloque de carburo de tungsteno que cayó en el conjunto.	[77]
2	1946	Estados Unidos	Nuevo México (Los Álamos)	Investigación nuclear	8 personas expuestas: 1 muerto	0,37–21 Gy	ND	Procedimiento inseguro; en una demostración de conjunto crítico reflejado por berilio se soltó el reflector y se produjo una excursión crítica.	[77]
3	1952	Estados Unidos	Illinois (Argonne)	Investigación nuclear	4 personas expuestas	0,1–1,6 Gy	ND	No se siguió el procedimiento operacional prescrito durante el reemplazo de una barra de control.	[77, 111]
4	1953	URSS	Chelyabinsk (complejo de Mayak)	Investigación nuclear y procesamiento	2 personas expuestas: 1 con SAI grave y amputación de piernas	1–10 Gy	ND	Defecto de diseño; uso de geometría inadecuada para mezcla, dilución, almacenamiento, etc. de productos de nitrato de plutonio.	[112]
5	1957	URSS	Chelyabinsk (complejo de Mayak)	Investigación nuclear y procesamiento	6 personas expuestas: 1 muerto, otras 5 personas con SAI	3–30 Gy	ND	Defecto de diseño; acumulación de oxalato de uranio por geometría insegura en una caja de guantes.	[77, 111, 112]
6	1958	URSS	Chelyabinsk (complejo de Mayak)	Investigación nuclear y procesamiento	4 personas expuestas: 3 muertos, 1 sobreviviente (por estar más alejado)	Casos letales 60 Gy las otras personas 6 Gy	ND	Geometría insegura durante el drenaje de una solución de uranio; el reflector neutrónico contribuyó a la criticidad.	[77, 111, 112]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
7	1958	Estados Unidos	Tennessee (Oak Ridge)	Procesamiento nuclear	8 personas expuestas	0,69–3,65 Gy	ND	Una fuga de válvula produjo el vertido imprevisto de una solución de uranio enriquecido a un bidón de 55 galones (208 litros). Criticidad por geometría insegura.	[113]
8	1958	Estados Unidos	Nuevo México (Los Álamos)	Investigación nuclear	3 personas expuestas: 1 muerto	45 Gy (caso letal): 1,34 y 0,53 Gy (sobrevivientes)	120 Gy a torso superior	Geometría insegura al traspasar sólidos de plutonio de dos recipientes a uno.	[77, 111]
9	1958	Yugoslavia	Vinca	Reactor de potencia cero	6 personas expuestas: 1 muerto. 5 personas con SAI	2,07–4,36 Gy	ND	Fallo de equipo (controles) causada por excursión nuclear: los detectores alcanzaron el valor de saturación y no pudieron indicar el aumento del nivel de energía.	[77, 111]
10	1961	Estados Unidos	Idaho	Reactor de investigación	10 personas expuestas: 3 muertos. 2 hombres murieron en el momento por explosión de vapor y el tercero por lesiones en la cabeza. Los otros 7 sufrieron exposiciones.	hasta 3,5 Gy	ND	Las pruebas indican que, al parecer, la barra de control se retiró manualmente demasiado rápido, lo cual provocó un aumento del nivel de energía.	[77]
11	1961	URSS	Siberia	Procesamiento químico	1 persona expuesta	2 Gy	ND	No se aplicaron controles de criticidad durante la condensación y evaporación de hexafluoruro de uranio.	[77, 111, 112]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
12	1962	Estados Unidos	Washington (Haniford)	Procesamiento químico	2 personas expuestas	0,43-1,1 Gy	ND	Geometría desfavorable por control inadecuado de soluciones.	[77, 111]
13	1962	Estados Unidos	Richland		2 personas expuestas				[114]
14	1963	URSS	Sarov (Arzamas)	Investigación de armas nucleares	2 personas expuestas; sufrieron SAI	3,7-5,5 Gy	ND	Inobservancia de los procedimientos operacionales.	[77, 111]
15	1964	Estados Unidos	Rhode Island (Wood River Junction)	Procesamiento químico	3 personas expuestas; 1 muerto	Caso letal: 100 Gy. las otras personas 0,6-1,0 Gy	ND	Factores humanos; la etiqueta de la botella indicaba alta concentración de U; geometría insegura al verterla en la vasija.	[77, 111, 115]
16	1965	Bélgica	Mol	Experimental reactor	1 persona expuesta Exposición corporal no uniforme, amputación del pie izquierdo	5 Gy	3-40 Gy	Inobservancia de los procedimientos de seguridad.	[77, 111, 116, 117]
17	1966	URSS		Reactor experimental	5 personas expuestas	3,0-7,0 Gy	-	-	[114]
18	1968	URSS	Chelyabinsk-70	Reactor	2 muertos	20-40 Gy y 5-10 Gy	700 Gy a la mano izquierda de la persona más expuesta	Inobservancia del procedimiento prescrito; no se repuso un reflector.	[77, 111]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
19	1968	URSS	Chelyabinsk-40	Extracción de plutonio	2 personas expuestas; 1 muerto. El sobreviviente con SAI y amputación de las piernas y una mano	Caso letal 24,5 Gy: las otras personas 7 Gy	ND	Diseño inadecuado; provocó geometría desfavorable en solución de plutonio.	[111, 112]
20	1968	URSS		Reactor experimental	4 personas expuestas	1,0-1,5 Gy	-	-	[114]
21	1969	URSS		Reactor experimental	1 persona expuesta	5,0 Gy	-	-	[112, 114]
22	1971	URSS	Instituto Kurchatov	Instalación de investigación de reactores de potencia	4 personas expuestas; 2 muertos, 2 personas con SAI y efectos duraderos en la salud	Casos letales: 20 y 60 Gy, las otras personas 8-9 Gy	ND	Construcción defectuosa del conjunto combustible en el reactor; caída de las barras de combustible en una geometría de alto nivel supercrítico.	[77, 111, 118]
23	1971	URSS	Kurchatov Institute	Instalación de investigación de reactores de potencia	3 personas expuestas	3 Gy	20 Gy a las piernas	Inobservancia del procedimiento operacional prescrito; las barras de control no se accionaron cuando se añadió agua al tanque que contenía las barras de combustible.	[77, 111, 118]
24	1978	URSS	Siberia	Procesamiento de plutonio	8 personas expuestas, 1 muerto 1 persona con amputación en el codo, las otras 7 sufrieron exposición	0,05-2,5 Gy	70 Gy	Inobservancia de los procedimientos prescritos. Geometría desfavorable durante el embalaje de lingotes de plutonio de tamaño mayor que el autorizado; diseño deficiente la caja de guantes.	[77, 111, 112]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
25	1983	Argentina	Buenos Aires	Instalación de criticidad	1 muerto	17 Gy (radiación neutrónica) y 20 Gy (gamma)	ND	Inobservancia del procedimiento al retirar agua de un tanque con material fisible.	[77, 119]
26	1997	Federación de Rusia	Kremliv (Sarov)	Investigación de armas nucleares	1 muerto	45 Gy (radiación neutrónica) + 3,5 Gy (gamma)	hasta 250 Gy a las manos	Criticidad; un experimentador no observó los requisitos de seguridad.	[11, 77]
27	1999	Japón	Tokaimura	Pequeña planta de procesamiento de combustible	3 personas expuestas: 2 muertos	10-20 Gy, 6-10 Gy, 1-5 Gy	ND	Error humano y modificación no autorizada de los procedimientos, que sobrepasaron los límites de seguridad de la geometría frente a la criticidad.	[12, 120]

CUADRO 4. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON ACTIVIDADES NUCLEARES

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1951	URSS	Chelyabinsk-40	Investigación nuclear y reprocesamiento	5 personas expuestas; 1 muerto, las otras personas con SAI y/o lesiones locales	-	-		[117]
2	1952	URSS	Chelyabinsk-40	Investigación nuclear y reprocesamiento	2 muertos: contaminación interna con agua trititada	-	-		[117]
3	1954	URSS	Sarov (Arzamas)	Armas nucleares	1 muerto: exposición interna con Po 210	-	-		[117]
4	1955	Estados Unidos	Washington (Hanford)	Investigación, procesamiento	1 persona expuesta, incorporación de Pu 239	-	-		[114]
5	1957	URSS	Kyshtym (complejo de Mayak)	Planta radioquímica	Emisión de 740 PBq de productos radiactivos	-	-	Recalentamiento seguido de explosión de un tanque de almacenamiento.	[106]
6	1957	Reino Unido	Cumbria (Windscale)	Reactor de grafito	Emisión de 740 TBq 131I; emisión de otros radionucleidos	-	< 0,1 Gy a la tiroides de un niño	Recalentamiento e incendio.	[106]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
7	1975	Alemania (RDA)		Reactor de investigación	1 persona expuesta (exposición localizada)	-	20-30 Gy	-	[114]
8	1976	Estados Unidos	Washington (Hanford)	Investigación, procesamiento	1 persona expuesta traumatismo por explosión e incorporación de Am 241 (~40 MBq)	ND	8,6 Gy a médula ósea	Explosión química de una columna de intercambio iónico en caja de guantes.	[121]
9	1977	Argentina	Atucha	Reactor nuclear	1 persona expuesta: herida contaminada con 3 800 Bq, amputación al cabo de 8 años	-	364 Gy a zona localizada durante más de 8 años	El trabajador no llevaba guantes plomados.	[32, 39]
10	1979	Estados Unidos	Pensilvania, (Three Mile Island)	Central nuclear comercial	Daño grave en el reactor: 550 GBq I-131 emitidos a la atmósfera: sin exposición significativa	<1 mSv	-	Un fallo en una bomba activó la parada, pero otro fallo en una bomba y errores de lectura de los instrumentos indujeron a los operadores a adoptar medidas que provocaron un descenso del nivel de agua en el reactor. Esto causó daños graves en los elementos combustibles.	[106]
11	1985	Checoslovaquia	Petrvald		1 persona expuesta: incorporación por herida de 600 Bq de Am 241	-	-	Negligencia y equipo inadecuado.	[32, 39]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
12	1986	Estados Unidos	Oklahoma (Gore)	Procesamiento de uranio	1 muerto por traumatismo, varios trabajadores y 7 miembros del público con contaminación interna leve	-	-	Rotura accidental de un cilindro de 14 toneladas que contenía UF ₆ .	[122]
13	1986	URSS	Ucrania (Chernóbil)	Central nuclear	237 personas con exposiciones significativas: 30 muertos Destrucción del reactor. 30 muertos (2 por traumatismo): las otras 207 personas con dosis significativas. Emisión significativa de radionucleidos al medio ambiente, incluidos 1 760 PBq de I 131 y 86 PBq de Cs 137	hasta 16 Gy	-	La inobservancia de los procedimientos de seguridad combinada con defectos de diseño provocó una explosión de vapor, un incendio y la destrucción del reactor.	[38]
14	1993	Rusia	Siberia (Tomsk)	Reprocesamiento	Emisión de Pu 239 y productos de fisión mixtos	-	-	Rotura de vasija por explosión debida a acumulación de gases, con emisión de nube inflamable.	[19]

CUADRO 5. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON EL TRANSPORTE

Nº	Año	País	Tipo de vehículo	Lugar	Identificación	Causa y consecuencias	Ref.
Mar							
1	1961	URSS	Submarino nuclear	Atlántico NO	K-19	Fuga en el circuito de transferencia de calor con recalentamiento de combustible; remolque del submarino a la base.	[123]
2	1963	Estados Unidos	Submarino nuclear	Atlántico (zona no especificada)	Thresher	Causa desconocida; perdido en el mar con toda la tripulación. Total estimado de radiactividad emitida: < 0,04 GBq.	[123]
3	1968	URSS	Submarino diésel	Pacífico, cerca de Hawaii	K-129	Se hundió con 2 ojivas nucleares, posteriormente recuperadas.	[123]
4	1968	Estados Unidos	Submarino nuclear	Atlántico (zona no especificada)	Scorpion	Causa desconocida; perdido en el mar con toda la tripulación.	[123]
5	1970	URSS	Submarino nuclear	Golfo de Vizcaya	K-8	Incendio; entrada de agua marina por defectos en las juntas de caucho; se hundió al NO de España.	[123]
6	1978	No especificado	Buque de superficie	Mar de Barents SO	Nikel	Esta gabarra que transportaba desechos encapsulados se perdió en el mar durante una borrasca.	[123]
7	1984	Francia	Buque de superficie	Mar del Norte	Mont Louis	Colisión con un transbordador; el buque, que transportaba 30 contenedores de <1 % UF ₆ enriquecido en Zeebrugge, naufragó; se recuperaron todos los contenedores.	[123]
8	1985	URSS	Submarino nuclear	Bahía de Chazma	K-431	Criticidad explosiva durante la recarga; contaminación ambiental en Rusia.	[123]

