

# Normas de seguridad del OIEA

para la protección de las personas y el medio ambiente

## Monitorización del medio ambiente y de las fuentes de radiación con fines de protección radiológica

Guía de seguridad

N° RS-G-1.8



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

## PUBLICACIONES DEL OIEA RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD

### 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 aparecen en la **Colección de Normas de Seguridad del OIEA**. Esta serie de publicaciones abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos, así como la seguridad general (es decir, todas esas esferas de la seguridad). Las categorías comprendidas en esta serie son las siguientes: **Nociones fundamentales de seguridad, Requisitos de seguridad y Guías de seguridad**.

Las normas de seguridad llevan un código que corresponde a su ámbito de aplicación: seguridad nuclear (NS), seguridad radiológica (RS), seguridad del transporte (TS), seguridad de los desechos (WS) y seguridad general (GS).

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

### OTRAS PUBLICACIONES RELACIONADAS CON LA SEGURIDAD

Con arreglo a lo dispuesto en el artículo III y el 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**.

MONITORIZACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE Y DE LAS FUENTES  
DE RADIACIÓN CON FINES  
DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

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

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

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

COLECCIÓN DE  
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° RS-G-1.8

MONITORIZACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE Y DE LAS FUENTES  
DE RADIACIÓN CON FINES  
DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

GUÍA DE SEGURIDAD

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2010

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

© OIEA, 2010  
Impreso por el OIEA en Austria  
Julio de 2010

MONITORIZACIÓN DEL MEDIO  
AMBIENTE Y DE LAS FUENTES  
DE RADIACIÓN CON FINES  
DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
OIEA, VIENA, 2010  
STI/PUB/1216  
ISBN 978-92-0-306010-3  
ISSN 1020-5837

## PRÓLOGO

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

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

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

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

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



# NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

## NORMAS INTERNACIONALES Y SEGURIDAD

Si bien la seguridad es una responsabilidad nacional, las normas y enfoques internacionales relativos a la seguridad fomentan la coherencia, contribuyen a dar garantías de que las tecnologías nucleares y relacionadas con las radiaciones se utilizan en condiciones de seguridad, y facilitan la cooperación técnica y el comercio internacionales.

Las normas también ayudan a los Estados a cumplir sus obligaciones internacionales. Una obligación internacional general es que un Estado no debe llevar a cabo actividades que ocasionen daños a otro Estado. En los convenios internacionales relativos a la seguridad se exponen obligaciones más específicas para los Estados Contratantes. Las normas de seguridad del OIEA, acordadas internacionalmente, constituyen la base para que los Estados demuestren que cumplen esas obligaciones.

## LAS NORMAS DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA se basan en el Estatuto del OIEA, que autoriza al Organismo a establecer normas de seguridad para instalaciones y actividades nucleares y relacionadas con las radiaciones y proveer a su aplicación.

Las normas de seguridad reflejan un consenso internacional con respecto a lo que constituye un alto nivel de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente.

Las normas se publican en la Colección de Normas de Seguridad del OIEA, que comprende tres categorías:

### **Nociones fundamentales de seguridad**

- Presentan los objetivos, conceptos y principios de protección y seguridad y constituyen la base de los requisitos de seguridad.

### **Requisitos de seguridad**

- Establecen los requisitos que deben cumplirse para garantizar la protección de la población y el medio ambiente, tanto en el presente como en el futuro. Estos requisitos, en cuya formulación se emplea generalmente la forma deberá(n) o expresiones como “habrá que”, “hay que”, “habrá de”, “se deberá” (en inglés “shall”), se rigen por los objetivos, conceptos y principios de las Nociones fundamentales de seguridad. Si no se cumplen, deben adoptarse medidas para alcanzar o restablecer el grado de seguridad requerido. Las publicaciones de Requisitos de seguridad están redactadas en forma de textos reglamentarios, lo cual permite su incorporación en leyes y reglamentos nacionales.

### **Guías de seguridad**

- Ofrecen recomendaciones y orientación sobre cómo cumplir los requisitos de seguridad. En la formulación de las recomendaciones de las Guías de seguridad se emplea generalmente la forma debería(n) o expresiones como “conviene”, “se recomienda”, “es aconsejable” (en inglés “should”). Se recomienda adoptar las medidas señaladas u otras medidas equivalentes. Las Guías de seguridad contienen ejemplos de buenas prácticas internacionales y dan cuenta cada vez

más de las mejores prácticas que existen para ayudar a los usuarios que se esfuerzan por alcanzar altos niveles de seguridad. Cada publicación de Requisitos de seguridad está complementada por varias Guías de seguridad, que se pueden utilizar en la elaboración de guías nacionales de reglamentación.

Las normas de seguridad del OIEA deben ser complementadas con normas industriales, y deben aplicarse en el marco de infraestructuras nacionales de reglamentación adecuadas para que sean plenamente eficaces. El OIEA produce una amplia gama de publicaciones técnicas que ayudan a los Estados a elaborar esas normas e infraestructuras nacionales.

## PRINCIPALES USUARIOS DE LAS NORMAS

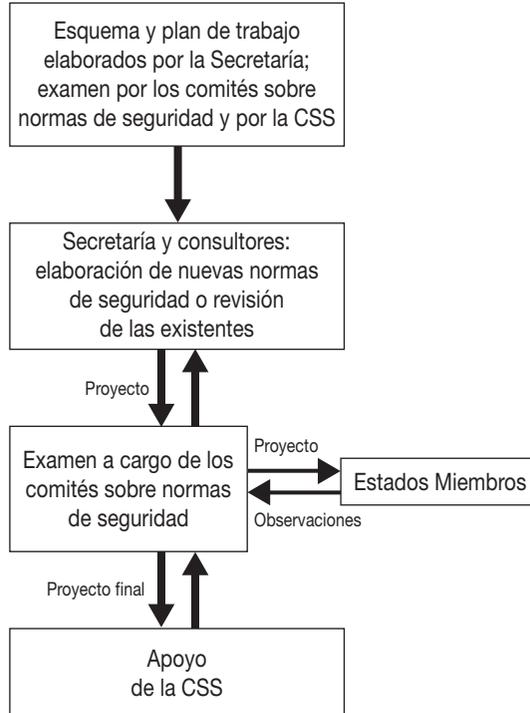
Además de los órganos reguladores y departamentos, autoridades y organismos gubernamentales, las normas son utilizadas por las autoridades y organizaciones explotadoras de la industria nuclear; por organizaciones que se ocupan del diseño, la fabricación y la aplicación de las tecnologías nucleares y relacionadas con las radiaciones, incluidas las organizaciones encargadas del funcionamiento de diversos tipos de instalaciones; por usuarios y otras personas relacionadas con el empleo de las radiaciones y materiales radiactivos en la medicina, la industria, la agricultura, la investigación y la educación; y por ingenieros, científicos, técnicos y otros especialistas. Las normas son utilizadas por el propio OIEA en sus exámenes de la seguridad y en la elaboración de cursos de enseñanza y capacitación.

## EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS NORMAS

En la elaboración y examen de las normas de seguridad participan la Secretaría del OIEA y cuatro comités de normas de seguridad que se ocupan de la seguridad nuclear (NUSSC), la seguridad radiológica (RASSC), la seguridad de los desechos radiactivos (WASSC) y el transporte seguro de materiales radiactivos (TRANSSC), así como una Comisión sobre normas de seguridad (CSS) que supervisa el programa de normas de seguridad en su conjunto. Todos los Estados Miembros del OIEA pueden designar expertos para que participen en los comités de normas y formulen observaciones sobre los proyectos de norma. Los miembros de la CSS son designados por el Director General y figuran entre ellos altos funcionarios gubernamentales encargados del establecimiento de normas nacionales.

En el caso de las Nociones fundamentales de seguridad y los Requisitos de seguridad, los proyectos aprobados por la Comisión se presentan a la Junta de Gobernadores del OIEA para que apruebe su publicación. Las Guías de seguridad se publican con la aprobación del Director General.

Por medio de este proceso, las normas llegan a representar una opinión consensuada de los Estados Miembros del OIEA. En la elaboración de las normas se tienen en cuenta las conclusiones del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR) y las recomendaciones de órganos internacionales de expertos, en particular la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR). Algunas normas se elaboran en cooperación con otros órganos del sistema de las Naciones Unidas u otros organismos especializados, entre ellos la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Organización Internacional del Trabajo, la Agencia para la Energía



*Proceso de elaboración de una nueva norma de seguridad o de revisión de una norma existente.*

Nuclear de la OCDE, la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud.

Las normas de seguridad se mantienen actualizadas: cinco años tras su publicación se examinan para determinar si es necesario hacer una revisión.

## APLICACIÓN Y ALCANCE DE LAS NORMAS

De conformidad con el Estatuto del OIEA, las normas de seguridad tienen carácter vinculante para el OIEA en relación con sus propias actividades, así como para los Estados en relación con las actividades para las que el OIEA les preste asistencia. Todo Estado que desee concertar un acuerdo con el OIEA relativo a cualquier forma de asistencia del Organismo debe cumplir los requisitos de las normas de seguridad correspondientes a las actividades que abarque el acuerdo.

Los convenios internacionales también contienen requisitos similares a los que figuran en las normas de seguridad, y tienen carácter preceptivo para las Partes Contratantes. Las Nociones fundamentales de seguridad se utilizaron como base para la elaboración de la Convención sobre Seguridad Nuclear y la Convención conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos. Los Requisitos de seguridad sobre preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica son reflejo de las obligaciones de los

Estados emanadas de la Convención sobre la pronta notificación de accidentes nucleares y la Convención sobre asistencia en caso de accidente nuclear o emergencia radiológica.

Las normas de seguridad, incorporadas a las legislaciones y reglamentos nacionales y complementadas por convenios internacionales y requisitos nacionales detallados, constituyen la base para la protección de la población y el medio ambiente. No obstante, también existen aspectos especiales de la seguridad que deberán evaluarse caso por caso a escala nacional. Por ejemplo, muchas de las normas de seguridad, en particular las que tratan aspectos de planificación o diseño de la seguridad, se conciben con el fin de aplicarlas principalmente a nuevas instalaciones y actividades. Es posible que algunas instalaciones construidas conforme a normas anteriores no cumplan plenamente los requisitos y recomendaciones especificados en las normas de seguridad del OIEA. Corresponde a cada Estado decidir el modo en que deberán aplicarse las normas de seguridad a esas instalaciones.

## INTERPRETACIÓN DEL TEXTO

En las normas de seguridad se usa la expresión “deberá(n)” (en inglés “shall”) con referencia a requisitos, deberes y obligaciones determinados por consenso. Muchos de los requisitos no están dirigidos a una de las partes en particular, lo que significa que incumbiría cumplirlos a la parte, o las partes, que corresponda. En la formulación de las recomendaciones se emplea la forma debería(n) o expresiones como “conviene”, “se recomienda”, “es aconsejable” (en inglés “should”), para indicar un consenso internacional en el sentido de que es necesario tomar las medidas recomendadas (u otras medidas equivalentes) para cumplir con los requisitos.

En la versión del texto en inglés, los términos relacionados con la seguridad se interpretarán como figuran en el Glosario sobre seguridad del OIEA (<http://www-ns.iaea.org/standards/safety-glossary.htm>); de otro modo, las palabras se utilizan con la ortografía y el significado que se les da en la versión más reciente del Concise Oxford Dictionary. En el caso de las Guías de seguridad, el texto en inglés es la versión autorizada.

En la Introducción que figura en la Sección 1 de cada publicación se hace una explicación de los antecedentes, el contexto, los objetivos, el ámbito y la estructura de cada una de las normas que forman parte de la Colección de Normas de Seguridad.

Toda información para la cual no exista un lugar adecuado dentro del texto principal (por ejemplo, información de carácter auxiliar o independiente del texto principal, se incluye a modo de apoyo a declaraciones que figuran en el texto principal, o para describir métodos de cálculo, procedimientos experimentales o límites y condiciones), y podrá presentarse en apéndices o anexos.