Nº	Año	País	Tipo de vehículo	Lugar	Identificación	Causa y consecuencias	Ref.
9	1986	URSS	Submarino nuclear	Atlántico NO	K-219	Daño del casco por incendio y explosión; hundido intencionalmente a 6 000 m de profundidad (cerca de Bermudas).	[123]
10	1989	URSS	Submarino nuclear	Mar de Noruega	K-278	Incendio en la sección de popa durante la inmersión; el submarino se hundió.	[123]
11	1989	URSS	Submarino nuclear	Bahía de Ara	Componente no identificado de la Flota del Norte	Problema desconocido; la mayor emisión señalada de materiales radiactivos.	[123]
12	1997	Panamá	Buque de superficie	Atlántico, Azores	MSC Carla	Accidente relacionado con 3 embalajes de tipo B que contenían 137 Cs.	[123]
13	2000	Rusia	Submarino nuclear	Mar de Barents	Kursk	Causa desconocida: 2 sucesos sísmicos durante el día del accidente; el submarino se hundió con 118 tripulantes; posteriormente se comprobó que los reactores estaban intactos.	[123]

Aire

14	1965	Estados Unidos	Aeronave	Cerca de Okinawa (Japón)	Aeronave de reacción Skyhawk	Caída al mar de una aeronave de reacción con armamento nuclear desde un portaviones.	[123]
15	1966	Estados Unidos	Aeronave	Palomares (España)	Bombardero (B-52)	Colisión mientras la aeronave estaba cargando combustible; a bordo había 4 armas nucleares, de las cuales 2 se recuperaron intactas y las 2 restantes resultaron destruidas al caer en tierra causando contaminación permanente significativa con plutonio.	[123]

N°	Año	País	Tipo de vehículo	Lugar	Identificación	Causa y consecuencias	Ref.
16	1968	Estados Unidos	Aeronave	Thule, Groenlandia	Bombardero (B-92)	La aeronave se estrelló; 4 armas nucleares resultaron destruidas; contaminación con plutonio en una vasta zona del medio ambiente marino.	[123]
17	1987	URSS	Aeronave	Mar de Okhotsk	-	A raíz de una emergencia en un helicóptero se arrojó al mar un GTR equipado con una fuente de 90 Sr (12,95–25,3 PBq); la profundidad del agua en la zona era de 30 m; los esfuerzos por localizar el dispositivo resultaron infructuosos.	[123]
18	1997	Rusia	Aeronave	Mar de Okhotsk	-	A raíz de una emergencia en un helicóptero se arrojó al mar un GTR con una fuente de 1,3 PBq 90 Sr.	[123]

Vehículos espaciales

19	1964	Estados Unidos	Artefacto espacial	Océano Índico occidental	SNAP-9A Transit-5BN3	Un satélite con 630 TBq de 238 Pu no llegó a entrar en órbita y se desintegró al reingresar a la atmósfera en el hemisferio sur.	[123]
20	1968	Estados Unidos	Artefacto espacial	Santa Bárbara, California	Nimbus BI	Una nave especial no llegó a entrar en órbita; se recuperaron 2 GTR intactos.	[123]
21	1970	Estados Unidos	Artefacto espacial	Pacífico Sur	Apollo 13	A raíz de un percance en el suministro de oxígeno del módulo de alunizaje fue necesario regresar con urgencia a la Tierra; un GTR instalado a bordo llegó intacto y se encuentra a no menos de 6 000 m de profundidad en la Fosa de Tonga.	[123]
22	1978	URSS	Artefacto espacial	Norte del Canadá	Cosmos 954	A raíz del regreso a la atmósfera de un satélite de investigación equipado con un pequeño reactor nuclear se produjo una gran dispersión de fragmentos radiactivos.	[123]

N°	Año	País	Tipo de vehículo	Lugar	Identificación	Causa y consecuencias	Ref.
23	1983	URSS	Artefacto espacial	Atlántico Sur	Cosmos 1402	Una vez completada su misión, un satélite no logró impulsarse a un reactor nuclear hasta una órbita superior; el núcleo del reactor y productos de fisión penetraron en la atmósfera al este del Brasil.	[123]
24	1996	Rusia	Artefacto espacial	Océano Pacífico	Mars 96	A raíz de un fallo de encendido en el cohete lanzador la sonda reingresó a la atmósfera al oeste de Chile; 18 GTR a bordo con una actividad total de Pu 238 de 174 TBq.	[123]

CUADRO 6. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON USOS INDUSTRIALES: FUENTES RADIATIVAS

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1968	Argentina	La Plata	Radiografía industrial	0,5 TBq Cs 137	1 persona con amputación de ambas piernas	0,5 Gy	17 000 Gy, dosis máxima a fémur	El trabajador llevó la fuente en un bolsillo durante 18 horas.	[124]
2	1968	India		Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con ulceración dérmica	-	130 Gy, dosis máxima	El trabajador recogió una fuente caída de una cámara y la tuvo en el bolsillo durante 2 horas.	[125]
3	1968	Alemania (RFA)		Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con lesiones en pelvis y muslo	1,0 Gy	40–60 Gy	El trabajador llevó la fuente en un bolsillo de la chaqueta.	[126]
4	1969	Reino Unido	Escocia	Radiografía industrial	900 GBq Ir 192	1 persona: incidente original	450 mSv	2,15 Sv a cadera	Una persona sentada junto al conductor de un automóvil llevaba una fuente cuyo contenedor no estaba cerrado; la fuente pasó a “posición de exposición” y el conductor sufrió exposición.	[127]
5	1971	Reino Unido		Radiografía industrial	185 GBq Ir 192	1 persona con exposición localizada	< 0,1 Gy	30 Gy	Manipulación directa de la fuente.	[114]
6	1972	China	Sichuan	Irradiación	265 TBq Co 60	3 personas expuestas	0,5–1,5 Gy	-	Ingreso accidental a sala de irradiación.	[128, 129]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
7	1973	URSS	Región de Moscú	Irradiación	4,2 PBq Co 60	1 persona con SAI	4 Gy	-	Fallo en dispositivo de seguridad, ingreso indebido.	[32, 39]
8	1974	Estados Unidos	Nueva Jersey, Parsippany	Irradiación	4,4 PBq Co 60	1 persona expuesta	4,1 Gy	-	No se utilizó el detector portátil antes de entrar a la sala de irradiación.	[130]
9	1975	Italia	Brescia	Irradiación	1,33 PBq Co 60	1 muerto	12 Gy	Dosis en un órgano 12-24 Gy	Falta de capacitación y de sistemas de seguridad para introducción de productos en cinta transportadora.	[32, 39] [116]
10	1975	URSS	Kazán	Instalación de irradiación industrial	0,7 PBq Co 60	2 personas con SAI y lesiones en manos	3-5 Gy	30-50 Gy a manos	Muy similar al accidente ocurrido en San Salvador en 1989.	[32, 39]
11	1976	Estados Unidos	Pensilvania (Pittsburgh)	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con lesión en una mano	-	10 o 15 Gy	-	[32, 39]
12	1977	Checoslovaquia	Pardubice	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con lesión en una mano	5 mGy	-	Fallo técnico del equipo. Acciones inadecuadas para recuperar el control de la fuente.	[32, 39]
13	1977	Estados Unidos	Nueva Jersey (Rockaway)	Irradiación	18,5 PBq Co 60	1 persona expuesta	2 Gy	-	Obras en la instalación, falta de precauciones para mantener la seguridad y fallo de enclavamiento	[130]
14	1977	Reino Unido		Radiografía industrial	81,5 GBq Ir 192	1 persona con lesiones en la punta de 3 dedos	< 0,1 Gy	-	Un operador que trabajaba en una zona confinada sostuvo la fuente durante 90 segundos mientras efectuaba la radiografía de una soldadura.	[32, 39]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
15	1977	Hungría	Győr	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona expuesta, enfermedad leve inducida por la radiación	1,2 Gy	-	Fallo del equipo al guardar la fuente en su contenedor.	[32, 39, 131]
16	1977	Reino Unido		Producción de fuentes luminosas de tritio	Emissiones de 11-15 TBq H 3, fuente no sellada	2 personas expuestas, contaminación interna	0,62 Gy y 0,64 Gy	-	Emisión y escape de tritio por rotura de colector de entrada.	[32, 39]
17	1977	Sudáfrica	Transvaal (Sasolburg)	Radiografía industrial	260 GBq Ir 192	1 persona con amputación de dos dedos y extirpación de costilla	1,16 Gy	100 Gy	Uso incorrecto de contenedor con mecanismo neumático y defecto de monitor; negligencia del operador.	[32, 39]
18	1977	Perú	Zona del Oleoducto	Radiografía industrial	Ir 192	3 personas con efectos localizados en manos, 2 con amputación de dedos	2 Gy valor máximo	160 Gy valor máximo	Personal sin capacitación y falta de supervisión; equipo no registrado ni autorizado.	[32, 39]
19	1978	Argentina	Buenos Aires	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con lesión en una mano	-	12-16 Gy	Manejo manual de las fuentes.	[32, 39]
20	1978	Estados Unidos	Louisiana (Monroe)	Radiografía industrial	3,7 TBq Ir 192	1 persona con amputación de un dedo	< 0,1 Gy	-	Selección de rango incorrecto en el detector de tasa de dosis utilizado para comprobar la retirada de la fuente a una posición segura.	[132]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
21	1979	Checoslovaquia	Sokolov	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con lesión localizada en una mano	5 mGy	-	Fallo técnico del equipo y monitorización inadecuada durante y después del trabajo.	[32, 39]
22	1980	URSS, Rusia	Leningrado	Irradiación	22,2 PBq Co 60	1 muerto	> 12 Gy	-	Fallo de dispositivo de seguridad, ingreso indebido.	[118]
23	1980	Rusia	Uyzhno-Sahalinsk	Radiografía industrial	25 Ci Ir 192	1 muerto y otra persona expuesta	-	> 15 Gy a abdomen (niño)	Fuente huérfana, víctima infantil.	[118]
24	1980	China	Shanghái	Irradiación	1,96 PBq Co 60	1 persona con SAI y exposición localizada	5,2 Gy	-	Ingreso a la cámara de irradiación durante un fallo de corriente eléctrica y enclavamientos defectuosos.	[32, 39, 133]
25	1980	URSS	Smolensk	Radiografía industrial	25 Ci Ir 192	1 persona con lesión localizada	< 0,5 Gy	30 Gy a muslo, 12 Gy a mano	Fallo del aparato de radiografía.	[32, 39]
26	1981	Argentina	Buenos Aires	Radiografía industrial	Ir 192	2 personas con lesiones localizadas en las manos	-	-	La fuente se soltó y fue a alojarse en el tubo de salida.	[32, 39]
27	1982	Noruega	Kjeller	Irradiación	2,43 PBq Co 60	1 muerto	22 Gy	-	Fallo en el dispositivo de seguridad e inobservancia de los procedimientos establecidos.	[40, 41]
28	1982	URSS, Azerbaiyán	Bakú	Fuentes para uso militar	50 Ci Cs 137	5 muertos y otras 22 personas expuestas	< 0,5 Gy - > 10 Gy	20-50 Gy a manos 150-500 Gy a muslo	Almacenamiento incorrecto de las fuentes.	[118]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
29	1982	Indonesia	Badak, Borneo oriental	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona expuesta	0,77 Gy	0,64 Gy a testículos, 11,7 Gy a manos	Reparación de la fuente por el operador.	[32, 39]
30	1982	India	Vikhroli, Bombay	Desconocido	Ir 192	1 persona expuesta	0,4–0,6 Gy	1,535 Gy a ingle	Fallo de seguridad física durante el transporte de la fuente; fuente perdida y posteriormente encontrada por trabajador ferroviario.	[32, 39]
31	1983	Reino Unido	-	Radiografía industrial	-	1 persona expuesta	0,56 Gy	-	Exposición involuntaria del radiógrafo.	[32, 39]
32	1983	Alemania	Schwarze Pumpe	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con efecto localizado en una mano	-	5 Gy	Defecto técnico y manipulación inadecuada.	[32, 39]
33	1983	India	Muland, Bombay	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con amputación de 4 dedos	0,6 Gy	20 Gy?	Utilización por personal sin capacitación.	[32, 39]
34	1984	Hungría	Tiszafured	Radiografía industrial	1,11 TBq Ir 192	1 persona con efecto localizado en 3 dedos de la mano izquierda	46 mGy	20–30 Gy	Fallo del equipo y negligencia en la manipulación de la fuente.	[32, 39]
35	1984	Argentina	Mendoza	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona con efecto localizado en dedos	0,11 Gy	18 Gy	El operador empujó la fuente con un dedo para insertarla en la cámara	[32, 39]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
36	1985	India	Yamunanager	Radiografía industrial	Ir 192	2 personas expuestas, cada una con amputación de dos dedos	-	8-20 Gy	Inobservancia de las prácticas de trabajo seguro y fallo eléctrico en el lugar de trabajo.	[32, 39]
37	1985	India	Visakhapatnam	Radiografía industrial	Co 60	2 personas expuestas, con amputación de un dedo	0,18 Gy	10-20 Gy	Inobservancia de las prácticas de trabajo seguro y falta de mantenimiento.	[32, 39]
38	1986	China	Henan	Irradiación	0,3 PBq Co 60	2 personas expuestas	2,6 y 3,5 Gy	-	A raíz de una pérdida de potencia la fuente se levantó manualmente; los trabajadores entraron a la sala cuando la fuente estaba sin blindaje.	[32, 39, 128, 134]
39	1986	China	Beijing	Irradiación	0,2 PBq Co 60	2 personas expuestas	0,7-0,8 Gy	-	Los trabajadores entraron a la sala cuando la fuente estaba sin blindaje; fallo en el sistema de accionamiento; puerta abierta.	[32, 39, 128, 135]
40	1987	China	Ciudad de Zhengzhou	Irradiación	3,29 PBq Co 60	1 persona expuesta	1,35 Gy	-	Exposición accidental durante 1,5-2 minutos.	[133]
41	1988	China	Liaoning	Radiografía industrial	1,1 TBq Ir 192	6 personas expuestas con exposición localizada	-	0,1-12,6 Gy	Los trabajadores manipularon directamente la fuente para retirarla de un equipo que no funcionaba.	[128, 136]
42	1988	Checoslovaquia	Praga	Producción de láminas de Am 241	Am 241, no sellada	1 persona con incorporación	Incorporación por inhalación de dosis de 50 kBq	-	No se habían probado los nuevos métodos de laminado; práctica de protección radiológica deficiente.	[32, 39]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
43	1988	China	Zhao Xian	Irradiación	Co 60	1 persona expuesta	5,2 Gy	-	Entrada accidental a la sala de irradiación durante unos 40 segundos.	[32, 39]
44	1989	India	Hazira Gujarat	Radiografía industrial	Ir 192	1 persona expuesta, amputación de dedos	0,65 Gy	10 Gy	Deficiente gestión de la seguridad y mantenimiento inadecuado.	[32, 39]
45	1989	Sudáfrica	Transvaal (Witbank)	Radiografía industrial	Ir 192	3 personas expuestas, una con amputación de una pierna y de dedos	0,09–0,78 Gy	-	La fuente se soltó; negligencia del radiógrafo (la fuente no estaba bien colocada) y fallo del monitor portátil, que no detectó la fuente suelta.	[32, 39]
46	1989	China		Radiografía industrial	Ir 192	1 persona expuesta con dosis localizada	-	18,37 Gy		[32, 39]
47	1989	Bangladesh		Radiografía industrial	Ir 192	1 persona expuesta	2,3 Gy	-		[32, 39]
48	1989	China	Beijing		Co 60	2 personas expuestas	0,61 y 0,87 Gy	-	Exposición accidental a la fuente durante unos 4 minutos.	[32, 39]
49	1989	El Salvador	San Salvador	Irradiación	0,66 PBq Co 60	1 muerto y otras 2 personas expuestas, con amputaciones	2,9–8,1 Gy	> 30 Gy	Falta de capacitación y grave deterioro de los sistemas de seguridad por falta de mantenimiento prolongada.	[14]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
50	1990	Sudáfrica	Transvaal (Sasolburg)	Radiografía industrial	Co 60	6 personas expuestas, 3 con lesiones localizadas, amputación de una mano	0,55 Gy	-	La fuente quedó abandonada después de la operación radiográfica; su pérdida no se detectó por fallo de monitorización, manipulación de la fuente por 6 personas.	[32, 39]
51	1990	China	Shanghai	Irradiación	850 TBq Co 60	2 muertos y otras 5 personas expuestas	2,0–12 Gy	-	Entrada en la cámara de irradiación sin medidor de tasa de dosis durante un fallo eléctrico, y enclavamientos defectuosos.	[128, 137]
52	1990	Israel	Soreq	Irradiación	12,6 PBq Co 60	1 muerto	10–20 Gy	-	Entrada indebida, mantenimiento inadecuado.	[15]
53	1991	Belarús	Nesvizh	Irradiación	30 PBq Co 60	1 muerto	11–18 Gy	-	Entrada indebida con fuente expuesta.	[16]
54	1992	Reino Unido	Escocia	Radiografía industrial	Varias fuentes selladas (la mayoría de las cuales, probablemente, Ir 192)	1 persona con exposición crónica, dosis a cuerpo entero y localizadas	10 Gy	100 Gy	Serie de accidentes reiteradas y prácticas deficientes durante 14 años.	[32, 39, 138]
55	1992	China	Wuhan	Irradiación	Co 60	4 personas expuestas	-	-	Pérdida de potencia y enclavamientos de seguridad averiados.	[128]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
56	1992	Hungría	Budapest	Radiografía industrial	5,4 PBq Co 60	Ninguna persona con lesiones	1-2 mSv por participante en la operación de salvamento	-	Fallo en el dispositivo de accionamiento.	[131]
57	1992	Suiza		Radiografía industrial	700 GBq Ir 192	1 persona con exposición localizada	-	3,5-10 Gy	Desbloqueo manual de una fuente atascada.	[32, 39]
58	1993	Reino Unido		Radiografía industrial	700 GBq Ir 192	1 persona con exposición localizada en mano	< 0,1 Gy	10 Gy	Procedimientos inadecuados, manipulación de fuente atascada.	[32, 39]
59	1998	China	Harbin	Irradiación	-	1 persona expuesta	-	-	Fallo en equipo de seguridad.	[128]
60	1998	Japón	Nakasaki	Radiografía industrial	120 GBq, Co 60	1 trabajador expuesto, mano derecha y cuerpo entero	5,5 mSv	43 Sv	Error al retirar la fuente: el trabajador manipuló directamente la fuente durante 30-60 segundos.	[139]
61	1999	Perú	Yanango, San Ramón, Junín	Radiografía industrial	1 370 GBq Ir 192	2 personas con lesiones en pierna, manos y espalda	0,4-0,8 Sv	0,5 - > 100 Gy	Un trabajador recogió una fuente que se había caído de una cámara y la tuvo en el bolsillo durante 6 horas.	[22]
62	1999	Hungría	Paks	Fuente radiográfica perdida	70 GBq Ir 192	Ninguna persona con lesiones	0,1-6 mSv a 12 personas	ND	Fallo del dispositivo.	[131]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
63	1999	Hungría	Százhalom- batta	Radiografía industrial	300 GBq Ir 192	3 personas expuestas, sin lesiones	0,6–2,7 mSv	ND	Desmontaje inadecuado de fuente radiográfica.	[131]
64	2000	Brasil	Río de Janeiro	Radiografía industrial	Co 60	1 persona expuesta con lesiones en una mano	-	.	Exposición durante tareas de rutina.	[140]
65	2001	Hungría	Dunatújváros	Radiografía industrial	800 GBq Ir 192	Ninguna persona con lesiones	10–300 µSv al personal de salvamento	ND	Bloqueo de la fuente y posterior reparación siguiendo los procedimientos establecidos.	[131]
66	2004	China	Shandong Jining	Irradiación	38 kCi, Co 60	2 muertos	20,0 Gy y 8,8 Gy	-	Los trabajadores entraron en la sala de irradiación cuando la fuente estaba sin blindaje a raíz de un fallo eléctrico.	[141, 142]
67	2005	Chile	Concepción/ Nueva Aldea	Radiografía gamma	3,33 TBq Ir 192 (90 Ci)	1 trabajador con lesión en nalga izquierda; 1 trabajador con lesión en mano derecha; 1 trabajador con lesión en pie derecho	0,54–1,03 Gy 0–0,42 Gy < DL	-	Inobservancia de los requisitos reglamentarios y las normas de seguridad.	[143]
68	2006	Bélgica	Fleurus	Irradiación	312 TBq Co 60	1 persona expuesta	4,4–4,8 Gy	-	Fallo en un sistema hidráulico de mando/control y en el sistema de seguridad.	[144]