Los apéndices, de haberlos, se consideran como parte integrante de una norma. La información que figura en un apéndice tiene el mismo valor que el texto principal y el OIEA asume su autoría. Los anexos y notas de pie de página correspondientes al texto principal sirven para proporcionar ejemplos prácticos o información o explicaciones adicionales. Un anexo no es parte integrante del texto principal. La información publicada por el OIEA en forma de anexos no es necesariamente de su autoría; la información que deba figurar en las normas y que corresponda a otros autores podrá presentarse en forma de anexos. Otro tipo de información en anexos podrá adaptarse y tomarse de otras fuentes, según convenga, de modo que sea de utilidad general para el lector.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Antecedentes (1.1 a 1.6) .....	1
	Objetivo (1.7 a 1.9) .....	3
	Ámbito de aplicación (1.10 a 1.15) .....	4
	Estructura (1.16) .....	5
2.	CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS REGLAMENTARIOS RELATIVOS A LA MONITORIZACIÓN EN LAS PRÁCTICAS E INTERVENCIONES .....	6
	Contexto jurídico (2.1 a 2.8) .....	6
	Condiciones generales para la monitorización (2.9 a 2.24) .....	10
3.	RESPONSABILIDADES RELATIVAS A LA MONITORIZACIÓN .....	15
	Responsabilidades del explotador (3.1 a 3.3) .....	15
	Responsabilidades del órgano regulador (3.4 a 3.7) .....	16
	Responsabilidades de otras entidades (3.8 a 3.11) .....	19
	Notificación de los resultados de la monitorización (3.12 a 3.18) ...	20
4.	ASPECTOS GENÉRICOS DE LOS PROGRAMAS DE MONITORIZACIÓN.....	21
	Consideraciones generales (4.1 a 4.3) .....	21
	Vías de exposición humana (4.4 a 4.11) .....	22
	Grupos expuestos (4.12 a 4.17) .....	26
	Tipos de monitorización radiológica (4.18 a 4.31) .....	27
5.	PROGRAMAS DE MONITORIZACIÓN EN PRÁCTICAS E INTERVENCIONES .....	31
	Consideraciones generales (5.1 a 5.4) .....	31
	Monitorización de descargas radiactivas en las prácticas (5.5 a 5.63) .....	32
	Monitorización en situaciones de exposición de emergencia (5.64 a 5.117) .....	50

Monitorización en situaciones de exposición crónica (prolongada) (5.118 a 5.132) . . . . .	63
Programas de monitorización de apoyo (5.133 a 5.138) . . . . .	67
6.    CONDICIONES TÉCNICAS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE MONITORIZACIÓN. . . . .	69
Estrategia de muestreo (6.1 a 6.22) . . . . .	69
Estrategia de medición (6.23 a 6.29) . . . . .	77
Incertidumbres en los datos de monitorización (6.30 a 6.35) . . . . .	80
7.    CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE DOSIS . . . . .	81
Conceptos generales (7.1 a 7.6) . . . . .	81
Evaluación de dosis causadas por descargas normales (7.7 a 7.16) . . . . .	83
Evaluación de dosis en emergencias (7.17 a 7.27). . . . .	86
Evaluación de dosis en situaciones de exposición crónica (prolongada) (7.28 a 7.46) . . . . .	89
Incertidumbres en las evaluaciones de dosis (7.47 a 7.55) . . . . .	93
8.    INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN. . . . .	96
Consideraciones generales (8.1 a 8.12) . . . . .	96
Cumplimiento de los niveles de referencia y de los criterios relativos a la exposición de la población en las prácticas (8.13 a 8.26) . . . . .	99
Evaluación de las medidas protectoras en situaciones de exposición de emergencia (8.27 a 8.45) . . . . .	103
Evaluación de medidas reparadoras en situaciones de exposición crónica (prolongada) (8.46 a 8.54) . . . . .	108
9.    GARANTÍA DE CALIDAD . . . . .	110
Garantía de calidad de la monitorización (9.1 a 9.5) . . . . .	110
Garantía de calidad de la evaluación de dosis (9.6 a 9.7) . . . . .	112

10. REGISTRO DE LOS RESULTADOS.....	112
Registro de los datos de la monitorización (10.1 a 10.11) .....	112
Conservación de los registros (10.12) .....	114
11. ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN (11.1 a 11.4) .....	115
REFERENCIAS .....	117
GLOSARIO.....	121
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN.....	127
ÓRGANOS ASESORES PARA LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD .....	129



# 1. INTRODUCCIÓN

## ANTECEDENTES

1.1. La emisión controlada de radionucleidos en la atmósfera y el medio acuático es una práctica legítima de gestión de los desechos en la industria nuclear y sus instalaciones conexas [1]. Normalmente, las descargas controladas de materiales gaseosos y particulados que contienen radionucleidos se efectúan a través de chimeneas, si bien en las instalaciones pequeñas pueden realizarse a través de conductos o campanas de ventilación, por ejemplo. La emisión controlada de líquidos suele efectuarse por tuberías que descargan en ríos o lagos o bien en el mar, pero en el caso de los establecimientos pequeños se realizan a través de los sistemas de alcantarillado normales. Un elemento importante y fundamental del control de las descargas es la monitorización regular – tanto en la fuente de la descarga como en el medio receptor – para garantizar la protección de la población y del medio ambiente.

1.2. La emisión no controlada de radionucleidos en la atmósfera y en los medios acuático y terrestre puede producirse como resultado de accidentes nucleares o radiológicos. La monitorización de la emisión accidental en su fuente, y en particular la monitorización directa de la contaminación ambiental con radionucleidos, es necesaria tanto para la evaluación y aplicación de medidas de protección de la población y de contramedidas a más largo plazo como para la protección radiológica ocupacional en las emergencias. En estos casos puede justificarse la monitorización individual. En zonas históricamente contaminadas con radionucleidos de período largo la función de la monitorización es fundamental tanto para proteger a la población como para llevar a cabo actividades de restauración.

1.3. En 1995 el OIEA incluyó en su Colección de Nociones fundamentales de seguridad una publicación titulada “Principios para la gestión de desechos radiactivos” [1]. En esa publicación se establecen principios, conceptos y objetivos relacionados con las medidas de protección de la salud humana y del medio ambiente, ya que una gestión inadecuada de los desechos radiactivos puede tener efectos perjudiciales en ambas esferas tanto a corto como a largo plazo.

1.4. En 1996 el OIEA publicó, conjuntamente con otras cinco organizaciones internacionales patrocinadoras<sup>1</sup>, las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (denominadas en adelante ‘Normas básicas de seguridad’ (NBS)) [2]. En las NBS se establecen los requisitos relativos a la protección contra los riesgos relacionados con la exposición a la radiación ionizante y, en particular, los que se refieren a la monitorización radiológica en el contexto del control de las descargas a fin de verificar el cumplimiento de los límites autorizados de las descargas y estimar la exposición de los grupos críticos. En las NBS también se establecen los requisitos relativos a la monitorización y evaluación radiológicas en condiciones de exposición de emergencia; una publicación de la Colección de Requisitos de Seguridad [3] se centra en el análisis de esos requisitos.

1.5. Los requisitos de seguridad relativos a la gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, incluida la descarga de radionucleidos, se establecen en otra norma de seguridad [4]. La publicación de Requisitos de seguridad titulada “Disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie” [5] se centra en la monitorización radiológica destinada a demostrar el cumplimiento de las normas de seguridad.

1.6. La presente guía de seguridad se basa en los requisitos pertinentes establecidos en las referencias [2 a 5]. También se tienen en cuenta las orientaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica en materia de monitorización radiológica [6]. Esta guía complementa la guía de seguridad sobre Control reglamentario de las descargas radiactivas en el medio ambiente [7], centrada en las consideraciones y los procedimientos relacionados con la concesión de autorizaciones para la descarga de materiales radiactivos. La presente guía de seguridad sustituye a dos guías de seguridad publicadas anteriormente<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Las otras cinco organizaciones patrocinadoras fueron la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE), la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

<sup>2</sup> ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Objectives and Design of Environmental Monitoring Programmes for Radioactive Contaminants, Colección Seguridad N° 41, OIEA, Viena (1975); Monitoring of Airborne and Liquid Radioactive Releases from Nuclear Facilities to the Environment, Colección Seguridad N° 46, OIEA, Viena (1978).

## OBJETIVO

1.7. Esta guía de seguridad tiene por objeto proporcionar orientación internacional, en consonancia con los principios actuales en materia de protección radiológica y teniendo en cuenta la experiencia acumulada desde que se publicaron las orientaciones anteriores (véase la nota de pie de página N° 2), sobre la estrategia de monitorización relacionada con: a) el control de las descargas de radionucleidos en el marco de las prácticas, y b) las situaciones que requieren intervención, como una emergencia nuclear o radiológica o la contaminación de zonas con radionucleidos de período largo<sup>3</sup> en el pasado. Se analizan tres clases de monitorización: las que se aplican, respectivamente, a la fuente de la descarga (denominada en adelante ‘monitorización de fuentes’), al medio ambiente (‘monitorización del medio ambiente’) y a la exposición individual (‘monitorización individual’).

1.8. Esta guía de seguridad también contiene orientación general sobre la evaluación de las dosis a los grupos críticos de la población debidas a la presencia de materiales radiactivos o a campos de radiación en el medio ambiente, que pueden ser resultado tanto de la explotación normal de instalaciones nucleares o conexas (prácticas) o como de emergencias nucleares o radiológicas o bien de la contaminación de zonas con radioinucleidos de período largo en el pasado (intervenciones). La evaluación de las dosis se basa en los resultados de las distintas clases de monitorización, o bien en una combinación de esos resultados.

1.9. La presente guía de seguridad está destinada fundamentalmente a los órganos nacionales encargados de reglamentar tanto la introducción y ejecución de toda práctica relacionada con fuentes de radiación como los procedimientos de monitorización radiológica pertinentes. También será de utilidad para otras entidades que intervengan en los sistemas nacionales de monitorización radiológica, así como para los explotadores de establecimientos nucleares y otras instalaciones de tratamiento y monitorización de radionucleidos naturales o artificiales.

---

<sup>3</sup> En esta guía de seguridad, donde se aborda la protección radiológica de la población contra las exposiciones tanto presentes como futuras, por ‘radionucleidos de período largo’ se entienden aquellos cuyo período de semidesintegración es de 30 o más años (p. ej., <sup>137</sup>Cs), a diferencia de la terminología corriente en seguridad de los desechos, donde esa expresión se suele aplicar a los radionucleidos con períodos de semidesintegración de 1.000 o más años.

## ÁMBITO DE APLICACIÓN

1.10. Esta guía de seguridad se centra principalmente en la monitorización de fuentes y la monitorización del medio ambiente relacionadas con descargas procedentes de prácticas autorizadas (registradas o con licencia) en condiciones de explotación normales o durante la clausura de instalaciones. Abarca prácticas como la explotación de centrales nucleares y reactores de investigación, plantas de reprocesamiento y de producción de combustible nuclear, instalaciones de extracción y tratamiento de uranio y de torio, instalaciones de disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie e instalaciones de otro tipo donde se utilicen radionucleidos naturales o artificiales (para aplicaciones médicas o radiofarmacéuticas, para investigación o enseñanza, o con otros fines).

1.11. Se proporciona orientación sobre planificación de la monitorización durante la colocación de los desechos en instalaciones de disposición final en la superficie (emplazamientos de extracción y elaboración de mineral de uranio y de torio) o cerca de la superficie (desechos de niveles bajo e intermedio) y sobre instalaciones de disposición final de desechos en pozos barrenados y a gran profundidad (disposición final geológica), y en particular sobre la monitorización posterior al cierre – si bien se trata de instalaciones donde en circunstancias normales no deberían registrarse emisiones de radionucleidos.

1.12. En la presente publicación también se abordan cuestiones generales relacionadas con la monitorización de emergencia después de un accidente radiológico. Las referencias [8 a 12]<sup>4</sup> contienen información más detallada acerca de la monitorización en situaciones de emergencia.

1.13. Se consideran asimismo aspectos generales de la monitorización de radionucleidos de período largo con gran dispersión en el medio ambiente como resultado de un accidente radiológico, o de desechos residuales de prácticas pasadas. Esto abarca la monitorización de la presencia de radionucleidos naturales y artificiales en distintos productos, sobre todo alimentos, y en el agua potable.

---

<sup>4</sup> Las referencias indicadas sustituyen a las siguientes normas de seguridad del OIEA: Techniques and Decision Making in the Assessment of Off-site Consequences of an Accident in a Nuclear Facility, Colección Seguridad N° 86, OIEA, Viena (1987); Response to a Radioactive Materials Release Having a Transboundary Impact, Colección Seguridad N° 94, OIEA, Viena (1989); Emergency Planning and Preparedness for Accidents Involving Radioactive Materials Used in Medicine, Industry, Research and Teaching, Colección Seguridad N° 91, OIEA, Viena (1989).

1.14. Esta guía de seguridad no abarca la monitorización de los trabajadores ni de los lugares de trabajo, si bien contiene recomendaciones y orientaciones que pueden ser útiles para la protección ocupacional de los trabajadores de emergencias en caso de accidente nuclear con emisión de radionucleidos en el medio ambiente. En las referencias [13 a 16] se proporciona orientación detallada sobre la monitorización ocupacional de los trabajadores y los lugares de trabajo. En la presente guía de seguridad tampoco se aborda la monitorización con fines de investigación, que no tiene por objeto la protección radiológica, ni la monitorización de la precipitación global de radionucleidos emitidos durante ensayos de armas nucleares en el pasado, cuyo control es inviable.

1.15. En esta guía de seguridad, centrada únicamente en la monitorización de los radionucleidos, no se aborda un programa general de vigilancia y monitorización de las emisiones o la presencia de sustancias químicas tóxicas en el medio ambiente. Sin embargo, es posible que las entidades explotadoras y otras organizaciones competentes consideren oportuno combinar los programas de vigilancia de las sustancias químicas con los de monitorización radiológica.

## ESTRUCTURA

1.16. En la sección 2 se indican algunas orientaciones generales internacionales relativas a la monitorización de radionucleidos en el medio ambiente. En la sección 3 se describen las responsabilidades de los titulares registrados, los titulares licenciados y los órganos reguladores en materia de monitorización. Los aspectos más generales de los programas de monitorización se analizan en la sección 4, mientras que en la sección 5 se presentan los objetivos detallados y los diferentes tipos de diseño de programas de monitorización para las prácticas e intervenciones. En la sección 6 se indican algunas características técnicas concretas de los procedimientos de monitorización. La sección 7 se centra en la relación entre los métodos de evaluación y los diferentes tipos de programas de monitorización. La sección 8 contiene orientaciones sobre la interpretación de los resultados de la monitorización. En la sección 9 se describe el programa de garantía de calidad apropiado. La sección 10 se centra en el registro de los resultados de la monitorización y en la sección 11 se indican los requisitos en materia de enseñanza y capacitación.

## **2. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS REGLAMENTARIOS RELATIVOS A LA MONITORIZACIÓN EN LAS PRÁCTICAS E INTERVENCIONES**

### CONTEXTO JURÍDICO

2.1. Las exposiciones de miembros de la población como resultado de una descarga controlada en una práctica, de una emisión no controlada o de la contaminación de una zona en el pasado pueden deberse a la emisión directa de radiación en la fuente de la descarga o a la dispersión de radionucleidos en el medio ambiente. En este último caso, las vías más probables son la exposición externa a radionucleidos en un penacho y sobre el suelo, y la ingestión de alimentos contaminados. La inhalación de radionucleidos suspendidos en un penacho o por resuspensión de depósitos sobre el suelo también puede revestir cierta importancia. En el caso de las prácticas, la monitorización de las tasas de dosis alrededor de la fuente, de los niveles de descarga y de los niveles de radionucleidos en el medio ambiente es necesaria a fin de determinar si se respetan los límites autorizados para las descargas y facilitar la evaluación de la dosis de radiación a miembros de la población. En el caso de las intervenciones, la monitorización de una fuente de emisiones y de la contaminación del medio ambiente es necesaria para adoptar decisiones sobre medidas protectoras y contramedidas a más largo plazo en una emergencia, o bien medidas reparadoras en zonas contaminadas con radionucleidos de período largo.

2.2. En las referencias [2, 3, 5, 7 y 17] se indican los conceptos en que se basan los requisitos relativos a la monitorización.

2.3. Con respecto a la monitorización de las descargas controladas en las prácticas, en las NBS se establece que “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán [...] asumir la responsabilidad de establecer, aplicar y mantener [...] equipos de vigilancia radiológica y programas de vigilancia apropiados para evaluar la exposición del público de manera satisfactoria para la autoridad reguladora” (referencia [2], párr. III.2f)). En particular, con arreglo a las Normas básicas de seguridad (referencia [2], párr. III.13), “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán, cuando proceda:

“a) establecer y ejecutar un programa de vigilancia radiológica suficiente para proporcionar la certidumbre de que se satisfacen los requisitos prescritos

por las Normas acerca de la exposición del público a las fuentes de radiación externa, y para evaluar dicha exposición;

- b) establecer y ejecutar un programa de vigilancia radiológica suficiente para proporcionar la certidumbre de que se satisfacen los requisitos prescritos por las Normas para los vertidos de sustancias radiactivas al medio ambiente y los requisitos fijados por la autoridad reguladora al conceder la autorización de vertido, y de que las condiciones supuestas para la derivación de los límites de vertido autorizados siguen siendo válidas y suficientes para permitir la estimación de las exposiciones causadas a los grupos críticos;
- c) mantener registros apropiados de los resultados de los programas de vigilancia radiológica;
- d) presentar a la autoridad reguladora, a intervalos aprobados, un resumen de los resultados de la vigilancia radiológica;
- e) informar rápidamente a la autoridad reguladora de todo aumento significativo de los campos de radiación o de la contaminación ambientales que pudiera atribuirse a la radiación o a los vertidos provenientes de las fuentes sometidas a su responsabilidad;
- f) adquirir y mantener capacidad para llevar a cabo actividades de vigilancia radiológica de emergencia, en caso de incrementos imprevistos de los campos de radiación o de la contaminación radiactiva como consecuencia de accidentes u otros sucesos insólitos que afecten a las fuentes sometidas a su responsabilidad;
- g) verificar la validez de las hipótesis admitidas para la evaluación previa de las consecuencias radiológicas de los vertidos.”

2.4. Con respecto a la evaluación y monitorización en situaciones de exposición de emergencia, en las NBS (referencia [2], párrs. V.23 a V.25) se establece lo siguiente:

“V.23. Deberán tomarse todas las medidas razonables para evaluar la exposición recibida por los miembros de la población a consecuencia de un accidente, y los resultados de las evaluaciones deberán estar accesibles al público.

V.24. Las evaluaciones se deberán basar en la información más correcta disponible, y deberán actualizarse rápidamente a la luz de toda información que suponga resultados considerablemente más exactos.

V.25. Deberán mantenerse registros detallados de las evaluaciones y sus actualizaciones, así como de los resultados de la vigilancia radiológica de los trabajadores, el público y el medio ambiente.”

2.5. A los efectos de la evaluación y monitorización en situaciones de exposición de emergencia, en la publicación de Requisitos de Seguridad titulada “Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica” [3] se establece, además, lo siguiente:

- a) En respuesta a la fase inicial de la emergencia “Se deberán realizar actividades de vigilancia radiológica y de recolección y evaluación de muestras ambientales a fin de determinar prontamente nuevos peligros y refinar la estrategia de respuesta.” (Referencia [3], párr. 4.67.)
- b) A fin de asegurar la preparación para responder a la fase inicial de la emergencia “se deberán adoptar disposiciones para la pronta evaluación de toda contaminación radiactiva, emisión de materiales radiactivos y dosis a los efectos de decidir o adoptar las medidas protectoras urgentes que deben tomarse tras una emisión de materiales radiactivos.” (Referencia [3], párr. 4.71.)
- c) A fin de asegurar la preparación para adoptar contramedidas en la agricultura y medidas protectoras a más largo plazo, se han de adoptar disposiciones entre las que “deberán figurar [...] la vigilancia oportuna para detectar la contaminación sobre el terreno; [el] muestreo y [el] análisis de alimentos y recursos hídricos [...]” (Referencia [3], párr. 4.89.)

2.6. Para garantizar la monitorización y evaluación apropiadas durante la explotación de las instalaciones de disposición final cerca de la superficie y después del cierre de las mismas, en la publicación de Requisitos de seguridad titulada “Disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie” [5] se establece lo siguiente:

- “a) El diseño de un repositorio cerca de la superficie deberá permitir la realización de un programa de vigilancia para comprobar la capacidad de contención del sistema de disposición final durante la explotación y, en caso necesario, después del cierre del repositorio. Las medidas de vigilancia no comprometerán el funcionamiento a largo plazo del sistema de disposición final.” (Referencia [5], párr. 7.5.)
- “b) El órgano regulador facilitará la orientación necesaria para establecer un programa de vigilancia ambiental que incluya la vigilancia de emisiones y de la exposición externa, y que evalúe las repercusiones ambientales de las operaciones.” (Referencia [5], párr. 9.3.)
- “c) El explotador será responsable de aplicar y mantener la debida vigilancia para medir las emisiones radiactivas durante la explotación del repositorio, y adoptará las medidas que sean necesarias para lograr que se cumplan los

requisitos fijados por las autoridades nacionales.” (Referencia [5], párr. 9.12.)

- “d) La organización responsable desarrollará un programa apropiado de vigilancia posterior al cierre, que requerirá la aprobación del órgano regulador. Ese programa se ocupará de [...] la vigilancia radiológica y de otro tipo del repositorio y de su zona circundante a fin de comprobar que no hay repercusiones radiológicas inaceptables (por ejemplo, respecto de los límites fijados en el caso de los productos de lixiviación, si procede), y para confirmar en lo posible los supuestos formulados en la evaluación de la seguridad.” (Referencias [5], párr. 11.8.)

2.7. En la publicación de Requisitos de seguridad titulada “Seguridad de las centrales nucleares: Diseño” [18] se establece específicamente que en la etapa de diseño de una central nuclear “se deberán tomar también medidas para determinar las repercusiones radiológicas, si las hubiera, en las cercanías de la central, prestando especial atención a:

- 1) las vías de acceso de las sustancias radiactivas a la población humana, incluida la cadena alimentaria;
- 2) la repercusión radiológica, si la hubiera, en los ecosistemas locales;
- 3) la posible acumulación de materiales radiactivos en el medio ambiente; y
- 4) la posibilidad de que haya vías de descarga no autorizadas.” (Referencia [18], párr. 6.106.)

2.8. En relación con la etapa de explotación de una central nuclear, en la publicación de Requisitos de Seguridad titulada “Seguridad de las centrales nucleares: Explotación” [19] se establece específicamente que:

- “a) La entidad explotadora establecerá y aplicará procedimientos para la vigilancia y control de las descargas de efluentes radiactivos. Se pondrá una copia de estos procedimientos a disposición del órgano regulador.
- b) Si así lo exige el órgano regulador, la entidad explotadora establecerá y aplicará un programa de vigilancia del medio ambiente en las inmediaciones de la central a fin de evaluar el impacto radiactivo de las emisiones radiactivas en el medio ambiente.” (Referencia [19], párrs. 8.11 y 8.12.)

## CONDICIONES GENERALES PARA LA MONITORIZACIÓN

2.9. Tanto el tipo como la escala y el alcance de la monitorización deberían corresponder a las características de la fuente - con las tasas de descarga previstas o actuales - , a la importancia comparativa de las diferentes vías de exposición y a las magnitudes de las dosis previstas y potenciales a las personas. Es posible que en el caso de algunas prácticas y fuentes (por ejemplo, hospitales o institutos de investigación que utilizan radionucleidos de período corto) no se necesite un programa de monitorización del medio ambiente; otras (por ejemplo, pequeñas instalaciones nucleares o departamentos de medicina nuclear que utilizan radionucleidos con fines de diagnóstico) pueden requerir una monitorización rutinaria en la fuente pero sólo controles ocasionales de los niveles de radiactividad en el medio ambiente; mientras que en otras (por ejemplo, la mayoría de las instalaciones nucleares, los grandes departamentos de medicina nuclear) se necesita una monitorización continua e integral tanto de la fuente como del medio ambiente. Todas las instalaciones deberían estar preparadas para realizar una monitorización de emergencia en un nivel apropiado.

### **Condiciones para la monitorización en las prácticas**

2.10. Los requisitos relativos a la monitorización de las descargas en una práctica deberían estar directamente relacionados con la situación reglamentaria de las fuentes de que se trate. En los párrafos siguientes se describen los requisitos internacionales relativos a las medidas de monitorización.

2.11. No es necesaria la monitorización de la fuente ni del medio ambiente cuando se trata de fuentes 'excluidas' del control en razón de su magnitud o por la probabilidad de que resulte inviable someterlas a control con arreglo a los requisitos de las NBS [2]. Un ejemplo pertinente en el contexto de la presente publicación es la descarga de gas radón por el sistema de ventilación de un edificio, y sus productos de desintegración generados en el subsuelo.

2.12. Hay prácticas y fuentes que pueden estar exentas, o materiales a los que se puede dispensar del control reglamentario, si los riesgos conexos de radiación a los individuos y a la población son demasiado bajos para plantear problemas reglamentarios y se trata de prácticas o fuentes exentas que son inherentemente seguras [2]. Las prácticas y fuentes exentas o las descargas de materiales dispensados no están sujetas a requisitos de monitorización. Un ejemplo de práctica exenta es un pequeño laboratorio donde se utilicen cantidades de radionucleidos tales que la actividad total de un radionucleido o la concentración de actividad sean inferiores al nivel de exención [2].

2.13. Las fuentes o prácticas sin posibilidad de exclusión o de exención deben ser autorizadas por el órgano regulador [2 y 7]. La autorización puede consistir en un registro o en una licencia. Ejemplos de prácticas registradas son los pequeños institutos de investigación y los pequeños hospitales, donde los niveles de utilización de radionucleidos de período corto y de las correspondientes descargas al medio ambiente son bajos. Por lo general, en estos tipos de prácticas registradas el órgano regulador no exige la monitorización del medio ambiente, pero sí cierto grado de monitorización en la fuente.

2.14. Por último, hay varios tipos de fuentes que deben someterse a programas de monitorización rutinaria. Esta categoría abarca la mayor parte de los establecimientos del ciclo del combustible nuclear, algunos de los grandes institutos de investigación y las instalaciones de producción de radioisótopos. Este tipo de establecimientos, que operan con licencias del órgano regulador y cuyos titulares licenciados deben cumplir determinados requisitos y condiciones en materia de seguridad, están sujetos a monitorización permanente tanto en la fuente como en el medio ambiente, junto con la evaluación de las dosis a la población. El programa de monitorización rutinaria también puede servir de base para el programa de monitorización de emergencia en estos tipos de instalaciones, si bien no todas deben contar con capacidad de monitorización de emergencia. En el cuadro 1 se indica sintéticamente la relación entre los tipos de fuentes y los tipos de monitorización que requieren.

### **Condiciones para la monitorización en situaciones de intervención**

2.15. Hay dos tipos de situaciones de intervención a las que es preciso responder para reducir o evitar las exposiciones: las situaciones de exposición de emergencia o las situaciones de exposición crónica (prolongada). Por lo general, es improbable que deban adoptarse medidas protectoras o reparadoras mientras no se sobrepasen o puedan sobrepasarse los niveles de intervención o de actuación. La adopción de esas medidas suele basarse ante todo en los resultados de la monitorización. Por consiguiente, se debería establecer una estrategia de monitorización para emergencias y para la adopción de medidas reparadoras; esa estrategia tendría que ser específica para el emplazamiento y estar basada en un estudio detallado de las fuentes y de las posibles vías de exposición humana.