CUADRO 7. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON USOS INDUSTRIALES: ACELERADORES Y APARATOS DE RAYOS X

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1960	Estados Unidos	Nueva York (Lockport)	Irradiación	Tubo de Klystron	Exposiciones no uniformes; 2 personas con lesiones graves; 5 personas con lesiones menos graves	-	hasta 12 Gy	El blindaje no estaba instalado durante operaciones de mantenimiento/repación.	[145]
2	1965	Estados Unidos	Illinois (Rockford)	Irradiación	Acelerador (10 MeV electrones)	1 persona con amputaciones	0,05 Gy	290 Gy a tobillo, 420 Gy a mano	-	[146, 147]
3	1967	Estados Unidos	Pensilvania (Pittsburg)	Irradiación	Acelerador lineal	1 persona con SAI y amputaciones múltiples, 2 personas con SAI	6, 3 y 1 Gy	27 a 59 Gy	Fallo del sistema de enclavamiento de seguridad.	[146, 148]
4	1974	Estados Unidos	Illinois	Análisis	Espectrometría	3 personas con exposición localizada	-	2,4-48 Gy	-	[114]
5	1975	Alemania		Análisis	Unidad de fluorescencia de rayos X	1 persona con eritema en dedos	-	30 Gy	Negligencia y errores técnicos durante la reparación.	[32, 39]
6	1975	Alemania		Radiografía industrial	Equipo de rayos X	1 persona expuesta	-	2 Gy a torso	Negligencia y defectos técnicos.	[32, 39]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
7	1976	Alemania		-	Equipo de rayos X	1 persona con eritema	1 Gy	-	Manipulación inexperta del equipo.	[32, 39]
8	1977	Argentina	La Plata	Cristalografía	Equipo de rayos X	1 persona con lesión localizada en dedos	-	10 Gy	Se retiró un obturador del equipo de cristalografía.	[32, 39]
9	1979	Alemania	Freiberg	Análisis	Unidad de fluorescencia de rayos X	1 persona expuesta	0,2-0,5 Gy	10-30 Gy a mano derecha	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
10	1980	Alemania	Bohlen	Análisis	Unidad de análisis de rayos X	1 persona con exposición localizada	-	15-30 Gy a mano izquierda	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
11	1980	Alemania		-	Unidad de radiografía	1 persona expuesta	0,2 Gy	23 Gy a mano	Equipo defectuoso.	[32, 39]
12	1981	Alemania		Análisis	Dispositivo de fluorescencia de rayos X	1 persona con lesión localizada	-	20-30 Gy a pulgar derecho	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
13	1983	Alemania		-	Equipo de rayos X	1 persona con exposición corporal parcial	-	6-12 Gy	Equipo defectuoso.	[32, 39]
14	1985	China	Shanghai	Irradiación	Acelerador	1 persona con lesión localizada	-	25-210 Gy	Ingreso a zona de irradiación mientras el motor principal estaba en marcha.	[128, 149]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
15	1987	Indonesia	Cirebon, Java occidental	Radiografía industrial	Máquina de rayos X	1 persona con exposición en mano	-	10 Gy	Reparación de obturador mientras la máquina estaba funcionando.	[32, 39]
16	1991	Estados Unidos	Maryland (Baltimore)	Irradiación	Acelerador	1 persona con amputación de casi todos los dedos	-	55 Gy	Exposición a corriente oscura durante operaciones de mantenimiento.	[150]
17	1991	Francia	Forbach	Irradiación	Acelerador	1 persona con lesiones dérmicas localizadas graves, 2 personas con lesiones menos graves	< 1 Gy	40 Gy	Exposición a corriente oscura del acelerador.	[32, 39]
18	1992	Italia		Análisis	Espectrómetro de rayos X	1 persona con lesiones en ambas manos	-	aproximadamente 20 Gy	Procedimiento incorrecto durante operaciones de mantenimiento.	[151]
19	1993	Reino Unido		Radiografía	Unidad de rayos X de 160 kV	1 persona con lesiones en varios dedos de una mano	-	60 Gy	Procedimientos incorrectos y fallo en los sistemas de alarma.	[152]
20	1994	México	Lázaro Cárdenas	Análisis	Espectrómetro de rayos X	1 persona con lesión en un dedo	-	-	Reparación del aparato sin haberlo apagado.	[153]
21	1995	Brasil		Análisis	Difracción de rayos X	1 persona con lesión en una mano	-	-	Mal mantenimiento del dispositivo de apertura de la ventana posterior.	[154]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
22	1999	Estados Unidos		Irradiación	Dispositivo de haz de electrones	1 persona con lesión en una mano	-	50 Gy	Exposición crónica (un mes) de una mano del operador a un haz residual durante prueba de fabricación.	[155]
23	2000	Japón	Yokaichiba	Irradiación	Máquina de rayos X	3 personas con lesiones en mano	-	50-100 Gy	Los trabajadores desactivaron intencionalmente el dispositivo de seguridad.	[156]
24	2001	China	Leshan	Detector	Detector de defectos de rayos X	2 personas expuestas con lesiones en cuerpo entero y localizadas	-	50 mGy a testículo y 0,045 mGy a abdomen	Funcionamiento del detector de defectos en presencia de los trabajadores.	[157]

CUADRO 8. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON INVESTIGACIÓN: FUENTES RADIATIVAS

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1960	Estados Unidos	Madison	Irradiación de muestras	7 TBq Co 60	1 estudiante expuesto	2,5-3 Gy	30 Gy	La fuente se soltó durante la irradiación de muestras.	[158]
2	1962	URSS	Moscú	Irradiación	1,9 PBq Co 60	1 persona expuesta	2,5-3 Gy	12 Gy	Inobservancia de práctica de trabajo segura, entrada indebida en la sala de irradiación.	[159]
3	1971	Estados Unidos	Tennessee	Irradiación	285 TBq Co 60	1 investigador expuesto	1,3 Gy	12 Gy a mano	Fallo de equipo y error operacional.	[160]
4	1978	Suecia	Nykoping	-	Reactor de investigación	1 persona con lesión localizada en una mano	-	30 Gy	Incumplimiento de las instrucciones para realizar la tarea.	[32, 39]
5	1979	Alemania	Rosendorf	Activación neutrónica	Reactor de investigación	1 persona con lesión localizada en una mano	-	20-30 Gy a mano derecha	Subestimación del nivel de activación.	[32, 39]
6	1980	Alemania	Rosendorf	Laboratorio radioquímico	P 32, no sellada	1 persona con contaminación en una mano	-	100 Gy	Contaminación por defecto en guante protector.	[32, 39]
7	1983	Alemania	Leipzig	Laboratorio radioquímico	Am 241, no sellada	1 persona con incorporación	0,076 Gy	-	Explosión de vial con solución de Am 241.	[32, 39]