CUADRO 1. TIPOS DE MONITORIZACIÓN Y DE EVALUACIÓN DE DOSIS PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE FUENTES

Categoría de exposición	Tipo de fuente	Tipo de monitorización			Evaluación de dosis
		Monitorización de fuentes	Monitorización del medio ambiente	Monitorización individual	
Práctica	Excluida, exenta o dispensada	No se requiere monitorización			
	Fuente registrada	Se requiere	No se requiere		
	Fuente licenciada	Se requiere	No se requiere		Se requiere
Intervención	Fuentes múltiples	Se requiere	No se requiere		Si procede
	Situación de emergencia	Se requiere	Si procede		
	Situación de exposición crónica (prolongada)	Si procede	Se requiere	No se requiere	Si procede

### *Situaciones de exposición de emergencia*

2.16. En caso de emergencia nuclear o radiológica siempre se debería llevar a cabo una monitorización de la radiación. La estrategia para la monitorización de emergencia tendría que determinarse en función de las posibles consecuencias radiológicas del accidente. Tanto la selección de las prioridades de la monitorización como los detalles técnicos del tipo de monitorización que haya de realizarse se deberían determinar teniendo en cuenta la utilización prevista de los resultados de la monitorización.

2.17. Las situaciones de exposición de emergencia varían entre el derrame de pequeñas cantidades de materiales radiactivos en un laboratorio y un accidente importante en un reactor con pérdida de confinamiento. Los métodos y el alcance de la monitorización de emergencia, incluidas tanto la monitorización de las fuentes y del medio ambiente como la monitorización individual y la evaluación de dosis apropiada (véase el cuadro 1), deberían determinarse en función de la gravedad de la emergencia y de sus consecuencias reales o posibles.

2.18. Con respecto al calendario, la cantidad y los métodos de las mediciones de la radiación y las tomas de muestras ambientales, a fin de garantizar la ejecución oportuna de medidas protectoras y reparadoras debería seleccionarse una estrategia de monitorización capaz de detectar tempranamente cualquier exposición de la población en general o de los trabajadores de emergencias que se aproxime a los niveles de intervención o de actuación.

2.19. En la formulación de una estrategia nacional de monitorización de emergencia sería preciso tener en cuenta tanto los aspectos nacionales como los internacionales. La monitorización de emergencia debería aportar datos pertinentes acerca de la posible introducción de materiales radiactivos emitidos accidentalmente en otros Estados y en aguas internacionales. El sistema nacional de monitorización tendría que abarcar también la vigilancia de la contaminación radiactiva del medio ambiente provocada por emisiones accidentales en otros Estados.

2.20. Se puede poner fin a la monitorización de emergencia cuando se ha reestablecido el control de la fuente implicada en el accidente o cuando no se observa un empeoramiento de las condiciones radiológicas y los niveles de exposición humana y contaminación ambiental son considerablemente inferiores a sus correspondientes niveles genéricos de intervención y de actuación [2] o a los niveles nacionales apropiados.

### *Situaciones de exposición crónica (prolongada)*

2.21. Las situaciones de exposición crónica (prolongada) abarcan la exposición a residuos radiactivos provenientes de sucesos pasados, como la contaminación radiactiva causada por accidentes radiológicos (situaciones de exposición posteriores a emergencias), así como de prácticas realizadas en el pasado y del uso de fuentes no sometidas al sistema de control reglamentario (emplazamientos contraminados con radionucleidos naturales de período largo).

2.22. No existe una norma universal de protección radiológica que se aplique en todos los Estados para la intervención en situaciones de exposición radiológica crónica (prolongada) de la población. Las autoridades nacionales determinan los niveles de intervención o de actuación apropiados en función de las circunstancias y basándose por lo general en las dosis existentes o evitadas, las tasas de dosis en el aire y las concentraciones de radionucleidos. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) considera improbable que se justifique una intervención mientras la dosis efectiva anual procedente de todas las fuentes de radiación ambientales no llegue a los 10 mSv [20].

2.23. La monitorización de la contaminación ambiental con radionucleidos de período largo se justificaría en general si la dosis anual causada por esta fuente representase una fracción sustancial (una décima parte o más, es decir, 1 mSv o más) del nivel genérico indicado en el párrafo 2.22 o de los niveles nacionales de intervención o de actuación apropiados.

2.24. La monitorización de la contaminación de los alimentos con radionucleidos de período largo destinada a fundamentar la adopción de medidas protectoras se justificaría en general si los niveles de radionucleidos en los alimentos representaran una fracción sustancial de los niveles de actuación genéricos fijados para los alimentos [2] o de los niveles nacionales de intervención o de actuación pertinentes.

### **3. RESPONSABILIDADES RELATIVAS A LA MONITORIZACIÓN**

#### RESPONSABILIDADES DEL EXPLOTADOR

3.1. En relación con el control de las prácticas de descarga los explotadores deberían tener las siguientes responsabilidades generales:

- a) Prevenir cualquier riesgo inaceptable de irradiación o contaminación de la población resultante de una práctica de descarga;
- b) Cumplir los requisitos reglamentarios aplicables;
- c) Notificar al órgano regulador cualquier cambio en la práctica de descarga.

3.2. Con respecto a las responsabilidades específicas en materia de monitorización, los explotadores deberían:

- a) Realizar todas las investigaciones preoperacionales necesarias (incluida, si procede, la monitorización preoperacional);
- b) Proporcionar medios y ejecutar programas adecuados de monitorización de las fuentes y del medio ambiente durante y después de la etapa operacional, que permitan detectar con prontitud emisiones imprevistas y aporten datos para demostrar que las dosis a la población son inferiores a los criterios de dosis establecidos por el órgano regulador;
- c) Notificar al órgano regulador cualquier cambio significativo en las emisiones o cualquier incremento en los campos de radiación o contaminación del medio ambiente que puedan atribuirse a emisiones causadas por fuentes que se encuentren bajo su responsabilidad.

3.3. Sobre la base de lo anterior, las responsabilidades de los explotadores en materia de monitorización deberían definirse de la siguiente manera<sup>5</sup>:

- a) La monitorización de fuentes relacionadas con una práctica o fuente específica en el contexto de una práctica que se encuentre bajo la responsabilidad de un explotador (registrado o licenciado) debería estar a su cargo en todas las fases del programa, incluida la monitorización en las

---

<sup>5</sup> En algunos Estados la responsabilidad de la monitorización del medio ambiente recae principalmente en el órgano regulador o en otros órganos gubernamentales, en consonancia general con la orientación del OIEA [21].

etapas operacional y postoperacional y en casos de emergencia. El explotador debería tener la responsabilidad de establecer, utilizar y mantener el equipo y los programas apropiados para la monitorización de las descargas.

- b) La monitorización del medio ambiente relativa a determinada práctica o fuente en el contexto de una práctica sólo es necesaria en el caso de prácticas y fuentes importantes para las que se requieren licencias. Los titulares licenciados deberían ser en general responsables de esa monitorización del medio ambiente en todas sus fases (preoperacional, operacional y postoperacional). Los titulares licenciados también deberían establecer y aplicar una capacidad adecuada para la monitorización del medio ambiente en situaciones de emergencia.
- c) Los titulares licenciados deberían verificar periódicamente los supuestos utilizados en la evaluación previa del impacto radiológico de las descargas.

## RESPONSABILIDADES DEL ÓRGANO REGULADOR

3.4. En relación con el control de las prácticas de descarga el órgano regulador tiene las siguientes responsabilidades generales:

- a) Velar, estableciendo y aplicando la reglamentación apropiada, por la protección de la población y del medio ambiente;
- b) Velar por que el explotador cumpla la reglamentación apropiada y los requisitos reglamentarios, incluida la obligación de realizar todas las actividades de monitorización de las fuentes y del medio ambiente que sean necesarias;
- c) Dar seguridades de que los juicios relativos a la seguridad de la población se basan en informaciones válidas y métodos fiables.

3.5. Con respecto a las responsabilidades específicas en materia de monitorización, el órgano regulador debería:

- a) Establecer y revisar periódicamente los requisitos técnicos para las disposiciones en materia de monitorización, incluidas las relativas a la monitorización de emergencia y la garantía de calidad;
- b) Verificar los datos de monitorización facilitados por los explotadores;
- c) Aportar pruebas satisfactorias para la población de que las fuentes de exposición autorizadas están debidamente monitorizadas y controladas.

3.6. Sobre la base de lo anterior, las responsabilidades del órgano regulador en materia de monitorización deberían definirse de la siguiente manera:

- a) Si bien la responsabilidad de la monitorización de las fuentes y del medio ambiente recae por lo general en los titulares licenciados, en algunos casos (como las prácticas o fuentes importantes) el órgano regulador puede ejecutar un programa limitado de confirmación de las mediciones ambientales para verificar la calidad de los resultados proporcionados por esos titulares y confirmar que las dosis a los miembros de la población siguen siendo inferiores a las restricciones establecidas en la licencia [21].
- b) Cuando sea posible que varias fuentes afecten a las mismas zonas y a los mismos grupos de población sería preciso ejecutar un programa de monitorización del medio ambiente a fin de evaluar el impacto radiológico acumulativo de esas fuentes. Como los titulares registrados o licenciados pueden tropezar con dificultades para realizar esa monitorización, ya que es improbable que dispongan de información sobre la composición de radionucleidos de los materiales descargados por otros explotadores, el órgano regulador puede asumir la organización o realización de dicha monitorización.
- c) Si existe la posibilidad de que se produzca un accidente en gran escala, el órgano regulador debe velar por que se establezcan, y sometan a ensayos periódicos, disposiciones en materia de preparación para casos de emergencia. Esto debería abarcar una capacidad de monitorización rápida y en gran escala en condiciones de emergencia, de cuya realización podría encargarse una entidad debidamente capacitada designada a tal efecto o bien el propio órgano regulador. Es posible que deban realizarse actividades de monitorización del medio ambiente y de monitorización individual.

3.7. En casos poco frecuentes, cuando la dosis anual evaluada al miembro medio del grupo crítico, atribuible a todas las prácticas pertinentes y estimada sobre la base de la monitorización del medio ambiente, se aproxima al límite de dosis, el titular registrado o licenciado debería realizar una nueva evaluación de las dosis al grupo crítico para su ulterior validación por el órgano regulador. En el cuadro 2 se indican las principales esferas de responsabilidad de los titulares registrados, los titulares licenciados y el órgano regulador con respecto a los diferentes tipos de monitorización.

## CUADRO 2. RESPONSABILIDADES EN MATERIA DE MONITORIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LAS FUENTES

Categoría de exposición	Entidad responsable		Órgano regulador o entidad designada
	Tipo de fuente	Titular registrado	
Práctica	Excluida, exenta o dispensada	No se requiere monitorización	
	Fuentes registradas	Monitorización de las fuentes	<i>No se aplica</i>
	Fuentes licenciadas	<i>No se aplica</i>	Monitorización de las fuentes y del medio ambiente; evaluación de dosis
	Fuentes múltiples	Monitorización de las fuentes	Monitorización de las fuentes y del medio ambiente local
	Situaciones de emergencia	Monitorización de las fuentes	Monitorización de las fuentes, monitorización de campo próximo del medio ambiente y monitorización individual de los trabajadores
Intervención	Situaciones de exposición crónica (prolongada)	<i>No se aplica</i>	Monitorización de las fuentes y del medio ambiente local
			Mediciones de control y revisión/verificación de las evaluaciones de dosis, si procede
			Monitorización del medio ambiente y evaluación de dosis
			Monitorización en gran escala y de campo próximo del medio ambiente; monitorización individual de la población, si procede
			Monitorización en gran escala y de campo próximo del medio ambiente; evaluación de dosis, si procede

## RESPONSABILIDADES DE OTRAS ENTIDADES

3.8. El gobierno o el órgano regulador pueden delegar en otras entidades determinadas responsabilidades en material de monitorización del medio ambiente. El gobierno puede controlar el ejercicio de las responsabilidades delegadas ya sea directamente o por conducto del órgano regulador. Las funciones delegadas pueden abarcar:

- a) El examen, el ensayo y la calibración del equipo;
- b) El examen del programa de garantía de calidad;
- c) El diseño y la ejecución regular de programas de confirmación de mediciones del medio ambiente o de mediciones de emisiones para verificar la calidad de los resultados proporcionados por el titular licenciado;
- d) La evaluación de las dosis a miembros de la población para verificar si siguen siendo inferiores a los límites establecidos en las licencias;
- e) La ejecución del programa de monitorización del medio ambiente para evaluar el impacto radiológico acumulativo de fuentes múltiples que afectan a las mismas zonas y a los mismos grupos de población;
- f) La respuesta de emergencia.

3.9. También pueden delegarse responsabilidades en otras esferas relacionadas con la monitorización, por ejemplo:

- a) La recopilación y el mantenimiento de datos proporcionados por los explotadores y por organismos gubernamentales e internacionales;
- b) La monitorización del medio ambiente a nivel nacional;
- c) El establecimiento de normas.

3.10. Al tomar una decisión relativa a la delegación a otras entidades o empresas de determinadas responsabilidades en materia de monitorización, el órgano regulador debería cerciorarse de que esas entidades dispongan de las técnicas analíticas, el equipo y el personal cualificado necesarios, así como de un sistema de garantía de calidad.