CUADRO 9. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON LA INVESTIGACIÓN: ACELERADORES Y RAYOS X

Nº	Año	Lugar: pais	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal del accidente	Ref.
1	1972	Reino Unido		Rayos X analíticos	Cristalografía de rayos X	1 persona con lesiones localizadas en 2 dedos	-	15-20 Gy	Retirada de obturador antes de la utilización y durante la misma.	[161]
2	1975	Alemania		Rayos X analíticos	Unidad de fluorescencia de rayos X	1 persona con lesiones localizadas en dedos	-	-	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
3	1977	Estados Unidos	California (Berkeley)	Irradiación de muestras	Rayos X de 30 kV	1 persona con exposición localizada: amputación de dos dedos de una mano y uno de la otra	-	70 Gy a mano	Fallo de enclavamiento de seguridad.	[32, 39]
4	1977	URSS	Kiev	Investiga- ción	Acelerador de protones 40 MeV	1 persona con lesión localizada en una mano	< 0,5 Gy	12-30 Gy a manos	Inobservancia de normas de seguridad.	[32, 39]
5	1978	URSS	Leningrado	Investiga- ción	Acelerador de electrones	1 persona con lesión localizada en una mano, otra persona con lesión en pecho	0,5-1,2 Gy	30 Gy a mano >20 a pecho	Inobservancia de normas de seguridad.	[32, 39]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal del accidente	Ref.
6	1978	URSS	Protvino	Investigación	Acelerador de protones de 70 GeV, haz de 1 mm solo una aguja	-	-	No pudo medirse	Error de los operadores.	[159]
7	1981	Alemania	Berlín	Rayos X analíticos	-	1 persona con lesión localizada en mano izquierda	-	5 Gy	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
8	1982	Alemania	Berlín	Rayos X analíticos	-	1 persona con lesión localizada en dedo	-	6-18 Gy	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]
9	1984	Perú	Lima	Rayos X analíticos	Equipo de difracción de rayos X	6 personas con lesiones en los dedos	-	5-40 Gy	Fallo de supervisión, exposición deliberada por desconocimiento del riesgo; equipo no inscrito en registro oficial.	[32, 39]
10	1988	Alemania	Trustetal	Rayos X analíticos	-	2 personas con lesiones en manos	-	4 Gy	Defecto técnico.	[32, 39]
11	1988	Alemania	Jena	Rayos X analíticos	-	1 persona con lesión localizada en una mano	-	3 Gy	Inobservancia de práctica de trabajo segura.	[32, 39]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal del accidente	Ref.
12	1992	Vietnam	Hanoi	Irradiación de muestras	Acelerador de investigación (15 MeV)	1 persona con lesiones localizadas en dedos y amputación de una mano	1-2 Gy	10-50 Gy	Diseño deficiente y entrada indebida para situar la muestra en el haz.	[17]
13	1994	Estados Unidos	California (Davis)	Rayos X analíticos	Equipo de difracción de rayos X (45 kV)	1 persona con lesiones localizadas en ambas manos	-	-	Violación del enclavamiento de seguridad para realizar una reparación.	[162]

CUADRO 10. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON FUENTES RADIACTIVAS HUÉRFANAS

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1960	URSS	Moscú	Radiografía industrial	7,5 TBq Cs 137	1 persona muerta	14,8 Gy	1 650 Gy	Una persona se puso la fuente en el cinturón y la hizo girar alrededor del cuerpo durante más de 15 horas: suicidio.	[32]
2	1962	México	México D.F.	Radiografía industrial	0,2 TBq Co 60	Una madre, dos hijos y la abuela murieron. El padre (con la dosis más alta) sobrevivió debido al fracciona- miento de la exposición a lo largo de 4 meses (pasó períodos fuera de casa por trabajo)	28-120 Gy	-	Fuente abandonada sin protección en el patio de una casa y recogida por un niño que la introdujo en la casa, donde permaneció 4 meses.	[44]
3	1963	China	Sanli'an (Ciudad de Hefei)	Investigación agrícola	0,43 TBq Co 60	Un agricultor y su hermano murieron. Otras 4 personas con exposición alta	2-80 Gy	-	Un agricultor encontró una fuente abandonada y la llevó a su casa, donde permaneció 10 días.	[128, 134, 163]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
4	1971	Japón	Ciudad de Ichihara, Chiba	Radiografía industrial	194 GBq Ir 192	6 personas expuestas: 3 con SAI y lesiones locales	0,15–1,5 Gy	hasta 90 Gy	Al no haberse comprobado la retracción de la fuente y la desconexión del cable, la fuente, utilizada en un astillero, cayó al suelo y la recogió un trabajador.	[164]
5	1973	México	Tula, Hidalgo		Cs 137	1 persona con amputación de pie izquierdo	-	1 400 Gy	La fuente se cayó de su contenedor en un camión (las vibraciones aflojaron la "clavija" de madera); la fuente fue recogida y guardada en un bolsillo.	[165]
6	1977	Sudáfrica	Pretoria	Radiografía industrial	260 GBq Ir 192	1 persona con lesiones en ambas manos y pecho, otras 5 personas también expuestas	1,1 Gy	50–100 Gy	La fuente se soltó del cable devanado y cayó al suelo en una fábrica. Una persona la recogió y la llevó a su casa.	[166]
7	1978	China	Henan		54 GBq Cs 137	29 personas expuestas	0,01– 0,53 Gy	-	Un trabajador tomó una fuente no utilizada y la llevó a su casa.	[32, 39, 128, 167]
8	1978	Argelia	Sétif	Radiografía industrial	925 GBq Ir 192	1 muerto y otras 6 personas con exposición significativa	-	-	La fuente cayó de un camión y fue recogida por dos niños que la llevaron a su casa.	[45, 168]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
9	1979	Estados Unidos	California/ (Los Ángeles)	Radiografía industrial	1,0 TBq Ir 192	1 persona con lesión en nalga derecha; otras 4 personas con lesiones dérmicas leves	0,75-1 Gy	800-4 000 Gy a las personas más expuestas	El radiógrafo no verificó el almacenamiento de la fuente, esta cayó y fue recogida por un trabajador.	[169]
10	1982	China	Hanzhong		1,0 TBq Co 60	-	0,42-3 Gy	-	La fuente fue robada.	[128, 170, 171]
11	1983	México	Ciudad Juárez	Radioterapia	16,6 TBq Co 60 formada por ~ 6.000 gránulos, cada uno 2,77 GBq	10 personas expuestas Algunos gránulos intactos o fundidos se incorporaron a productos de metal y causaron exposición crónica a un número considerable de miembros del público, pero sin efectos agudos	0,25-5,0 Sv en las 10 personas más expuestas	-	El dispositivo se colocó en un lugar de almacenamiento a largo plazo sin protección. Retirado ilegalmente para venderlo como chatarra. Rotura de la fuente. Algunos gránulos se dispersaron en el espacio público y el resto fue fundido.	[92, 172]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
12	1984	Marruecos	Casablanca	Radiografía industrial	0,6 TBq Ir 192	Exposiciones prolongadas causaron la muerte de 4 adultos y 4 niños	-	-	La fuente se desconectó; no se efectuó monitorización. Un miembro del público la encontró y la llevó a su casa. Se guardó en el dormitorio y fue descubierta al cabo de 80 días.	[46, 173]
13	1985	China	Mudanjiang		370 GBq Cs 137	Exposiciones prolongadas de 3 personas: 1 muerto	8-10 Gy	-	La fuente fue encontrada y llevada a casa, donde permaneció 150 días.	[133, 174]
14	1987	Brasil	Goiânia	Radioterapia	50,9 TBq Cs 137 (solución de cloruro de cesio en cápsula)	129 personas expuestas; 4 muertos. A raíz de incorporaciones y exposición externa, 21 personas con dosis de más de 1 Gy, 19 con lesiones dérmicas y 129 con incorporación de actividad (la más alta de 4 GBq, 1 muerto)	hasta 7 Gy		Abandono y posterior desmontaje de un dispositivo con fuente de cesio.	[13, 175]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
15	1988	China		Radiografía	220 GBq Ir 192	1 persona expuesta	0,5–1 Gy	-	La fuente cayó al suelo, un trabajador la recogió y la tuvo en su casa durante unas 50 horas.	[176]
16	1988–1992	URSS	Ucrania		2,6 TBq Cs-137	2 niños que dormían en la habitación murieron	-	-	La fuente se encontró incrustada en una pared del dormitorio.	[46]
17	1992	China	Xinzhou	Irradiación	400 GBq Co 60	3 muertos y otras 11 personas con exposición significativa	Los casos letales > 8 Gy	-	No se retiró la fuente de un irradiador en desuso. Un agricultor que trabajaba en la demolición del emplazamiento la recogió y acudió con ella al hospital.	[128, 177]
18	1993–1998	Turquía	Estambul	Radioterapia	3,3 TBq Co 60	18 personas con SAI, 1 con lesiones en una mano	3 Gy	10–20 Gy	La desprotección prolongada de las fuentes dio lugar al robo de los contenedores para venderlos como chatarra; posterior desmontaje de las fuentes.	[21]
19	1994	Estonia	Tammiku	Irradiación	1,6 TBq Cs 137: parte de un irradiador	6 personas expuestas, 1 muerto, 2 personas con lesiones localizadas	4 Gy	1 800 Gy	La fuente se encontró entre la chatarra. Posteriormente se almacenó en un lugar sin protección. Fue robada y llevada a una vivienda.	[18]
20	1994	Georgia		Radioterapia		1 muerto	-	-	Accidente ocurrido tras el abandono de una fuente de radioterapia.	[178]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
21	1995	Rusia	Moscú		48 GBq Cs 137	1 persona murió (exposición crónica)	7,9 Gy	65 Gy	La fuente se colocó en el bolsillo de una puerta de un camión, donde permaneció unos 5 meses.	[179, 180]
22	1995	Francia		Radiografía	1 TBq Ir 192	1 persona con lesión localizada	-	> 30 Gy	Manipulación directa de la fuente.	[32, 39]
23	1996	Irán	Gilan	Radiografía industrial	185 GBq Ir 192	1 persona con SAI y lesión local en pecho	4,5 Gy	40 Gy	No se cerró el contenedor de radiografía y la fuente se cayó; no se efectuó monitorización; por procedimientos adecuados, un trabajador encontró y recogió la fuente.	[26]
24	1996–1997	Georgia	Lilo	Entrenamiento militar	Múltiples fuentes, en su mayoría Cs 137, 0,01 - 164 GBq	11 personas con exposición crónica durante varios períodos, lesiones locales y algunos efectos sistémicos	4,5 Gy	10–30 Gy	Fuentes abandonadas en un centro de entrenamiento militar.	[23]
25	1999	China	Henan	Fuente de terapia (fuera de servicio)	101 TBq Co 60	7 personas expuestas	1–6 Gy	Hasta 20 Gy	Fuente encontrada en la vivienda de un agricultor.	[181]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
26	2000	Tailandia	Samut Prakarn	Radioterapia	15,7 TBq Co 60	3 muertos y otras personas con exposición significativa (5 de las 10 víctimas también sufrieron lesiones localizadas)	> 6 Gy (casos letales) 1-6 Gy (las demás personas)	-	3 unidades de terapia antiguas abandonadas sin protección en un aparcamiento. El contenedor de una fuente se llevó a una chatarrería, donde fue desmontado.	[25]
27	2000	Egipto	Meet Halfa	Radiografía industrial	1,85 TBq Ir 192	Un padre y su hijo murieron, otras 5 personas con exposición	5-8 Gy (casos letales) 3-4 Gy (las demás personas)	-	Un agricultor encontró y llevo a su casa una fuente perdida por un trabajador encargado de controlar las soldaduras de una tubería.	[182, 183]
28	2000	Rusia	Óblast de Samara	Radiografía industrial	9 TBq Ir 192	3 radiografos expuestos, 1 con lesión en una mano	1-3 Gy	30-70 Gy	Procedimientos defectuosos, falta de baterías en los medidores de tasa de dosis e insuficiente capacitación de los radiógrafos en materia de seguridad.	[184]
29	2000	China	Henan		Co 60	1 persona expuesta	1,44 Gy	-		[185]
30	2000	China	Henan		Sobreexposición gamma interna	1 persona expuesta	0,15 Gy	-		[185]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Descripción de la fuente*	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
31	2000	Japón	Wakayama	Se desconoce	230 MBq, Cs 137, 1,8 GBq, fuente neutrónica Am-Be	Ninguna persona con lesiones	-	-	Hallazgo de dos fuentes de radiación en un contenedor de chatarra importado de Filipinas.	[156]
32	2000	Japón	Hyogo	Tratamiento médico	Aguja de radio	Ninguna persona con lesiones	-	-	Hallazgo de cuatro agujas de radio en un contenedor de chatarra.	[156]
33	2000	Japón	Okayama		Uranio empobrecido	Ninguna persona con lesiones	-	-	Hallazgo de uranio empobrecido en una chatarrería.	[156]
34	2000	Japón	Kawasaki		1 MBq and 3 MBq, radio	Ninguna persona con lesiones	-	-	Hallazgo de una fuente en una chatarrería.	[156]
35	2001	Japón	Shinnanyo		5,5 GBq, Cs 137	Ninguna persona con lesiones	-	-	Hallazgo de una fuente en una chatarrería, contenedor importado de Taiwán.	[156]
36	2001	Georgia	Lia	GTR (generador termoelectrico de radiosítopos)	2,6 PBq Sr-90	3 personas expuestas, 2 desarrollaron lesiones localizadas graves	1-4 Gy	20 Gy	Hallazgo de dos objetos calientes (dos fuentes abandonadas) por unos leñadores, que los utilizaron en estufas.	[186]
37	2002	China	China meridional		Ir 192	Más de 70 personas con lesiones	-	-	Las víctimas fueron lastimadas por una persona que las agredió.	[187]

CUADRO 11. EMERGENCIAS RELACIONADAS CON APLICACIONES MÉDICAS

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
1	1967	India		Teleterapia Co 60	1 trabajador, lesión en mano	-	80 Gy	Ganancia de la fuente durante el traslado.	[188]
2	1968	Estados Unidos	Wisconsin	Medicina nuclear, Au 198	1 paciente muerto	4-5 Gy	70-90 Gy a hígado	Administración de dosis superior a la prescrita (7,4 GBq en lugar de 7,4 MBq).	[189, 190]
3	1966	URSS	Kaluga	Radiografía médica, rayos X de 50kV	1 persona con exposición localizada en la cabeza	1,5 Gy	> 20 Gy a frente	Error notable del operador.	[114]
4	1970	Australia		Rayos X	2 personas con exposición localizada	-	4-45 Gy		[114]
5	1972	China	Wuhan	Radioterapia Co 60	20 pacientes y 8 trabajadores expuestos	0,5-2,45 Gy	-	La fuente se cayó del soporte y nadie se percató durante 16 días; el diseño del dispositivo no satisfacía las normas internacionales.	[128, 168, 191]
6	1974-1976	Estados Unidos	Ohio (Riverside)	Radioterapia Co 60	426 pacientes con sobreexposición	10-45 % superior	-	Uso de curva de desintegración incorrecta, falta de calibración periódica de la salida.	[155]
7	1975	Alemania		Equipo de rayos X	1 trabajador expuesto, cabeza y torso superior	-	> 1 Gy	Probable inobservancia de práctica segura en tareas de mantenimiento.	[32, 39]
8	1975	Argentina	Tucumán	Teleterapia Co 60	2 trabajadores expuestos, lesiones en dedos	-	-	Fallo de dispositivo mecánico de la fuente.	[32, 39]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
9	1975	URSS, Rusia	Sverdlovsk	460 PBq Co 60	1 muerto y 2 personas con efectos	3,0–7,0 Gy	3,0–7,0 Gy	Caída accidental de la fuente tras retirarla del contenedor.	[118]
10	1977	Alemania		Unidad de radiografía Ir 192	1 trabajador con lesión localizada	0,01 mGy	5 Gy	Equipo defectuoso.	[32, 39]
11	1977	Reino Unido		Medicina nuclear I 125	2 trabajadores con incorporación, 1 con exposición significativa a tiroides	-	1,7 Gy	Contaminación accidental de laboratoristas.	[32, 39]
12	1979	Argentina	Paraná	Radiología diagnóstica	1 trabajador expuesto	0,94 Gy	-	Un defecto en el cableado causó la emisión de rayos X cuando la tapa del fluoroscopio estaba abierta.	[32, 39]
13	1980	India	Ludihana	Radioterapia	3 trabajadores o pacientes, sin efectos sanitarios adversos	0,25, 0,4 y 0,5 Gy	-	Equipo defectuoso (fuga de mercurio por el obturador).	[32, 39]
14	1981	Francia	Saintes	137 TBq Teleterapia Co 60	3 trabajadores con amputación de manos	-	> 25 Gy	Contacto directo de la mano con la fuente al cargarla.	[192]
15	1981–1991	Reino Unido		Radioterapia	1 045 (492 pacientes desarrollaron recidiva local, posiblemente como resultado de la infradosificación)	-	5–30 % infradosificación	Puesta en servicio inapropiada de un sistema computadorizado de planificación del tratamiento de radioterapia.	[178]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
16	1982	Argentina	La Plata	Servicio de terapia de rayos X	1 trabajador con cataratas	0,12 Gy	5,8 Gy	El operador miró por la ventana del tubo mientras cambiaba los tubos sin darse cuenta de que el sistema estaba encendido.	[193]
17	1985	Estados Unidos	Georgia (Marietta)	Radioterapia Acelerador Therac-25	1 paciente con lesión en brazo y hombro	Dosis muy superior a la prescrita	-	Problema de integración del equipo y los programas informáticos del sistema.	[193]
18	1985	Canadá	Ontario (Hamilton)	Radioterapia Acelerador Therac-25	1 paciente con lesión grave en cadera	Dosis muy superior a la prescrita	-	Problema de integración del equipo y los programas informáticos del sistema.	[193]
19	1985	Reino Unido		Medicina nuclear I 125	1 trabajador con incorporación y exposición a tiroides	-	400 Gy	Un técnico se hizo un corte en un dedo cuando llevaba puesto un guante contaminado con I 125; se lamó el dedo.	[32, 39]
20	1985	China		Inyecciones de Au 198	3 pacientes expuestos, 1 murió	Dosis muy superior a la prescrita	-	Error en el tratamiento.	[114]
21	1986	Reino Unido		Radioterapia 130 TBq Co 60	1 trabajador con lesión en una mano	< 0,1 Gy	15 Gy	Exposición al cambiar la fuente. La desalineación de los tubos impidió encajar la fuente en la posición segura.	[32, 39]
22	1986	Estados Unidos	Texas (Tyler)	Acelerador Therac-25	1 paciente murió	Dosis muy superior a la prescrita	-	Problema de integración del equipo y los programas informáticos del sistema.	[193]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
23	1986–1987	Alemania		Radioterapia Co 60	86 pacientes	-	-	Los cálculos de dosis de Co-60 se basaron en tablas de dosis erróneas (sobredosis variables). No se efectuó una determinación independiente de la tasa de dosis.	[178]
24	1987	Estados Unidos	Washington (Yakima)	Acelerador Therac-25	1 paciente con sobreexposición	Dosis muy superior a la prescrita	90–100 Gy a pecho	Un problema de integración del equipo y los programas informáticos del sistema y error del operador.	[193]
25	1987–1988	Estados Unidos	Maryland	Terapia Co 60	33 personas expuestas: 20 muertos 33 pacientes con dosis altas al cerebro	ND	75 % > que lo prescrito	Error en la planificación del tratamiento, no se actualizó el archivo informático tras el cambio de fuente.	[178]
26	1988	Países Bajos	Rotterdam	Acelerador Sagittaire	1 paciente con lesión en la parte superior del cuerpo y la cabeza	-	10–20 Gy	Fuga de radiación durante la terapia.	[194]
27	1988	Reino Unido		Radioterapia Co 60	207 pacientes	-	25 % de sobredosis	Error en la calibración de una unidad de terapia con Co 60 (25 % de sobredosis). No se efectuó una calibración independiente del haz.	[178]
28	1988–1989	Reino Unido		Fuente de braquiterapia Cs 137	22 pacientes	-	75 % de sobredosis	Error en la identificación de las fuentes de braquiterapia de Cs 137 (errores de dosimetría entre -20 % y +10 %). No se efectuó una determinación independiente de la intensidad de la fuente.	[178]

Nº	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
29	1990	España	Zaragoza	Accelerador lineal	27 pacientes con sobreexposición, 15 murieron	Dosis 2 a 7 veces superiores a las prescritas	-	No se efectuaron pruebas tras el mantenimiento. Se supone que quedó bloqueado el medidor en el panel de control: el acelerador funcionaba con la energía máxima (haz de electrones de 36 MeV) cualquiera fuera el nivel seleccionado.	[155, 178, 195]
30	1992	Estados Unidos	Pensilvania (Indiana)	Fuente de braquiterapia (16 GBq, Ir 192 cable)	1 paciente murió: la fuente permaneció 4 días en su cuerpo, otras 94 personas expuestas. La fuente se salió y fue eliminada como desecho biológico peligroso; fue descubierta, pero al monitorizar el material en el incinerador	-	16 000 Gy a 1 cm en lugar de 18 Gy	Fuente descajada; no se efectuó la comprobación para recolocar la fuente en el soporte blindado.	[155, 178, 196]
31	1994	Estados Unidos		Braquiterapia HDR	El paciente recibió la dosis en una zona equivocada	ND	12 Gy	Errores en la planificación del tratamiento.	[197]
32	1995	Perú	Arequipa	Teleterapia Co 60	1 persona expuesta con lesiones en mano	0,7 Sv	> 30 Gy	Un trabajador no cualificado trató de reparar una unidad de cobalto y tocó la fuente con la mano derecha durante menos de 1 segundo.	[32, 39]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
33	1996	Costa Rica	San José	Teleterapia Co 60	63 pacientes con sobreexposición: 17 murieron	Dosis 50–60 % superiores a las prescritas	-	Error en el cálculo de las tasas de dosis.	[20, 178]
34	1998	Japón	Okinawa	Radioterapia, 296 GBq, Ir 192	2 trabajadores expuestos	-	Sin efectos sanitarios	Negligencia: se tocó la fuente al cambiarla.	[156]
35	1999–2000	Japón	Tokio	LINAC	23 pacientes con sobreexposición	Dosis 1,23 veces superiores a las prescritas	-	Error al indicar las dosis en el ordenador que controla la dosis terapéutica.	[156]
36	2000–2001	Panamá	Ciudad de Panamá	Teleterapia Co 60	23 pacientes con sobreexposición: 5 murieron, los demás sufrieron lesiones significativas	Dosis 2 veces superiores a las prescritas	-	Uso incorrecto del sistema de planificación del tratamiento.	[24, 198]
37	2001	Polonia	Bialystok	Accelerador lineal	5 pacientes con lesiones	Dosis considerablemente superiores a las prescritas	-	Un fallo eléctrico causó daño en los sistemas de monitorización y seguridad de la dosis.	[27]
38	2001	Japón	Tokio	Linac-TC	1 trabajador expuesto	< 200 mSv	-	Un trabajador que se encontraba cerca del techo resultó accidentalmente expuesto durante una prueba de generación de radiación.	[156]

N°	Año	Lugar: país	Provincia/ Ciudad	Tipo de uso	Consecuencias	Dosis efectiva recibida	Dosis equivalente recibida	Causa principal	Ref.
39	2002	China	Henan	Radioterapia Co 60	1 persona expuesta en todo el cuerpo y en una mano derecha	1-2 Gy	> 20Gy	Negligencia durante el mantenimiento.	[199]
40	2004	France	Epinal		23 pacientes con sobreexposición: 4 murieron	Dosis 20 % superiores a las prescritas	-	Errores en la planificación del tratamiento. Desconocimiento del idioma en que estaban formuladas las instrucciones para el operador.	[200]
41	2006	Reino Unido	Escocia (Glasgow)	Acelerador lineal	1 paciente con sobreexposición	Dosis 58 % superior a la prescrita	-	Planificación del tratamiento por un operador sin experiencia. Error crítico en los datos utilizados durante la administración del tratamiento.	[201]
42	2007	Estados Unidos	Michigan (Detroit)	Radioterapia por cuchillo gamma	1 paciente, error en la determinación de la zona de tratamiento	ND	18 Gy	Debido a una inversión de la imagen en el monitor MRI el tratamiento se aplicó en la otra parte del cerebro.	[202]

REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [2] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad del OIEA N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Infraestructura legal y estatal para la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Diseño, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° NS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de las centrales nucleares: Explotación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° NS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [6] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SF-1, OIEA, Viena (2007).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA: Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica, Edición de 2007.
- [8] CRICK, M.J., LINSLEY, G.S., An assessment of the radiological impact of the Windscale reactor fire, October 1957, *Int. J. Radiat. Biol.*, 46 **5** (1984) 479–506.
- [9] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Investigation into the March 28, 1979 Three Mile Island Accident by Office of Inspection and Enforcement, NUREG-600, USNRC, Washington, DC (1979).
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The International Chernóbil Project Technical Report, Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures, Report by an International Advisory Committee, (1991).
- [11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Criticality Accident in Sarov, IAEA, Vienna (2001).