3.11. Como principio general, el órgano regulador y cualquier otra entidad en la que éste delegue determinadas responsabilidades deberían preservar su independencia de cualquier departamento gubernamental y de cualquier entidad encargada de promover y desarrollar las prácticas objeto de reglamentación, así como de cualquier titular registrado, titular licenciado, diseñador o constructor de instalaciones de radiación utilizadas en las prácticas objeto de reglamentación.

## NOTIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN

3.12. Con arreglo a las NBS, “Los titulares registrados y los titulares licenciados deberán, cuando proceda:

- “d) presentar a la [autoridad reguladora], a intervalos aprobados, un resumen de los resultados de la vigilancia radiológica;
- e) informar rápidamente a la [autoridad reguladora] de todo aumento significativo de los campos de radiación o de la contaminación ambientales que pudiera atribuirse a la radiación o a los vertidos provenientes de las fuentes sometidas a su responsabilidad” (referencia [2], párr. III.13).

3.13. Además, los titulares registrados y los titulares licenciados deberían informar rápidamente de cualquier descarga que sobrepase los límites autorizados con arreglo a los criterios establecidos por el órgano regulador.

3.14. En el resumen periódico de los resultados de la monitorización deberían incluirse los resultados tanto del programa de monitorización de las fuentes como del programa de monitorización del medio ambiente. En cualquier caso, los resultados deberían presentarse de una manera que permita verificar el cumplimiento de los límites de las descargas autorizados por el órgano regulador. Su presentación debería seguir un formato que corresponda a los objetivos del programa de monitorización definidos por el órgano regulador. En algunos casos puede ser adecuado comparar las tasas de dosis o las concentraciones de actividad medidas con niveles derivados pertinentes; en otros puede ser necesario evaluar las dosis a grupos críticos. Con arreglo a lo que indique el órgano regulador, estas dosis deberían compararse con las restricciones de dosis establecidas en las autorizaciones de descarga; los resultados de la comparación y su interpretación deberían notificarse al órgano regulador.

3.15. En el resumen periódico también debería incluirse una interpretación de los resultados y una explicación adecuada de su significado (por ejemplo, haciendo referencia a modelos o normas pertinentes o a la incertidumbre de los resultados), en especial cuando los resultados indiquen variaciones significativas en las emisiones o en la contaminación del medio ambiente. Además, debería aportarse otra información de utilidad, como la relativa a las condiciones climáticas durante el período abarcado por el informe y a la producción neta de energía eléctrica (en el caso de las centrales nucleares) o a las cantidades de combustible producidas (en el caso de las instalaciones de fabricación de combustible) o reprocesadas (en el caso de una planta de reprocesamiento de combustible) durante el período de que se trate.

3.16. El titular registrado o el titular licenciado deberían presentar al menos anualmente al órgano regulador datos de monitorización de las fuentes y del medio ambiente; pero es posible que los datos relativos a otros factores deban presentarse con mayor frecuencia. Estos factores podrían abarcar el tipo de explotación (por ejemplo, fuentes o prácticas registradas o licenciadas) y variabilidad temporal de las cantidades y tasas de descarga. En el caso de las prácticas licenciadas, como las instalaciones del ciclo del combustible, los informes deberían indicar las cantidades de radionucleidos descargadas al medio ambiente dentro de los límites autorizados establecidos por el órgano regulador.

3.17. En la rápida notificación de un aumento significativo imprevisto de los campos de radiación o de la contaminación ambientales debería incluirse una descripción de la investigación iniciada, sus resultados preliminares (si los hubiere), las medidas inmediatas adoptadas en relación con las operaciones de descarga (por ejemplo, la interrupción de las descargas de lotes) y las medidas previstas para el futuro inmediato (por ejemplo, la reanudación de las operaciones de descarga).

3.18. Habida cuenta de la creciente sensibilización de la población acerca de las cuestiones ambientales, el órgano regulador, los titulares registrados y los titulares licenciados deberían proporcionarle información resumida sobre la monitorización del medio ambiente, junto con una explicación adecuada de su significado (por ejemplo, indicando las normas o el grado de incertidumbre de los resultados).

## **4. ASPECTOS GENÉRICOS DE LOS PROGRAMAS DE MONITORIZACIÓN**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

4.1. Los objetivos generales de los programas de monitorización para la protección de la población y del medio ambiente abordados en la presente guía de seguridad, son los siguientes [6, 7]:

- a) Verificar el cumplimiento de los límites de descarga autorizados y de cualquier otro requisito reglamentario relacionado con el impacto en la población y en el medio ambiente del funcionamiento normal de una práctica o de una fuente utilizada en una práctica;

- b) Proporcionar información y datos para la evaluación de dosis y determinar la exposición real o potencial de grupos críticos y poblaciones causada por la presencia de materiales radiactivos o de campos de radiación en el medio ambiente como resultado del funcionamiento normal de una práctica o de la utilización de una fuente en una práctica y de accidentes o de actividades pasadas;
- c) Verificar las condiciones de explotación y la adecuación de los controles de las descargas de la fuente, dar la alarma ante la aparición de condiciones inusuales o imprevistas y, si procede, activar un programa especial de monitorización del medio ambiente.

4.2. A continuación se señalan algunos objetivos subsidiarios que normalmente debería perseguir un programa de monitorización [6, 7]:

- a) Proporcionar información a la población;
- b) Mantener un registro permanente del impacto de un establecimiento o de una práctica en los niveles de radionucleidos en el medio ambiente;
- c) Verificar las predicciones de los modelos ambientales a fin de modificarlos si procede para reducir las incertidumbres en la evaluación de dosis.

4.3. Con arreglo a sus objetivos generales y subsidiarios, los programas de monitorización deberían abarcar la realización de mediciones radiológicas y la reunión de información de apoyo pertinente, así como la evaluación de las dosis al grupo crítico y a la población causadas por la presencia de materiales radiactivos en el medio ambiente como resultado de una práctica o una intervención, y la demostración del cumplimiento de los límites de descarga autorizados en una práctica.

## VÍAS DE EXPOSICIÓN HUMANA

4.4. Una finalidad importante de la monitorización es proporcionar datos que permitan analizar y evaluar la exposición humana a las radiaciones. A tal efecto, deberían aplicarse programas de monitorización de radionucleidos en el medio ambiente centrados en las vías de exposición humana. Las vías de exposición son las rutas que a través de los distintos tipos de medio ambiente van desde una fuente de radionucleidos y/o radiación hasta un individuo o una población. Hay dos categorías principales de vías de exposición: las vías de exposición externa (la fuente de la exposición se mantiene fuera del cuerpo) y las vías de exposición interna (la fuente de exposición se introduce en el cuerpo).

4.5. Las principales vías de exposición externa consideradas en la presente guía de seguridad son:

- a) *Fuente de radiación* → *seres humanos*: exposición directa causada por una fuente de radiación ionizante;
- b) *Fuente de radionucleidos* → *atmósfera o masa de agua* → *seres humanos*: exposición causada por el penacho de radionucleidos en la atmósfera (radiactividad de la nube) o en el agua;
- c) *Fuente de radionucleidos* → *atmósfera o masa de agua* *piel humana*: exposición por contacto de radionucleidos con la piel;
- d) *Fuente de radionucleidos* → *atmósfera o masa de agua* → *suelo o sedimento o superficie de edificios o vegetación* → *seres humanos*: exposición causada por radionucleidos depositados en el suelo o en sedimentos (en costas fluviales, lacustres o marinas), en superficies de edificios (paredes, techos y pisos) o en la vegetación (árboles, matorrales, hierba).

4.6. Las principales vías de exposición interna en la presente guía de seguridad son:

- a) *Fuente de radionucleidos* → *atmósfera* → *seres humanos*: inhalación de radionucleidos en el penacho;
- b) *Fuente de radionucleidos* → *atmósfera o masa de agua* → (*suelo o sedimento*) → *vegetación y/o carne, leche, huevos o alimentos de origen marino* → *seres humanos*: ingestión de radionucleidos presentes en alimentos y bebidas;
- c) *Fuente de tritio* → *atmósfera* → *seres humanos*: absorción por vía dérmica de óxido de tritio presente en el penacho;
- d) *Suelo o sedimento* → *seres humanos*: inhalación de radionucleidos resuspendidos.

4.7. En la figura 1 se ilustran las vías por las que un individuo puede estar expuesto a raíz de la descarga de radionucleidos en la atmósfera y en las aguas superficiales y subterráneas, respectivamente.

4.8. La importancia de las distintas vías de exposición depende de:

- a) Las propiedades radiológicas de los materiales emitidos (por ejemplo, emisores gamma, emisores alfa, emisores beta; período de semidesintegración física);

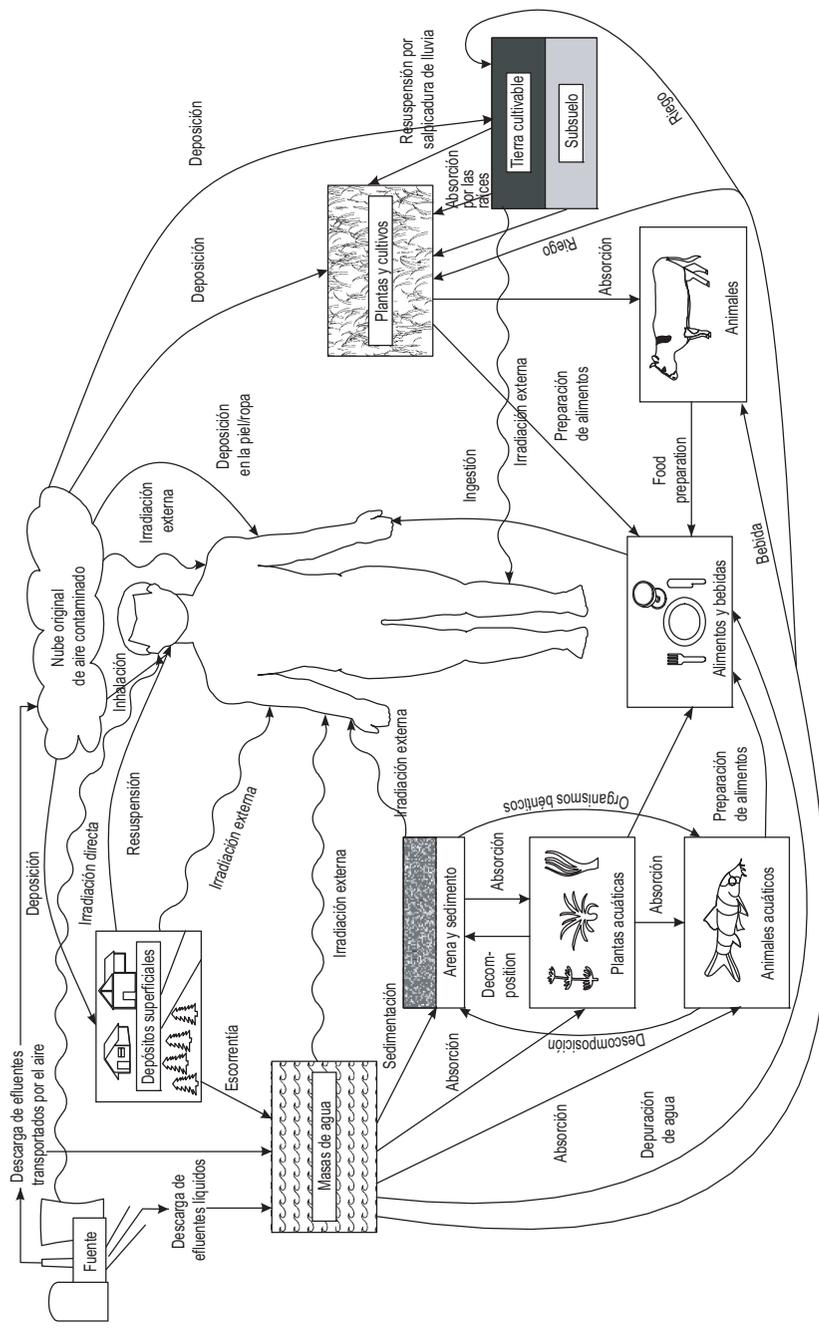


Figura. 1. Posibles vías de exposición de miembros de la población como resultado de descargas de materiales radiactivos en el medio ambiente

- b) Las propiedades físicas (por ejemplo, gas, líquido, sólido) y químicas (por ejemplo, forma orgánica o inorgánica, estado de oxidación, especiación, etc.) de los materiales y sus pautas de migración;
- c) El mecanismo de dispersión y los factores que lo afectan (por ejemplo, altura de la chimenea, condiciones meteorológicas, etc.) y las características ambientales (por ejemplo, clima, tipo de biota, producción agrícola, etc.);
- d) La localización, la edad, la dieta y los hábitos de la población o los individuos expuestos.

4.9. En condiciones de descarga normal las vías de exposición suelen ser permanentes y estar bien definidas. En el caso de emisiones registradas en condiciones de emergencia la contribución de las distintas vías de exposición a las dosis que reciben los trabajadores y la población pueden ser diferentes de las normales y transitorias. Estas diferencias se deberían tener en cuenta al establecer el programa de monitorización de emergencia. Para proteger a la población y a los trabajadores contra los efectos determinísticos en la salud resultantes de accidentes graves, pueden aplicarse criterios radiológicos distintos de los que se aplican en condiciones de descarga normal, lo cual puede requerir la reunión de datos de monitorización adicionales.

4.10. Es posible que en las diferentes fases de un accidente cambien las vías de exposición y se necesite otro tipo de datos para poder adoptar decisiones acerca de la aplicación de medidas protectoras. Así, en la fase temprana de una emisión accidental a la atmósfera la monitorización debería centrarse en medir la radiactividad de la nube y tomar muestras de radionucleidos del penacho para determinar qué parte de las dosis se debe a la exposición externa y cuál a la inhalación. Una vez detenida la emisión y cuando la nube radiactiva ya ha pasado la monitorización debería centrarse en la irradiación del suelo y la contaminación de los alimentos para tomar en cuenta la parte de las dosis atribuible a la exposición externa y la que se debe a la ingestión.

4.11. En situaciones de exposición crónica (prolongada) las vías de exposición suelen estar bien definidas y es poco probable que registren cambios bruscos. La exposición externa no está determinada por la radiactividad de la nube sino por la de los radionucleidos depositados en el suelo o en sedimentos, en superficies de edificios o en la vegetación. Es posible que la ingestión de alimentos de origen agrícola o natural que contengan radionucleidos contribuya considerablemente a las dosis. Con el tiempo se reduce la importancia de la resuspensión y, por ende, de la inhalación, debido a la penetración gradual de los radionucleidos de período largo en el suelo.

## GRUPOS EXPUESTOS

4.12. Una de las principales finalidades de la monitorización en el contexto de las descargas normales consiste en proporcionar información y datos para evaluar la exposición de los miembros de la población y verificar las previsiones elaboradas al conceder la licencia acerca de las dosis que se registrarían a raíz de las descargas al medio ambiente durante el funcionamiento normal.

4.13. Un concepto importante a estos efectos es el de 'grupo crítico'. El grupo crítico se define como un grupo de miembros de la población razonablemente homogéneo con respecto a su exposición, para una fuente de radiación dada, característico de los individuos que reciben la dosis efectiva o la dosis equivalente más alta (según el caso) de dicha fuente en razón de su ubicación, edad o dieta o de sus hábitos [2]. La dosis media al grupo crítico suele estar sujeta a restricciones de dosis o, en algunos casos, a límites de dosis establecidos por el órgano regulador. La CIPR ha proporcionado orientación para apoyar la determinación del grupo crítico [6]. Esta cuestión se analiza con más detalle en la referencia [7].

4.14. El grupo crítico para un determinado conjunto de circunstancias debería seleccionarse con sumo cuidado. Sería preciso prestar debida atención a los hábitos tanto de las minorías étnicas y culturales como de los pueblos indígenas, según proceda. Sus estilos de vida y sus hábitos de consumo de alimentos y de agua pueden determinar vías y niveles elevados de exposición no previstos por el análisis convencional.

4.15. Uno de los principales criterios aplicables en la selección del grupo crítico es su tamaño, supeditado en gran medida al requisito de homogeneidad ya mencionado. En casos extremos puede ser conveniente definir al grupo crítico como un único individuo hipotético, aunque, por lo general está integrado por más personas, sin llegar a ser muy numeroso para preservar su homogeneidad. En la práctica suele abarcar a unas pocas decenas de individuos, salvo en casos de exposición homogénea de un gran grupo de población, por ejemplo, por ingestión de alimentos de amplia distribución o consumo de agua de un gran embalse.

4.16. Puede haber diferentes grupos de individuos más expuestos por diferentes vías de exposición y algunos individuos pueden ser miembros de más de uno de esos grupos. En tal caso el grupo crítico debería definirse sobre la base de la suma calculada de las dosis recibidas por todas las vías de exposición, que debería compararse con las restricciones de dosis o los límites de dosis (por ejemplo, cuando se trata de fuentes múltiples). Algunas distribuciones de población o

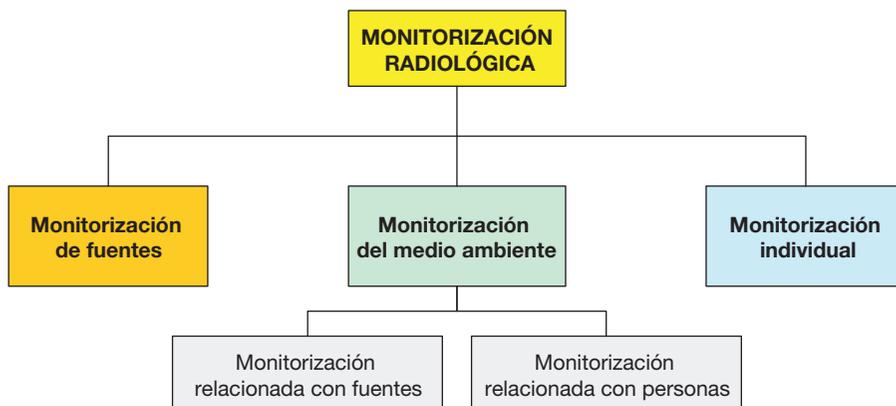
pautas de uso de la tierra en las inmediaciones de una instalación pueden cambiar con el tiempo, lo cual también puede requerir la definición de un nuevo grupo crítico o suponer cambios en la importancia relativa de algunas vías de exposición.

4.17. Si bien en el caso de las descargas normales el cálculo de las dosis para los grupos expuestos suele basarse en criterios conservadores, las dosis a los grupos expuestos durante emergencias y situaciones de exposición crónica (prolongada) deberían definirse por referencia a hábitos realistas tanto para realizar evaluaciones de dosis realistas que puedan utilizarse en la adopción de decisiones sobre medidas protectoras y medidas reparadoras como para lograr una asignación de recursos adecuada. Los grupos expuestos deberían definirse por referencia a individuos reales y a supuestos que correspondan a las modalidades reales de deposición y contaminación del medio ambiente y de los alimentos y forrajes producidos y utilizados por la población en las zonas afectadas.

## TIPOS DE MONITORIZACIÓN RADIOLÓGICA

4.18. La monitorización para la protección radiológica de la población puede ser de tres tipos: monitorización en la fuente (monitorización de fuentes), monitorización en el medio ambiente (monitorización ambiental) y, en muy pocos casos, monitorización individual de los miembros de la población. La monitorización de fuentes abarca mediciones de los niveles de radiación y de los radionucleidos provenientes de una fuente de radiación o de una práctica, la monitorización ambiental se realiza fuera el emplazamiento en el que se origina la exposición, mientras que la monitorización individual consiste en efectuar mediciones directas en las personas [6].

4.19. La monitorización del medio ambiente puede subdividirse en dos categorías: monitorización ambiental relacionada con fuentes y monitorización ambiental relacionada con personas (véase la figura 2). La primera consiste en medir las tasas de dosis absorbidas en el aire o las concentraciones de actividad resultantes de determinada fuente o práctica; puede ser necesario realizar mediciones comparativas para distinguir la contribución de la fuente o práctica que se esté investigando. La monitorización ambiental relacionada con personas se realiza cuando hay varias fuentes que irradian al mismo grupo de personas; su principal objetivo consiste en evaluar las dosis causadas por todas esas fuentes [6]. Más adelante se indican los objetivos específicos y las características de los diferentes tipos de monitorización.



*Figura 2. Tipos de monitorización para la protección radiológica de la población*

4.20. Cuando es preciso realizar una monitorización de fuentes y una monitorización ambiental, o bien una monitorización ambiental y una individual, es conveniente que exista una buena coordinación entre los respectivos programas de monitorización, ya que la información obtenida en uno de ellos puede facilitar la comprensión del otro. En principio es preferible que los cálculos de dosis se basen más en los resultados de la monitorización individual que en los de la monitorización del medio ambiente, los cuales a su vez son preferibles a los de la monitorización de fuentes. Esto permite reducir al mínimo las incertidumbres inherentes a la utilización de modelos en los cálculos de dosis y podría proporcionar una indicación más segura de las dosis reales que recibe el grupo crítico. Sin embargo, cuando los niveles de actividad y de dosis son bajos la monitorización individual y a veces la monitorización del medio ambiente resultan inviables para la evaluación de dosis.

4.21. En una intervención la monitorización individual de los miembros de la población sólo sería necesaria si la dosis individual media calculada para un grupo de personas se aproximara o pudiera ser superior a una fracción sustancial del nivel de intervención pertinente [2]. Es muy improbable que se plantee una situación de este tipo.

4.22. En el diseño de cualquier programa de monitorización se deberían tener en cuenta los siguientes factores:

- Inventario de radiactividad y composición de radionucleidos en la fuente;
- Características espaciales y temporales de los campos de radiación alrededor de la fuente;

- Descargas autorizadas y tasas de descarga;
- Posibles contribuciones de prácticas o fuentes cercanas, vías de descarga, vías de exposición, características ambientales del emplazamiento, y características y hábitos de la población afectada;
- Importancia de las dosis medias anuales al o los grupos críticos, así como los niveles de radiación en el medio ambiente calculados para las emisiones radiactivas previstas y posibles.

4.23. Debería diseñarse un programa de monitorización rutinario que también fuese capaz de proporcionar una buena base para la monitorización de emergencia en caso de accidente. A tal efecto las disposiciones en materia de monitorización han de ser lo bastante flexibles (en lo que se refiere a la selección y calibración del equipo apropiado para la monitorización tanto rutinaria como de emergencia, a las disposiciones organizativas y a la capacitación del personal) para permitir la rápida transición de la aplicación normal del programa a su utilización en situaciones de emergencia. Es fundamental garantizar una preparación y una planificación exhaustivas para la monitorización de emergencia.

### **Monitorización de fuentes**

4.24. Este tipo de monitorización se aplica a una fuente de radiación o a la descarga de radionucleidos procedente de una práctica. Si bien las consideraciones básicas en el diseño de programas de monitorización de fuentes son las mismas para cualquier tipo de fuente, la escala y frecuencia de la monitorización varían según la fuente de que trate. Estos programas suelen diseñarse para medir las tasas de dosis en la fuente y/o las tasas de descarga de radionucleidos. Las tasas de dosis varían en función de la naturaleza y el estado de la fuente. La modalidad de descarga también varía: los efluentes transportados por el aire suelen descargarse en forma continua durante el funcionamiento de la práctica, pero ésta puede ser discontinua, mientras que los efluentes líquidos se pueden descargar tanto de manera continua como almacenar en tanques para su ulterior liberación en lotes de descarga.

4.25. Con respecto a cada tipo de fuente y de vía de exposición potencial es preciso considerar la ubicación del punto de medición, la pertinencia de realizar una monitorización permanente, la frecuencia de la toma de muestras y/o de las mediciones, así como la necesidad de información adicional. En el caso de las descargas de radionucleidos es posible que deba obtenerse información sobre la forma química, la densidad y la tasa de flujo de la descarga, junto con datos hidrológicos y meteorológicos e información relativa al medio receptor [6].

## **Monitorización ambiental**

4.26. La monitorización ambiental se realiza tanto dentro como fuera del emplazamiento donde se originan la exposición de la población y la emisión de radionucleidos en el medio ambiente. En el marco de estos programas se realizan mediciones de los campos de radiación y de las concentraciones de actividad de radionucleidos en muestras ambientales pertinentes para la exposición humana, fundamentalmente en el aire, el agua potable, los productos agrícolas y los alimentos naturales, así como en bioindicadores, que concentran radionucleidos y permiten medir las tendencias de los niveles de actividad.

4.27. La monitorización ambiental relacionada con fuentes tiene por objeto evaluar el impacto de una fuente de radiación y de una descarga de radionucleidos. Para determinar el impacto ambiental de una fuente se deberían seleccionar puntos de medición y de toma de muestras, además de aplicar métodos analíticos que permitan detectar la radiación y la contaminación radiactiva causadas por dicha fuente.

4.28. Si bien muchas fuentes que originan emisiones de radionucleidos o tasas de dosis externas están localizadas y pueden vigilarse mediante programas de monitorización ambiental, hay otras fuentes múltiples, dispersas o difusas que no pueden tratarse de ese modo. Los radionucleidos que emiten esas fuentes se mezclan en el medio ambiente, de manera que es preciso monitorear la contribución total de dichas fuentes múltiples o dispersas. La monitorización ambiental relacionada con personas suele caracterizarse por su amplia cobertura geográfica y su capacidad de detectar la mayor parte de los radionucleidos presentes en el medio ambiente [6].

4.29. La monitorización ambiental siempre depende de los aspectos concretos del medio ambiente a los que deba aplicarse. La finalidad de la monitorización debería consistir en detectar cambios en las tendencias a largo plazo de las concentraciones de actividad o de las tasas de dosis en el medio ambiente. Este tipo de monitorización también ha de efectuarse para verificar los resultados de la monitorización de fuentes y para confirmar las predicciones relativas a la transferencia de radionucleidos al medio ambiente. Los programas de monitorización ambiental deberían ser amplios y adecuarse a las características locales, además de ser capaces de responder con rapidez y de proporcionar muestras y mediciones de las tasas de dosis o los niveles de actividad en situaciones de emergencia.