- [12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Report on the Preliminary Fact-Finding Mission Following the Accident at the Nuclear Fuel Processing Facility in Tokaimura, Japan, IAEA (1999).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1989).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de San Salvador, OIEA, Viena (1991).
- [15] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Soreq, IAEA, Vienna (1993).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in the Irradiation Facility in Nesvizh, IAEA, Vienna (1996).
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, An Electron Accelerator Accident in Hanoi, Viet Nam, IAEA, Vienna (1996).
- [18] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).
- [19] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in the Reprocessing Plant at Tomsk, IAEA, Vienna (1998).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Sobreexposición accidental de pacientes de radioterapia en San José (Costa Rica), OIEA, Viena (1999).
- [21] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Istanbul, IAEA, Vienna (2000).
- [22] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).
- [23] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).
- [24] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Investigation of an Accidental Exposure of Radiotherapy Patients in Panama, IAEA, Vienna (2001).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).
- [26] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).
- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiological Accidental Overexposure of Radiotherapy Patients in Bialystok, IAEA, Vienna (2003).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Cochabamba, IAEA, Vienna (2004).
- [29] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Irradiation Facilities, IAEA, Vienna (1996).
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidents in Industrial Radiography, Safety Reports Series No. 7, IAEA, Vienna (1998).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy, Safety Reports Series No. 17, IAEA, Vienna (2000).

- [32] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, **II** Effects, Annex C, Radiation Exposures in Accidents, United Nations, New York (2011) 1–43.
- [33] CROFT, J., et al., Management of response to the polonium-210 incident in London. Proc. of 12th International Congress of the International Radiation Protection Association (2008).
- [34] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, EPR-METHOD, OIEA, Viena (2009).
- [35] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants, NUREG-1150, USNRC, Washington, DC (1990).
- [36] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Technical Study of Spent Fuel Pool Accident Risk at Decommissioning Nuclear Power Plants, USNRC, Washington, DC (2001).
- [37] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Perspectives on Reactor Safety, Sandia Laboratory National Laboratories, NUREG/CR-6042, Revision 2 (2002).
- [38] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1988 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (1988).
- [39] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, Volume I: Sources; Volume II: Effects. United Nations, New York (2000).
- [40] REITAN, J.B., The ⁶⁰Co accident in Norway 1982: A clinical reappraisal, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979 (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.) Elsevier, New York (1990).
- [41] STAVEM, P., BROGGER, A., DEVIK, F., et al., Lethal acute gamma radiation accident at Kjeller, Norway, Report of a case, Acta Radiol. Oncol. 24 1 (1985) 61–63.
- [42] CHANTEUR, J., Forbach: un accident d’irradiation, Médecins et Rayonnements Ionisants 3 (1992) 5-6.
- [43] ZERBIB, J.C., Forbach: une certaine logique industrielle? Sécurité – Revue de Préventique 6 (Aug.–Sept.) (1993).
- [44] MARTINEZ, RG., CASSAB, G., GANEM, GG., et al, Observaciones sobre la exposición accidental de una familia a una fuente de cobalto 60. Revista Médica, Instituto Mexicano del Seguro Social, Vol. 3, p. 14-68 (1964).
- [45] JAMMET, H., GONGORA R., POUILLARD P. et al. "The 1978 Algerian accident: four cases of protracted whole-body irradiation" The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, (1980) 113–129.
- [46] METTLER, F.A. Jr., NÉNOT, J.C., "Accidental radiation injury from industrial radiography sources" Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A. Jr., Eds) CRC Press, Boca Raton, (2001) 241–258.

- [47] OFFICE OF CHIEF COUNSEL, Staff reports to the President's Commission on the Accident at Three Mile Island: Emergency Preparedness, Emergency Response, Washington, DC (1979).
- [48] DYNES, R.R., PURCELL, A.H., WENGER, D.E., STERN, P.S., STALLINGS, R.A., JOHNSON, Q.T., Staff Report to the President's Commission on the Accident at Three Mile Island: Report of the Emergency Preparedness and Response Task Force, Washington, DC: The President's Commission on the Accident at Three Mile Island, (1979).
- [49] LEGASOV, V., Testament by First Deputy Director of the Kurchatov Institute of Atomic Energy, Moscow, as published by Pravda 20 May 1988, , translation taken from MOULD, R. F., Chernóbil Record: The Definitive History of the Chernóbil Catastrophe, Bristol, Institute of Physics Publishing (2000).
- [50] LUBENAU, J.O., Learning from operational experience of radiation sources in the twentieth century, Procs. of International Conference on the Safety of Radiation Sources and the Security of Radioactive Materials, 14–18 September 1998, Dijon, IAEA, Vienna (1999).
- [51] 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 (1989).
- [52] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Notification and Assistance Technical Operations Manual, Emergency Preparedness and Response Series, EPR-ENATOM, IAEA, Vienna (2007).
- [53] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Clarification of TMI Action Plan Requirements: Requirements for Emergency Response Capability, NUREG-0737, Supplement No. 1, Washington, DC (1982).
- [54] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Severe Accident Insights Report, NUREG/CR 5132, Brookhaven National Laboratory, USA, April (1988).
- [55] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, TMI-2 Lessons Learned Task Force Status Report and Short-term Recommendations, NUREG-0578, Washington DC (1979).
- [56] DRABEK, T.E., Human System Responses to Disaster; New York: Springer-Verlag (1986).
- [57] HANS, J.M. Jr., SELL, T.C., Evacuation Risk – An Evaluation, EPA-520/6-74-002, US Environmental Protection Agency, Office of Radiation Research, National Environmental Research Center, Las Vegas, Nevada (1974).
- [58] LINDELL, M.K., PERRY, R.C, Behavioral Foundations of Community Emergency Planning, Washington DC, Hemisphere Publishing (1992).
- [59] TIERNEY, K.J., LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Facing the Unexpected: Disaster Preparedness and Response in the United States, Washington, DC, Joseph Henry Press (2001).
- [60] LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Risk Communication: Disaster Warning and Hazard Awareness for Multi-Ethnic Communities, Thousand Oaks CA, Sage Publications (2003).

- [61] WITZIG, W.F., SHILLEN, J.K., Evaluation of Protective Action Risks, NUREG/CR-4726, Washington, DC, US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (1987).
- [62] WAUGH, W. L. Jr. Shelter from the storm: repairing the national emergency management system after hurricane Katrina, *American Academy of Political and Social Science*, 604, 1, (2006) 288-332.
- [63] KEMENY, John G President's Commission: Reports of The Public Health and Safety Task Force, Washington, DC: U. S. Government Printing Office (1979).
- [64] HOUTS, P.S., CLEARLY, P.D., HU, T.W., The Three Mile Island Crisis, University Park, PA, The Pennsylvania State University Press (1987).
- [65] LINDELL, M.K., PERRY, R.W., Nuclear power plant emergency warning: How would the public respond? *Nuclear News*, **26**, (1983) 49–53.
- [66] ROGOVIN, Mitchell, Three Mile Island: A Report To The Commissioners And To The Public, Vol. II, Part 3, U. S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, (1980).
- [67] HOUTS, P.S., LINDELL, M.K., HU, T.W., CLEARLY, P.D., TOKUHATA, G FLYNN, C.B., The protective action decision model applied to evacuation during the Three Mile Island crisis, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, **2**, (1984) 27–39.
- [68] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC), Pilot Program: NRC Severe Reactor Accident Incident Response Training Manual, NUREG-1210, USNRC, Washington, DC (1987).
- [69] LINDELL, M.K., Perceived characteristics of environmental hazards, *International Journal of Mass Emergencies and Disasters*, 12, (1994) 303–326.
- [70] SORENSEN, J.H., VOGT, B. M., Public Response to a Dual Protective Action Warning: An Analysis of a Chemical Repackaging Plant Accident in West Helena, Arkansas, Oak Ridge, TN, Oak Ridge National Laboratory, 1999.
- [71] ILIN, L.A., et al, Radioactive iodine in the problem of radiation safety, *Atomizdat*, Moscow (1972); [English translation: US Atomic Energy Commission, Washington, DC, Translation Series, AEC-tr-7536].
- [72] NAUMAN, J., WOLFF, J., Iodine prophylaxis in Poland after the Chernóbil reactor accident: benefits and risks. *Am J. Med* **94**, (1993) 524–532.
- [73] Buglova E., Kenigsberg J., McKenna T. Reactor accidents and thyroid cancer risk: Use of the Chernóbil experience for emergency response. *Proceedings of the International Symposium on Radiation and Thyroid Cancer*. Eds. G.Thomas, A.Karaoglou, E.D.Williams. World Scientific, (1999) 449-453.
- [74] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Idaho Field Experiments 1981, NUREG/CR-3488 (Feb.1985).
- [75] MCKENNA, T.J., GITTER, J.G., US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Source Term Estimation During Incident Response to Severe Nuclear Power Plant Accidents, NUREG-1228, Washington, DC (1988).
- [76] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Regulatory Analysis on Emergency Preparedness for Fuel Cycle and Other Radioactive Material Licensees, US Nuclear Power Plants, NUREG-1140, USNRC, Washington, DC (1988).
- [77] LOS ALAMOS NATIONAL LABORATORY, A Review of Criticality Accidents, 2000 Revision, LA-13638, Los Alamos (2000).

- [78] WALKER, J. Samuel, *Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective*, University of California Press, Berkeley, CA, USA (2006).
- [79] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, *Assessment of the Public Health Impact from the Accidental Release of UF₆ at the Sequoya Fuels Corporation Facility at Gore, Oklahoma*, NUREG-1189, **1**, Washington, DC (1986).
- [80] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, *Rupture of Model 48Y UF₆ Cylinder and Release of Uranium Hexafluoride*, NUREG-1179, **1**, Washington, DC (1986).
- [81] BOWONDER, B. The Bhopal accident, *Technological Forecasting and Social Change*, 32 2 (1987) 169–182.
- [82] PERRY, R.W., LINDELL, M.K., GREEN, M.R., Threat perception and public response to volcano hazard, *Journal of Social Psychology*, **116**, (1982) 199–204.
- [83] LIPSTEIN, J.L., CUNHA, P.G., OLIVEIRA, C.A.N., The Goiânia accident: behind the scenes, *Health Physics*, **60** 1 (1991) 5–6.
- [84] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, UNSCEAR, 2011 Report to the General Assembly with Annexes, **II**. United Nations New York (2011).
- [85] Niveles de Orientación para Radionucleidos en Alimentos objeto de Comercio Internacional Aplicables después de una Contaminación Nuclear Accidental (CAC/GL 5-1989) aprobados por la Comisión Mixta FAO/OIEA del Codex Alimentarius (Ginebra, 1989).
- [86] Comisión Mixta FAO/OMS del Codex Alimentarius, julio de 2006 (ALINORM 06/29/41, párrafos 63-66 y Apéndice IV, Parte 2).
- [87] Ilyin L.A., Kenigsberg J.E., Linge I.I. et al. Radiation protection of public in response to Chernóbil accident. 20 years after Chernóbil. Strategy for recovery and sustainable development of the affected regions: Proceedings of International Conference, 19-21 April, 2006, Minsk, (2006) 74-88, (In Russian).
- [88] ALEKSAKHIN, R.M., BULDAKOV, L.A., GUBANOV, V.A., et al., Large radiation accidents: consequences and protective measures, ILYIN, L.A. and GUBANOV, V.A., (Eds.), Moscow, IzdAT, (2001) (In Russian).
- [89] Prister B., Chernóbil catastrophe: efficiency of measures for public protection, experience of international cooperation. Kiev, (2007) 9-12, (In Russian).
- [90] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Environmental consequences of the Chernóbil accident and their remediation: twenty years of experience*. Report of the Chernóbil Forum Expert Group ‘Environment’, IAEA, Vienna (2006).
- [91] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Chernóbil’s Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*. The Chernóbil Forum: 2003–2005: Second revised version. IAEA, Vienna (2006).
- [92] BINNS D.A.C Goiânia 1987- Searching for Radiation, Proceedings of International Conference, Goiânia – 10 years after, Goiânia 1997, IAEA (1998) 217-222.
- [93] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, *Contaminated Mexican Steel Incident*, NUREG-1103, Washington, D.C. (1985).
- [94] UK RESILIENCE, “Emergency Response and Recovery”, <http://www.ukresilience.info/>

- [95] WESTMINSTER CITY COUNCIL, Project report on the framework strategy for dealing with radioactive contamination arising from the circumstances surrounding the death of Alexander Litvinenko Westminster City Hall, UK, (2007).
- [96] ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Manual of Protective Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents, EPA 400-R-92-001, EPA, Washington, DC (1992).
- [97] CIVIL CONTINGENCIES ACT 2004.
<http://www.cabinetoffice.gov.uk/media/132428/15mayshortguide.pdf>
- [98] AUF DER HEIDE, E., Disaster Response: Principles of Preparation and Coordination, St. Louis, MO: Mosby (1989).
- [99] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION (NRC) Backgrounder on the Three Mile Island Accident, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html> (2009).
- [100] CHENAULT W. W., HILBERT G. D., REICHLIN, S. D., 1980 Evacuation Planning in the TMI Accident. RS 2-8-34, Federal Emergency Management Agency.
- [101] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Unauthorized Forced Entry into the Protected Area at Three Mile Island Unit 1 on February 7, 1993, NUREG-1485, Washington, D.C. (1993).
- [102] LONDON RESILIENCE, Looking back, moving forward: lessons identified and progress since the Terrorist Events of 7 July 2005, (2006), <http://www.londonprepared.gov.uk/downloads/lookingbackmovingforward.pdf>
- [103] NATIONAL COMMISSION ON TERRORIST ATTACKS UPON THE UNITED STATES, The 9/11 Commission Report, <http://govinfo.library.unt.edu/911/report/911Report.pdf>, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. (2004).
- [104] FORD, J., SCHMIDT, A. "Emergency Preparedness Training: Strategies for Enhancing Real-World Performance" Journal of Hazardous Materials, **75** (2000) 195-215.
- [105] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. ANNEX J: Exposure and effects of the Chernóbil accident. United Nations, New York (2000) 488, paragraph 184.
- [106] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York (1993).
- [107] WILSON, J., et al., Environmental sampling and analysis on the London underground in response to the 7th July 2005 bombings: lessons identified for major incident management, Chemical Hazards and Poisons Report, Health Protection Agency, June 2006.
- [108] HEALTH PROTECTION AGENCY, The Public Health Impact of the Buncefield Oil Depot Fire, (July 2006),
http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1194947321467
- [109] HARRISON, J.D., et al, Polonium-210 as a poison, J Radiological Protection **27** (2007) 17–40.