## **Monitorización individual**

4.30. La monitorización individual consiste en realizar mediciones directas en las personas. Si bien no suele emplearse en los programas rutinarios de monitorización de la exposición de la población, podría utilizarse después de un accidente para evaluar las dosis reales a los individuos y proporcionar información a la población [6]. Se pueden ejecutar programas especiales de monitorización individual con fines científicos, como la validación de modelos, o de información para dar seguridades a la población.

4.31. La monitorización individual abarca la realización de mediciones de dosis externas con dosímetros distribuidos a miembros de la población y/o de mediciones de las cantidades de sustancias radiactivas presentes en el cuerpo o en las excretas, y la interpretación de esas mediciones como dosis individuales.

## **5. PROGRAMAS DE MONITORIZACIÓN EN PRÁCTICAS E INTERVENCIONES**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

5.1. Los programas de monitorización radiológica abarcan mediciones tanto de campos de radiación en la fuente y en el medio ambiente como del contenido de radionucleidos liberados por las emisiones en los distintos tipos de medio ambiente, en muestras ambientales y, rara vez, en el cuerpo humano. Los programas de monitorización de apoyo deberían abarcar otros tipos de actividades de medición y de reunión de datos, por ejemplo, relativas a aspectos generales del medio ambiente que sean pertinentes (características meteorológicas, hidrológicas, edafológicas, etc.), a aspectos demográficos (distribución de edad, hábitos alimentarios, ocupación, etc.) y a aspectos económicos (uso de la tierra y del agua, tecnologías agrícolas, etc.).

5.2. Los programas de monitorización radiológica dependen fundamentalmente de las características de la fuente de emisión, del tipo de medio ambiente al que se realiza la emisión, de la tasa de emisión, de la composición de radionucleidos y de la forma física y química de los radionucleidos liberados, así como de los parámetros ambientales en la zona contaminada con radionucleidos. También dependen de las posibilidades de control de las emisiones en las distintas prácticas e intervenciones. Para monitorizar una fuente de emisión (chimenea,

conducto de descarga, etc.) o la contaminación radiactiva del medio ambiente se aplican técnicas y programas diferentes.

5.3. Los objetivos y programas de monitorización varían en las distintas fases de funcionamiento de una instalación: la fase preoperacional, la fase operacional, la clausura (o el cierre) y la fase posterior al cierre. En el diseño de los programas de monitorización también se deberían tener en cuenta las posibles contribuciones de prácticas o fuentes cercanas, las rutas de descarga y las vías de exposición humana, las características ambientales del emplazamiento, las características y los hábitos de la población afectada y la magnitud de la dosis individual media anual al grupo crítico que podrían provocar las emisiones previstas y potenciales.

5.4. Los programas de monitorización se establecen después de un proceso de optimización en el que se tienen en cuenta la disponibilidad de recursos de medición, la importancia relativa de las diferentes vías de exposición y los niveles de actividad y de dosis en relación con las restricciones reglamentarias. Tras su puesta en marcha, los programas deberían examinarse periódicamente para cerciorarse de que sigan respondiendo a sus objetivos.

## MONITORIZACIÓN DE DESCARGAS RADIATIVAS EN LAS PRÁCTICAS

5.5. Durante las evaluaciones de la seguridad emprendidas como parte del proceso de concesión de licencias se deberían analizar y evaluar las actividades de las instalaciones que puedan dar lugar a descargas de radionucleidos y deberían definirse las condiciones de funcionamiento. En general el proceso de concesión de licencias abarca la determinación de los siguientes datos:

- El espectro de radionucleidos cuya emisión se prevé en diferentes estados operacionales, incluidos lo estados anormales;
- Las exposiciones por vías importantes que contribuyen a las dosis y las dosis previstas causadas por descargas;
- Los límites de descarga.

5.6. Uno de los principales objetivos del programa de monitorización consiste en verificar los supuestos y validar los resultados de la evaluación de la seguridad tecnológica. Por consiguiente, en el programa se debería prestar especial atención a las vías críticas y a los radionucleidos críticos.

5.7. La naturaleza del programa de monitorización varía en las diferentes fases de funcionamiento de una instalación. En la fase preoperacional la monitorización ambiental se diseña a fin de determinar las concentraciones de actividad y las tasas de dosis de radiación en el medio ambiente. En esta fase es preciso investigar los factores locales (es decir, los factores meteorológicos e hidrológicos, las características hidrobiológicas del medio acuático, la distribución de la población, las tasas de consumo de alimentos, los factores ocupacionales y las características del uso de la tierra) que podrían incidir en las dosis a los miembros de la población. La red de monitorización y el sistema de muestreo ambiental deberían establecerse sobre la base de esta información.

5.8. En las fases iniciales de funcionamiento de una instalación es preciso realizar mediciones ambientales frecuentes y detalladas para confirmar las predicciones acerca del comportamiento y la transferencia de radionucleidos en el medio ambiente. Cuando ya se dispone de experiencia es posible que pueda reducirse la escala de la monitorización de fuentes y la monitorización ambiental. En la primera fase, e incluso después de varios años de funcionamiento, las descargas normales pueden determinar unos niveles de radiación o de radionucleidos en el medio ambiente que no resulten fáciles de detectar. Sin embargo, cualquier decisión de reducir la frecuencia del muestreo o el alcance del programa de monitorización ambiental debería estudiarse detenidamente y se tendría que tomar en cuenta la posibilidad de que los regímenes de descarga varíen o se produzcan emisiones imprevistas, así como cualquier preocupación que pueda plantear la población. Los responsables de la instalación y/o la entidad encargada de la monitorización deberían contemplar la posibilidad de hacer participar a la población en el diseño y examen de los programas de monitorización como medio de despejar cualquier preocupación que pudiera plantearse.

5.9. En general, todos los programas de monitorización deberían someterse a examen periódico a fin de garantizar que las mediciones sigan siendo pertinentes para su finalidad y de que no se descuide ninguna ruta de descarga o transferencia en el medio ambiente o ninguna vía de exposición importante. En caso de que varíe la modalidad de funcionamiento del establecimiento donde se utilicen las fuentes o la naturaleza de las descargas, los programas de monitorización deberían reevaluarse para determinar si siguen siendo adecuados. Durante la fase de funcionamiento del establecimiento también pueden registrarse cambios importantes en el medio ambiente local (por ejemplo, cambios biológicos en el ecosistema acuático debidos a las descargas térmicas o eutrofización general de la masa de agua, redistribución de la población de la zona circundante o cambios en

sus hábitos); estos cambios pueden afectar considerablemente a las rutas de transferencia en el medio ambiente y a las vías de exposición.

5.10. Las modificaciones que el órgano regulador introduzca en las autorizaciones de descarga como resultado de sus exámenes periódicos también pueden tener repercusiones en el diseño del programa de monitorización ambiental. Por último, el programa se debe adaptar cuando cambian o cesan las operaciones, durante la clausura de la instalación que utiliza fuentes y en el período posterior al cierre.

### **Estudios preoperacionales**

5.11. Se deberían realizar estudios preoperacionales para las prácticas a fin de establecer niveles de radiación ambiental y concentraciones de actividad ‘de referencia’ con miras a la ulterior determinación del impacto de la fuente. También sería preciso efectuar evaluaciones preoperacionales que abarquen los inventarios de radionucleidos previstos durante el funcionamiento de la instalación, las posibles vías de descarga y las probables cantidades de descarga al medio ambiente, tomando debidamente en cuenta los sistemas de tratamiento de efluentes que hayan de instalarse. Los estudios preoperacionales deberían proporcionar también datos ambientales básicos para formular predicciones de dosis a la población y descargas al medio ambiente. Estos estudios tendrían que utilizarse para establecer los primeros límites autorizados y llevar a cabo el diseño del programa de monitorización.

5.12. A tal efecto es preciso determinar lo siguiente:

- a) El inventario de actividad previsto y las características radiológicas de la fuente;
- b) Los tipos y actividades de los radionucleidos que se descargarán, sus formas físicas y químicas, los métodos, las rutas de descarga y las tasas de descarga;
- c) Los mecanismos de transferencia de los radionucleidos en los distintos tipos de medio ambiente, incluidos los mecanismos de dispersión y reconcentración, y su variación estacional;
- d) Las características naturales y artificiales del medio ambiente que inciden en esta transferencia (por ejemplo, las condiciones geológicas, hidrológicas y meteorológicas, la vegetación o la existencia de embalses o puertos);
- e) Las características ecológicas de la masa de agua que vaya a recibir las descargas líquidas (por ejemplo, su fauna y flora, su variabilidad anual, el estado de eutrofización y los cambios previstos en los ecosistemas);

- f) La utilización del medio ambiente para actividades agrícolas, abastecimiento de agua y alimentos, actividades industriales, vivienda y recreación;
- g) La densidad de población, su distribución por edad y hábitos alimentarios, ocupacionales, domésticos y recreativos;
- h) Los posibles grupos críticos;
- i) Los niveles actuales de radionucleidos en el medio ambiente y su variabilidad;
- j) La existencia de cualquier contaminante físico o químico que pueda incidir en la transferencia de radionucleidos.

5.13. Mediante el programa preoperacional también podrían determinarse organismos indicadores<sup>6</sup> o materiales indicadores idóneos para radionucleidos específicos. Este programa también puede utilizarse para impartir capacitación al personal y ensayar el equipo, los instrumentos y la organización de los programas de monitorización operacionales. El programa preoperacional debería ponerse en marcha con suficiente antelación (dos a tres años) al comienzo de la fase operacional para poder estudiar la variabilidad anual y el medio ambiente local.

5.14. Durante el período preoperacional se deberían estudiar las disposiciones en materia de preparación para emergencias, analizando en particular los aspectos relacionados con la fuente, el medio ambiente y la monitorización individual que pudiera requerirse en caso de cualquier emergencia teóricamente posible. Todas las personas y entidades responsables tendrían que conocer los niveles de intervención básicos [2] y se deberían establecer niveles de intervención operacionales (NIO)<sup>7</sup> específicos para los emplazamientos. Sería conveniente que los NIO se refiriesen a parámetros fáciles de medir (por ejemplo, la tasa de dosis en el aire o la densidad de deposición de los radionucleidos) para facilitar su interpretación en caso de que se requiera una intervención.

---

<sup>6</sup> Los organismos indicadores son elementos de la biota que, si bien es posible que no sean importantes en relación con las vías de exposición humana, y por consiguiente no se utilicen con fines de evaluación de dosis, son organismos que concentran eficazmente los radionucleidos y pueden utilizarse como indicadores sensibles para evaluar las tendencias en los niveles de radiación ambiental y las concentraciones de actividad de radionucleidos en el medio ambiente.

<sup>7</sup> Los NIO se suelen expresar como tasas de dosis, actividad de los materiales radiactivos liberados, concentraciones de actividad en el aire integradas en el tiempo, concentraciones de actividad en el suelo o en superficies, o concentraciones de actividad de radionucleidos en el medio ambiente, en los alimentos o en muestras de agua.

## **La monitorización en la fase operacional**

### *Monitorización de fuentes*

5.15. En el contexto de la presente guía de seguridad por “monitorización de fuentes” se entiende la medición de las descargas autorizadas y de los campos de radiación alrededor de las fuentes. Las descargas al medio ambiente pueden consistir en gases, aerosoles o líquidos. En situaciones anormales su actividad puede variar y los campos de radiación alrededor de las fuentes pueden aumentar.

5.16. La monitorización de fuentes tiene los siguientes objetivos específicos:

- a) Verificar la observancia de los límites autorizados para las descargas atmosféricas y líquidas;
- b) Proporcionar la información necesaria para determinar si los sistemas de tratamiento y control de efluentes funcionan correctamente;
- c) Dar alerta temprana en caso de desviación del funcionamiento normal autorizado;
- d) Suministrar datos sobre la descarga de radionucleidos al medio ambiente (por ejemplo, las tasas de descarga y las composiciones de radionucleidos) como base para estimar, mediante la elaboración de modelos predictivos, tanto los niveles de radiación y las concentraciones de actividad en el medio ambiente como la exposición de la población.

5.17. El programa de monitorización de fuentes debe diseñarse de manera que permita determinar si se respetan los límites de descarga autorizados y los criterios para las descargas establecidos por el órgano regulador. La monitorización de las descargas radiactivas puede requerir mediciones específicas de determinados radionucleidos o bien mediciones globales de la actividad, según proceda. Por lo general, las mediciones deberían realizarse antes de que se produzca la dilución o en el punto de descarga (por ejemplo, en la chimenea en el caso de las descargas en la atmósfera, o en el conducto de descarga cuando se trata de descargas líquidas). En las descargas por lotes los materiales de descarga están bien caracterizados por el volumen del lote y la composición de radionucleidos en una muestra del lote homogeneizado tomada del tanque donde se almacenan los materiales antes de su descarga.

5.18. Los efluentes atmosféricos y líquidos pueden someterse a tres tipos de mediciones:

- a) Monitorización en línea de las descargas;

- b) Muestreo continuo y mediciones en laboratorio de las concentraciones de actividad en las muestras;
- c) Muestreo esporádico y mediciones en laboratorio de las concentraciones de actividad en las muestras.

5.19. La selección de los procedimientos de muestro y medición dependerá de lo siguiente:

- a) Las características y cantidades de los radionucleidos descargados y la sensibilidad del sistema de medición;
- b) Las previsiones acerca de la eventual variación de las tasas de descarga de los radionucleidos en el curso del tiempo;
- c) La probabilidad de que se produzcan descargas imprevistas que sea preciso detectar y notificar rápidamente.