- [110] BAILEY, M.R., et al., Individual monitoring conducted by the Health Protection Agency in the London polonium-210 incident. Proc. of the 12th International Congress of the International Radiation Protection Association (2008).
- [111] METTLER JR., F.A., VOELZ, G.L., NÉNOT, J.C., et al., “Criticality accidents” Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn, (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.), CRC Press, Boca Raton, (2001) 173-194.
- [112] VARGO, G.J., A brief history of nuclear criticality accidents in Russia – 1953–1997, PNNL-12199, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington (1999).
- [113] ANDREWS, G.A., HUBNER, K.F., FRY, S.A., et al., “Report of 21-year medical follow-up of survivors of the Oak Ridge Y-12 accident” The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.), Elsevier North/Holland, New York, (1980) 59–79.
- [114] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Planning the Medical Response to Radiological Accidents, Safety Reports Series No. 4, IAEA, Vienna (1998).
- [115] KARAS, J.S., STANBURY, J.B., Fatal radiation syndrome from an accidental nuclear excursion. *N. Engl. J. Med.* **272** 15 (1965) 755–761.
- [116] JAMMET, H., GÓNGORA, R., LEGO, R., et al., “Clinical and biological comparison of two acute accidental irradiations: Mol (1965) and Brescia (1975)” The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, 1980.
- [117] PARMENTIER, N.C., NÉNOT, J.C., JAMMET, H.J., “A dosimetric study of the Belgian (1965) and Italian (1975) accidents” The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.) Elsevier North/Holland, New York, 1980.
- [118] SOLOVIEV, V., ILYIN, L.A., BARANOV, A.E., et al., “Radiation accidents in the former U.S.S.R.” Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton, (2001) 157–165.
- [119] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Information Notice on the fatality at the Argentina nuclear facility, US Nuclear Regulatory Commission, Office of Inspection and Enforcement. (May 1984) 83–66.
- [120] AKASHI, M., “Initial symptoms of three victims in the Tokaimura criticality accident” The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims, (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O’HARA, F.M., Jr., Eds.) The Parthenon Publishing Group, New York, (2002) 303-311.
- [121] HEID, K.R., BREITENSTEIN, B.D., PALMER, H.E., et al., “The 1976 Hanford americium accident” The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York, (1980) 345-355.
- [122] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Assessment of the public health impact from the accidental release of UF₆ at the Sequoyah Fuels Corp. facility at Gore, Oklahoma, March 1986, Report No. 1189 (March 1989).

- [123] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Inventory of accidents and losses at sea involving radioactive material, IAEA-TECDOC-1242, IAEA, Vienna (2001).
- [124] BENINSON, D., PLACER, A., VANDER ELST, E., Estudio de un caso de irradiación humana accidental, Handling of Radiation Accidents, Proc. of a Symposium, Vienna, 19–23 May 1969, IAEA, Vienna (1969) 415–429.
- [125] ANNAMALAI, M., IYER, P.S., PANICKER, T.M.R., Radiation injury from acute exposure to an iridium-192 source: case history, Health Phys. **35** 2 (1978) 387–389.
- [126] SCHNEIDER, G.J., CHONE, B., BLONNIGEN, T., Chromosomal aberrations in a radiation accident: dosimetric and hematological aspects, Radiat. Res. **40** 3 (1969) 613–617.
- [127] HARRISON, N.T., ESCOTT, P., DOLPHIN, G.W., The investigation and reconstruction of a severe radiation injury to an industrial radiographer in Scotland, Proc. of the Third International Congress of the International Radiation Protection Association Washington, 1973 (Snyder, S., Ed.). USAEC, Washington (1973) 760–768.
- [128] PAN, Z.Q., et al., Review of Chinese nuclear accidents, Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn, (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton (2001) 149–155.
- [129] PAN, Z., et al., Environmental quality assessment of nuclear industry of China over past 30 years, Atomic Energy Publishing, Beijing (1990).
- [130] BARLOTTA, F.M., The New Jersey radiation accidents of 1974 and 1977, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 151–160.
- [131] BALLAY, L. (Ed.), Adaptation of INES scale to radiological incidents and accidents in Hungary, Report by NRIRR for HAEA, Budapest, Sept.30 (2010).
- [132] SCOTT, E.B. II., The 1978 and 1979 Louisiana accidents: exposure to iridium 192 The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 223–227.
- [133] YE, G.Y., et al., The People’s Republic of China radiation accidents, 1980, 1985, 1986, and 1987, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979 (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.). Elsevier, New York (1990).
- [134] WANG, G., et al., Clinical report of two cases of acute radiation sickness, Chin. J. Radiol. Med. Prot. **8** 6 (1989) 396–399.
- [135] GOU, Y., et al., Dose estimates for two cases accidentally exposed to a Co-60 source, Chin. J. Radiol. Med. Prot. **9** 2 (1989) 115–117.
- [136] ZHANG, W., et al. Dose estimation and evaluation of an accidental exposure caused by an iridium-192 radiographic source. Chin. J. Radiol. Med. Prot. **10** 4 (1990) 278–279.
- [137] LIU, B., YE, G., (Eds.), Collected Papers on Diagnosis and Emergency Treatment of the Victims Involved in Shanghai, June 25, 60Co Radiation Accident, Military Medical Science Press, Beijing, China (1996).
- [138] LLOYD, et al; Death of a classified worker probably caused by overexposure to radiation. Occup. Environ. Med. **51** (1994) 713–718.
- [139] SUZUKI, G., Accident report of Co-60, Japanese Journal of Health Physics **34** 3 (1999) 277–280 (in Japanese).

- [140] DA SILVA, F.C., HUNT, J.G., RAMALHO, A.T., et al., Dose reconstruction of a Brazilian industrial gamma radiography partial-body overexposure case, *J. Radiol. Prot.* **25** 3 (2005) 289–298.
- [141] YAO B., JIANG B.R., AI, H.S., LI, Y.F., LUI, G.X., Biological dose estimation for two severely exposed patients in a radiation accident in Shandong Jining, China, in 2004. *Int. J. Radiat. Biol.* **86** 9 (2010) 800–808.
- [142] AI, H.S., YU, C.L., QIAO, J.H., et al., Medical management of irradiated patients in a radiation accident in Jining, Shandong Province. *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **27** (2007) 1–5.
- [143] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Nueva Aldea, STI/PUB/1389, IAEA, Vienna (2009).
- [144] “Information file: Sterigenics” at http://www.sterigenics.com/company/news/items/fleurus_accident
- [145] HOWLAND, J.W., INGRAM, M., MERMAGEN, H., et al., The Lockport incident: accidental body exposure of humans to large doses of x-irradiation, Diagnosis and Treatment of Acute Radiation Injury, Proc. of a scientific meeting jointly sponsored by International Atomic Energy Agency/World Health Organization (1960) 11–26.
- [146] GILBERTI, M.V., The 1967 radiation accident near Pittsburgh, Pennsylvania, and a follow-up report, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 131–140.
- [147] LANZL, L.H., ROZENFELD, M.L., TARLOV, A.R., Injury due to accidental high-dose exposure to 10 MeV electrons, *Health Phys.* **13** 3 (1967) 241–251.
- [148] GILBERTI, M.V., WALD, N., The Pittsburgh radiation accident: twenty-three-year follow-up of clinical and psychological aspects, The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness III: The Psychological Perspective (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O’HARA, F.M., Jr., Eds.). Elsevier, New York (1991) 199–208.
- [149] ZHOU, Z., et al. Cause investigation and dose assessment in an accident to a Van de Graaff accelerator, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **10** 2 (1990) 115–116.
- [150] DESROSIERS, M.F., In vivo assessment of radiation exposure, *Health Phys.* **61** 6 (1991) 859–861.
- [151] SOLEO, L., BASSO, A., DI LORENZO, L., et al., Acute radiodermatitis from accidental overexposure to x-rays, *Am. J. Ind. Med.* **30** 2 (1996) 207–211.
- [152] IRID: Ionising Radiations Incident Database, Disabled warning signals and failure to follow local rules causes localised exposure to radiographer from X-ray set, IRID case number 007/93 (1993), www.irid.org.uk.
- [153] BERGER, M.E., HURTADO, R., DUNLAP, J., et al., Accidental radiation injury to the hand: anatomical and physiological considerations, *Health Phys.* **72** 3 (1997) 343–348.
- [154] VALVERDE, NJ, DEL., LUCENA M.C., DE BRAZILIAN, C.H., et al., Radiation overexposure to the x-ray beam of a diffractometer affected the hands of three workers in Camacari, Brazil. *Rev. Assoc. Bras.* **46** 1, (Jan/Mar 2000) 81–89.
- [155] METTLER JR., F.A., ORTIZ-LOPEZ, P., Accidents in radiation therapy, Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.). CRC Press, Boca Raton (2001) 291–297.

- [156] NUCLEAR SAFETY COMMISSION OF JAPAN, Accidents and Incidents related to radiation and radioactive materials, Nuclear Safety Commission of Japan, Tokyo (2002) (in Japanese).
- [157] YAO, X. D., ZHANG, X. L., Investment on two unexpected exposures of X-ray flaw detector in Leshan, *Occupation and health* **20** (2004) 18–19.
- [158] ROSSI, E.C., THORNGATE, A.A., LARSON, F.C., Acute radiation syndrome caused by accidental exposure to cobalt-60. *J. Lab. Clin. Med.* **59** (1962) 655–666.
- [159] BARABANOVA, A.V., Local Radiation Injury, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn., GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr. Eds., CRC Press, Boca Raton, (2001) 223–240.
- [160] VODOPICK, H., ANDREWS, G.A., The University of Tennessee comparative animal research laboratory accident in 1971, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 141–149.
- [161] LINSLEY, G.S., Over-exposure during work with X-ray crystallographic equipment. *Radiol. Prot. Bull.* **5** (1973) 15–16.
- [162] BUSHBERG, J.T., FERGUSON, T., SHELTON, D.K., et al., Exposure analysis and medical evaluation of a low-energy X-ray diffraction accident, *Medical Management of Radiation Accidents*, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr. Eds.). CRC Press, Boca Raton (2001) 277–287.
- [163] SHI, Y., et al., Dose analysis for Sanlián radiation accident, *Proceedings of Clinical Study of 23 Acute Radiological-Disease Patients*, Atomic Energy Publishing, Beijing (1985).
- [164] HIROSHIMA, K., SUGIYAMA, H., ISHIHARA, T., et al., The 1971 Chiba, Japan accident: exposure to iridium-192, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 179–195.
- [165] COMISIÓN NACIONAL DE SEGURIDAD NUCLEAR Y SALVAGUARDIAS (CNSNS), Accidentes IX Rayos X Industrial de México S.A. de C.V.
- [166] LLOYD, D.C., PURROTT, R.J., PROSSER, J.S., et al., Doses in radiation accidents investigated by chromosome aberration analysis VIII: A review of cases investigated: 1977. NRPB-R70 (1978).
- [167] YAO, S., et al., Chromosome aberrations in persons accidentally exposed to Cs-137 gamma rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **4** 6 (1984) 22.
- [168] JIN, C. et al. Cytogenetic follow-up studies in persons accidentally exposed to ^{60}Co γ rays – 10 years post exposure, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **5** 1 (1985) 14–17.
- [169] ROSS, J.F., HOLLY, F.E., ZAREM, H.A., et al., The 1979 Los Angeles accident: exposure to iridium 192 industrial radiographic source, *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness* (HUBNER, K.F., FRY, S.A., Eds.). Elsevier North/Holland, New York (1980) 205–221.
- [170] WANG, J., et al., Five year medical observation on seven cases accidentally exposed to ^{60}Co γ rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **9** 2 (1989) 73–76.
- [171] TASK GROUP DEALING WITH HANZHONG CO-60 SOURCE ACCIDENT, Five year observation on cases accidentally exposed to Co-60 gamma rays, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **9** 2 (1989) 73–76.

- [172] BURSON, Z., LUSHBAUGH, C.C., "The 1983-1984 Ciudad Juarez, Mexico ⁶⁰Co accident" *The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979* (RICKS, R.C., FRY, S.A. Eds.). Elsevier, New York, 1990.
- [173] MARSHALL, E., Morocco reports lethal radiation accident, *Science* **225** 4660 (1984) 395.
- [174] HUANG, S., et al., A clinical report of three cases of acute radiation sickness, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **9** 2 (1989) 82–86.
- [175] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Dosimetric and Medical Aspects of the Radiological Accident in Goiânia in 1987*, IAEA-TECDOC-1009, IAEA, Vienna (1998).
- [176] GAN, Y., Dealing with an accident involving loss of a ¹³⁷Cs source for purpose of field well logging, *Radiol. Hyg.*, **4** 2 (1989) 82.
- [177] YE, G., et al., Advances in diagnosis and treatment of acute radiation syndrome in China, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **18** 5 (1998) 316.
- [178] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, *Publication 86, Prevention of Accidental Exposures to Patients Undergoing Radiation Therapy*, Oxford and New York, Pergamon Press (2001).
- [179] BARANOV, A.E., GUSKOVA, A.K., DAVTIAN, A.A., et al., Protracted overexposure to a ¹³⁷Cs source: II. Clinical sequelae. *Radiat. Prot. Dosim.* **81** 2 (1999) 91–100.
- [180] SEVAN'KAEV, A.V., LLOYD, D.C., EDWARDS, A.A., et al., Protracted overexposure to a ¹³⁷Cs source: I. Dose reconstruction. *Radiat. Prot. Dosim.* **81** 2 (1999) 85–90.
- [181] XU, Z.Y., ZHANG, L.A., DAI, G., The estimation of absorbed doses received by a victim of a Chinese radiation accident. *Radiat. Prot. Dosim.* **103** 2 (2003) 163–167.
- [182] EL-NAGGAR, A.M., MOHAMMAD, M.H.M., GOMAA, M.A., *The radiological accident at Meet Halfa, Qaluobiya, Egypt, 2000, The Medical Basis for Radiation-Accident Preparedness: The Clinical Care of Victims* (RICKS, R.C., BERGER, M.E., O'HARA, F.M., Jr., Eds.). The Parthenon Publishing Group, New York (2002) 319-336.
- [183] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *The Radiological Accident in Egypt – Summary*, IAEA, Vienna (2000).
- [184] SEVAN'KAEV, A.V., LLOYD, D.C., EDWARDS, A.A., et al., Cytogenic investigations of serious overexposures to an industrial gamma radiography source, *Radiat. Prot. Dosim.* **102** 3 (2002) 201–206.
- [185] LU, C.A., FU, B.H., HAN, L., CHEN, Y.H., ZHAO, F.L., Biological dose assessment by the analyses of chromosomal aberrations and CB micronuclei in two victims accidentally exposed to ⁶⁰Co gamma-rays, *Hereditas*, **24** (2002) 417–419.
- [186] JIKIA, D., CHKHAIDZE, N., IMEDASHVILI, E., et al., The use of a novel biodegradable preparation capable of the sustained release of bacteriophages and ciprofloxacin, in the complex treatment of multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*-infected local radiation injuries caused by exposure to ⁹⁰Sr. *Clin. Exp. Dermatol.* **30** 1 (2005) 23–26.
- [187] JIANG, Z.J., XIAO, Y., LI, S.W., One report of sub-acute radiation sickness in a radiation accident caused by ¹⁹²Ir source, *Chin. J. Radiol. Med. Prot.* **24** (2004) 299.

- [188] BHUSHAN, V., Large radiation exposure, Proc. of the Third International Congress of the International Radiation Protection Association, Washington, 1973. CONF-730907-P1 (1974) 769–772.
- [189] BARON, J.M., YACHNIN, S., PALCYN, R., et al., Accidental radio-gold (198Au) liver scan overdose with fatal outcome, Handling of Radiation Accidents, Proc. of a Symposium, Vienna, 19–23 May 1969, IAEA, Vienna (1969) 399-414.
- [190] METTLER, F.A., Jr., Fatal accidental overdose with radioactive gold in Wisconsin, U.S.A., Medical Management of Radiation Accidents, 2nd edn (GUSEV, I.A., GUSKOVA, A.K., METTLER, F.A., Jr., Eds.) CRC Press, Boca Raton (2001) 361–362.
- [191] JIN, C., et al., A 10 year follow-up observation of Wuhan individuals exposed to Co source in respect of chromosome aberration, Chin. J. Radiol. Med. Prot. **5** 1 (1985) 14.
- [192] NÉNOT, J.C., Medical and surgical management for localized radiation injuries, Int. J. Radiat. Biol. **57** 4 (1990) 783–795.
- [193] NEWMAN, H.F., The Malfunction “54” accelerator accidents 1985, 1986, 1987, The Medical Basis for Radiation Accident Preparedness II: Clinical Experience and Follow-up since 1979 (RICKS, R.C., FRY, S.A., Eds.) Elsevier, New York (1990) 165–171.
- [194] WOULDSTRA, E., HUIZENGA, H., VAN DE POEL, J.A., Possible leakage radiation during malfunctioning of a Sagittaire accelerator, Radiother. Oncol. **29** 1 (1993) 39–44.
- [195] SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FÍSICA MÉDICA, El accidente del acelerador lineal en el Hospital Clínico de Zaragoza, SEFM, Madrid (1991).
- [196] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. NUREG 1480: Loss of an iridium-192 source and therapy misadministration at Indiana Regional Cancer Center Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992. USNRC, Washington, DC (1993).
- [197] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION NRC INFORMATION NOTICE 95–39. USNRC Washington, D.C. (Sept. 1995).
- [198] BORRÁS, C., BARÉS, J.P., RUDDER, D., et.al., Clinical effects in a cohort of cancer patients overexposed during external beam pelvic radiotherapy, Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. **59** 2 (2004) 538–550.
- [199] LIU, C.A., BAI, Y.S., MA, J.F., et al., Biological dose assessment for victim accidentally exposed to Co-60 gamma-rays in Hebi, Henan province, Chin. J. Radiol. Health, **14** (2005) 3–5.
- [200] ASH, D. Lessons from Epinal. Clin. Oncol. **19** 8 (2007) 614–615.
- [201] JOHNSTON, A. (Scientific Advisor), Report of an investigation by the inspector appointed by the Scottish Minister for Ionising Radiation (Medical Exposures) Regulations: Unintended overexposure of patient Lisa Norris during radiotherapy treatment at the Beatson Oncology Centre, Glasgow (January 2006).
- [202] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NRC event notification 43746. USNRC, Washington, D.C. (Oct. 2007).

SIGLAS

CCC	Comité de Contingencias Civiles
CNH	Centro Nacional de Huracanes
GTR	Generador termoeléctrico radiotópico
HPA	Agencia de Protección de la Salud (Reino Unido)
ICM	Isocianato de metilo
NHS	Servicio Nacional de Salud (Reino Unido)
NIO	Niveles de Intervención Operacional
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
RWG	Grupo de Trabajo de Recuperación
SAI	Síndrome agudo de irradiación
SCG	Grupo de Coordinación Estratégica (Reino Unido)
TMI	Three Mile Island
ZMP	Zona de Medidas Precautorias
ZPMPU	Zona de Planificación de Medidas Protectoras Urgentes

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

Agapov, A.	Ministerio de Energía Nucleoeléctrica (Federación de Rusia)
Andreev, I.	Forum für Atomfragen (Austria)
Barabanova, A.	Centro Federal de Medicina y Biofísica de Burnazyan (Federación de Rusia)
Blue, C.	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)
Bodnár, R.	Central nuclear de Paks (Hungria)
Boustany, K.	Universidad de Quebec en Montreal (Canadá)
Brandl, A.	División de Física de la Salud, Seibersdorf (Austria)
Buglova, E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Callen, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Crick, M.J.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Croft, J.	Reino Unido
Deguelde, D.	Asociación Vinçotte Nuclear (Bélgica)
Dempsey, G.	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)
Edwards, P.	Dirección de Industrias Nucleares, Reino Unido
Finck, R.	Instituto Sueco de Protección Radiológica (Suecia)
Garnyk, N.	Ministerio de Energía Atómica (Federación de Rusia)
Gray, E.	Centro Nacional de Salud Ambiental (Estados Unidos de América)
Griffiths, H.	Laboratorios de Chalk River (Canadá)
Grlicarev, I.	Ministerio de Medio Ambiente y Planificación Física (Eslovenia)

Hadden, R.	Dirección de Seguridad Nuclear (Reino Unido)
Hänninen, R.	Centro Finlandés de Seguridad Radiológica y Nuclear (Finlandia)
Hedemann-Jensen, P.	Laboratorio Nacional de Risø (Dinamarca)
Jouve, A.	Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear (Francia)
Kheifets, L.	Organización Mundial de la Salud
Kis, P.	Ministerio del Interior (Austria)
Korn, H.	Oficina Federal de Protección Radiológica (Alemania)
Kromp-Kolb, H.	Forum für Atomfragen (Austria)
Kutkov, V.	Centro de Investigaciones “Instituto Kurchatov” (Federación de Rusia)
Lafortune, J. F.	International Safety Research (Canadá)
Lindell M.K	Universidad de Texas A&M (Estados Unidos de América)
Lux, I.	Autoridad de Energía Atómica de Hungría (Hungría)
Martincic, R.	Organismo Internacional de Energía Atómica
McColl, N.	Junta Nacional de Protección Radiológica (Reino Unido)
McKenna, T.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Mettler, F.A.	Centro Médico Regional Federal (Estados Unidos de América)
Morrey, M.	Junta Nacional de Protección Radiológica (Reino Unido)
Nawar, M.	Agencia de Protección Ambiental (Estados Unidos de América)
Nogueira de Oliveira, C.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Olsson, R.	Inspección Sueca de Energía Nuclear (Suecia)
Özbas, E.	Autoridad de Energía Atómica de Turquía (Turquía)

Pan, Z.	Autoridad de Energía Atómica de China (China)
Patchett, C.	Dirección de Seguridad Nuclear (Reino Unido)
Pessoa-Prdellas, C.A.	Ministerio de Asuntos Estratégicos (Brasil)
Pretti, J.	Ministerio del Interior (Francia)
Rigney, C.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Rochedo, E.	Comisión Nacional de Energía Nuclear (Brasil)
Santezzi-Bertotelli- Andreuzza, M.G.	Ministerio de Asuntos Estratégicos (Brasil)
Scheffenegger, R.	Cancillería Federal (Austria)
Sinkko, K.T.S.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (Finlandia)
Souchkevitch, G.	Organización Mundial de la Salud
Susalla, M.	Departamento de Energía (Estados Unidos de América)
Tabachnyi, L.	Ministerio para Situaciones de Emergencia y Asuntos relacionados con la Protección de la Población contra las Consecuencias del Desastre de Chernóbil (Ucrania)
Telleria, D.M.	Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentina)
Turai, I.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Vade, S.	Comisión Europea
Viktory, D.	Instituto Nacional de Sanidad de la República Eslovaca (Eslovaquia)
Woods, D.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Zähringer, M.	Oficina Federal de Protección Radiológica (Alemania)
Zechner, J.E.	Cancillería Federal (Austria)



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 23

PEDIDOS FUERA DEL OIEA

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

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

ALEMANIA

Goethe Buchhandlung Teubig GmbH

Schweitzer Fachinformationen

Willstätterstrasse 15, 40549 Düsseldorf, ALEMANIA

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

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

AUSTRALIA

DA Information Services

648 Whitehorse Road, Mitcham, VIC 3132, AUSTRALIA

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

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

BÉLGICA

Jean de Lannoy

Avenue du Roi 202, 1190 Bruselas, BÉLGICA

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

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

CANADÁ

Renouf Publishing Co. Ltd.

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

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

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

Bernan Associates

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

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

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

ESLOVENIA

Cankarjeva Založba dd

Kopitarjeva 2, 1515 Liubliana, ESLOVENIA

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

Correo electrónico: import.books@cankarjeva-z.si • Sitio web: http://www.mladsinska.com/cankarjeva_zalozba

ESPAÑA

Díaz de Santos, S.A.

Librerías Bookshop • Departamento de pedidos

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

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

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

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Bernan Associates

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

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

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

Renouf Publishing Co. Ltd.

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

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

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

FINLANDIA

Akateeminen Kirjakauppa

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

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

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

FRANCIA

Form-Edit

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

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

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

Lavoisier SAS

14 rue de Provigny, 94236 Cachan CEDEX, FRANCIA

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

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

L'Appel du livre

99 rue de Charonne, 75011 París, FRANCIA

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

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

HUNGRÍA

Librotade Ltd., Book Import

PF 126, 1656 Budapest, HUNGRÍA

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

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

INDIA

Allied Publishers

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

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

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

Bookwell

3/79 Nirankari, Delhi 110009, INDIA

Teléfono: +91 11 2760 1283/4536

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

ITALIA

Libreria Scientifica "AEIOU"

Via Vincenzo Maria Coronelli 6, 20146 Milán, ITALIA

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

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

JAPÓN

Maruzen Co., Ltd.

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

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

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

NACIONES UNIDAS (ONU)

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

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

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

PAÍSES BAJOS

Martinus Nijhoff International

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

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

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

Swets Information Services Ltd.

PO Box 26, 2300 AA Leiden

Dellaertweg 9b, 2316 WZ Leiden, PAÍSES BAJOS

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

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

REINO UNIDO

The Stationery Office Ltd. (TSO)

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

Teléfono: +44 870 600 5552

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

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

REPÚBLICA CHECA

Suweco CZ, spol. S.r.o.

Klecakova 347, 180 21 Praga 9, REPÚBLICA CHECA

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

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

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

Sección Editorial del OIEA, Dependencia de Mercadotecnia y Venta,

Organismo Internacional de Energía Atómica

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

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

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