5.20. En todas las situaciones será necesario adoptar disposiciones para establecer con precisión el volumen de los materiales descargados en un tiempo determinado a fin de que la actividad total descargada durante un período de tiempo dado pueda calcularse sobre la base de las mediciones de la concentración de actividad. Para calcular la dosis de radiación al grupo crítico ocasionada por las descargas se necesitarán también datos pertinentes relativos a la dispersión meteorológica e hidrológica. A continuación se indican otros parámetros cuyo conocimiento podría ser de utilidad para evaluar el impacto de las descargas:

- a) La forma física y química de los radionucleidos descargados y su solubilidad;
- b) La distribución del tamaño de las partículas en el caso de las descargas atmosféricas;
- c) El pH en el caso de las descargas líquidas en medio acuoso.

5.21. Es conveniente que exista una buena coordinación entre los programas de monitorización de fuentes y de monitorización ambiental. En el caso de las descargas normales las concentraciones de actividad detectadas mediante la monitorización ambiental suelen ser muy bajas, de manera que en la mayoría de los casos los cálculos de dosis se basan en datos de la monitorización de fuentes y en la elaboración de modelos apropiados.

5.22. Al establecer los requisitos en materia de instrumentación y transmisión de datos para la monitorización de descargas normales también se deberían tener en cuenta las posibles descargas anormales y las emisiones accidentales para garantizar que se disponga de toda la instrumentación esencial necesaria, que los

dispositivos de alarma sean adecuados y que los datos relacionados con accidentes puedan analizarse con suficiente rapidez para contribuir a orientar la monitorización ambiental y la aplicación de contramedidas. Es importante tener en cuenta la probabilidad de que la composición de radionucleidos y las características físicas y químicas de una emisión registrada en una situación de accidente sean diferentes de las que se dan en situaciones normales; esto se debería tener presente para asegurar la flexibilidad necesaria en el diseño del sistema de monitorización de emisiones accidentales [6].

### *Monitorización del medio ambiente*

5.23. En el contexto de la presente guía de seguridad por ‘monitorización del medio ambiente’ se entienden las mediciones de las tasas de dosis externas en el medio ambiente y las concentraciones de actividad de radionucleidos en el aire, el agua, el suelo, los sedimentos de fondo, la vegetación, los cuerpos de animales y los alimentos. Esta monitorización puede dividirse en dos tipos según esté relacionada con fuentes o con personas. Un aspecto clave en el diseño de los programas de monitorización del medio ambiente para fuentes importantes consiste en la determinación de radionucleidos, vías y grupos potencialmente críticos. Sobre la base de su determinación y evaluación es posible seleccionar los radionucleidos y las vías que más contribuyen a las dosis individuales a fin de que los programas de monitorización puedan centrarse en los elementos más importantes.

5.24. A continuación se indican los objetivos específicos de la monitorización del medio ambiente en una práctica:

- a) Verificar los resultados de la monitorización de fuentes y la correspondiente elaboración de modelos para determinar si las predicciones son coherentes y no se sobrepasan los límites de exposición;
- b) Examinar, si procede, las condiciones radiológicas del medio ambiente para determinar si se respetan los límites ambientales autorizados;
- c) Proporcionar información para poder evaluar las dosis reales o previstas a los miembros del grupo crítico resultantes de prácticas o fuentes autorizadas;
- d) Detectar cualquier cambio imprevisto en las concentraciones de actividad y evaluar las tendencias a largo plazo en los niveles radiológicos del medio ambiente como resultado de la práctica de descarga;
- e) Proporcionar información destinada a la población.

5.25. El diseño de un programa de monitorización ambiental debería estar en consonancia con los objetivos de monitorización. Su justificación y escala dependen fundamentalmente de la importancia de las dosis al grupo crítico previstas. Deberían realizarse mediciones y muestreos en los lugares pertinentes fuera del límite de la instalación a los que tenga acceso la población. Las mediciones deberían abarcar los niveles de radiación externa y las concentraciones de radionucleidos en todas las muestras ambientales pertinentes, así como en los alimentos y el agua potable. La selección de los puntos de medición y de muestreo debería basarse en criterios específicos para los emplazamientos que permitan determinar las dosis más altas de radiación a la población y las zonas más contaminadas con radionucleidos.

5.26. Los resultados de un programa de monitorización del medio ambiente tendrían que utilizarse para verificar las predicciones elaboradas a partir de los resultados de la monitorización de fuentes y, de ser posible, para evaluar las dosis a la población. A tal efecto sería preciso tomar muestras y realizar mediciones en lugares seleccionados teniendo en cuenta las modalidades de dispersión de las descargas, incluidas las zonas de fondo. Además, la selección del procedimiento de muestreo más idóneo debería basarse en el conocimiento de los hábitos y las modalidades de consumo del grupo crítico de la población.

5.27. Además de las mediciones en las vías directas de exposición humana, también debería incluirse la medición de las concentraciones de actividad en organismos o materiales que actúan como ‘indicadores’ por medios naturales o artificiales, como algas, líquenes o materiales particulados en suspensión que no siempre son componentes directos de las cadenas alimentarias. Los materiales indicadores no se seleccionan porque formen parte de la dieta humana sino porque concentran los radionucleidos y permiten medir las tendencias en los niveles de actividad. Gracias al mecanismo de concentración suele resultar más fácil detectar los radionucleidos en esos materiales que en los alimentos y por esa razón dichos organismos o materiales son indicadores más sensibles de la contaminación ambiental [6].

5.28. La monitorización del medio ambiente que se realiza para evaluar el impacto de una práctica o fuente determinada se denomina ‘monitorización ambiental relacionada con fuentes’. Un programa de monitorización ambiental relacionada con fuentes debería permitir la verificación de los resultados de la monitorización de fuentes mediante muestras y mediciones tomadas en lugares cercanos a la instalación cuidadosamente seleccionados teniendo en cuenta su correlación con diferentes descargas o emisiones accidentales. Ese programa

también debería permitir la evaluación de las dosis ocasionadas por la exposición externa de los miembros de la población fuera del límite de la instalación.

5.29. La monitorización relacionada con personas tendría que efectuarse cuando existen varias prácticas o fuentes que podrían ocasionar la exposición del mismo grupo de individuos. Un ejemplo de este tipo de monitorización se daría cuando varios titulares registrados o titulares licenciados tienen autorización para descargar efluentes líquidos en la misma masa de agua. En tal caso debería aplicarse un programa de monitorización ambiental relacionada con personas que abarque las actividades de un grupo crítico de personas vinculado concretamente con esa zona (véanse los párrs. 4.12 a 4.17).

5.30. Los principios de diseño de los programas de monitorización ambiental relacionada con personas son muy similares a los que se aplican a la monitorización ambiental relacionada con fuentes. Para la monitorización ambiental relacionada con personas es preciso seleccionar lugares de muestreo que permitan evaluar el efecto agregado de todas las descargas; por ejemplo, en el caso mencionado más arriba, la confluencia de las aguas superficiales o una instalación de tratamiento del agua. Un diseño adecuado de ese tipo de programas de monitorización debe basarse en información sobre la radiación emitida y los radionucleidos descargados por las distintas fuentes de que se trate, así como sobre sus formas físicas y químicas y sobre la periodicidad de las descargas, a fin de que puedan aplicarse las técnicas de recolección y medición apropiadas.

### **La monitorización durante la clausura de una instalación**

5.31. Las instalaciones sujetas a clausura una vez concluido su ciclo de vida útil pueden ser establecimientos de extracción y tratamiento de uranio, plantas de enriquecimiento de uranio, instalaciones de fabricación de combustible, reactores nucleares [33 y 34], plantas de reprocesamiento de combustible y otras instalaciones de procesamiento de radionucleidos. Por lo general, el combustible gastado y otros materiales fisibles y componentes de radiactividad alta se extraen en una fase muy temprana de las operaciones para reducir los riesgos. La fase siguiente abarca la descontaminación, el desmantelamiento y la extracción de los materiales, desechos, estructuras y componentes radiactivos; algunos edificios e instalaciones que forman parte de la instalación pueden liberarse una vez sometidos a limpieza. Por último, se extraen todos los materiales con niveles de actividad importantes [2] y el emplazamiento se libera para uso irrestricto. La duración de las actividades de clausura puede prolongarse deliberadamente para conseguir una reducción adicional de los riesgos gracias a la desintegración radiactiva.

5.32. En el curso de la clausura el impacto potencial de la irradiación directa, así como de la descarga de radionucleidos, en la población de la zona circundante varía con respecto al de la fase operacional. Una vez extraídos los materiales fisibles de los reactores o de las plantas de reprocesamiento ya no hay posibilidades de que se produzcan accidentes nucleares o emisiones de productos de fisión de período corto. Es probable que como resultado del proceso de clausura las descargas radiactivas líquidas varíen y finalmente se eliminen. Sin embargo, las actividades de descontaminación y desmantelamiento que forman parte de ese proceso pueden provocar emisiones radiactivas mediante la creación, suspensión y resuspensión de aerosoles contaminados. Sobre todo en el caso de los reactores es posible que se generen productos de activación. A menos que el aire contaminado pueda pasarse por puntos de emisión (por ejemplo, chimeneas) dotados de filtros y sometidos a monitorización, hay posibilidades de que se produzcan liberaciones difusas difíciles de monitorizar en la fuente. Por consiguiente, es probable que durante el proceso de clausura varíe el término fuente, de manera que los sistemas de monitorización de la fuente y del medio ambiente establecidos en la fase operacional de la instalación se deberían evaluar para decidir si corresponde modificarlos. Una vez definidos, los requisitos relativos a la monitorización de la fuente y del medio ambiente deberían constar en el plan de clausura [22].

5.33. La clausura se considera más una práctica que una intervención, de manera que durante el proceso de clausura deben aplicarse las normas establecidas para la protección radiológica de la población en las prácticas [22 y 23]. Si bien la práctica de clausura no abarca las situaciones de contaminación residual del medio circundante debidas a operaciones pasadas en la instalación, si se justifica éstas pueden ser objeto de una intervención. En los párrafos 5.118 a 5.132 se analiza este tipo de situaciones de exposición crónica (prolongada).

#### *Monitorización de fuentes*

5.34. Como se señaló con respecto a la fase operacional, las descargas al medio ambiente durante la clausura de instalaciones pueden realizarse en forma de gases, de aerosoles o de líquidos. Es posible que las correspondientes actividades de descarga varíen durante ese proceso y los campos de radiación externos alrededor de las fuentes pueden registrar cambios pero su intensidad se irá debilitando. Los objetivos específicos de la monitorización de fuentes coinciden fundamentalmente con los de la fase operacional; sin embargo, es más probable que durante la clausura aparezcan fuentes difusas. Durante la fase de transición a la clausura de una instalación sería preciso examinar el programa de monitorización y, posiblemente, adaptarlo a la nueva situación a

fin de garantizar que siga siendo apto para verificar el cumplimiento de los límites autorizados y los criterios establecidos por el órgano regulador para los niveles de radiación externa y las descargas.

5.35. Como se indicó en relación con la fase operacional, la selección de los procedimientos de muestreo y de medición depende de las características de los efluentes, de la sensibilidad del sistema de medición, de las variaciones previstas y de la probabilidad de que se produzcan emisiones imprevistas que sea preciso detectar y notificar rápidamente. Es probable que durante la clausura de instalaciones (después de la extracción del combustible gastado o de otros materiales fisibles) las posibles emisiones accidentales sean más pequeñas que las que podrían producirse en la fase operacional, lo cual puede suponer la aplicación de requisitos menos estrictos en cuanto al funcionamiento del equipo de monitorización en un amplio rango dinámico<sup>8</sup>. Una vez completada la clausura ya no sería necesaria una monitorización de la fuente.

#### *Monitorización del medio*

5.36. La monitorización del medio ambiente durante la clausura de una instalación es similar a la que se realiza en la fase operacional, con las modificaciones necesarias para tener en cuenta los cambios que afectan tanto al término fuente y los radionucleidos críticos como a las vías y los grupos. El programa de monitorización ambiental debería abarcar la medición de las tasas de dosis externas en el medio ambiente y las concentraciones de actividad de los radionucleidos en el aire, el agua, el suelo, los sedimentos de fondo, la vegetación, los animales y los alimentos.

5.37. Al igual que en la fase operacional, la monitorización durante la clausura de una instalación persigue los objetivos indicados en el párrafo 5.24. La importancia de la monitorización ambiental es mayor en la medida en que las actividades de clausura producirán probablemente fuentes de emisiones difusas, que resulta más difícil monitorizar. Si bien es posible que las concentraciones de actividad sean

---

<sup>8</sup> El rango dinámico es el rango de tasas de dosis o de concentraciones de radionucleidos cuya medición puede efectuarse de manera fiable con un sistema de monitorización permanente. El confín inferior está determinado por el límite de detección y el superior por el límite aceptable de respuesta fiable del sistema resultante de la saturación del sistema de recuento de pulsos del detector. Un sistema de monitorización permanente es un dispositivo que suele utilizarse para medir la actividad en el aire o en el agua y que genera permanentemente mediciones de emisiones de radionucleidos que pasan por una cámara de conteo o se recogen con medios de muestreo in situ.

muy pequeñas o incluso no se puedan medir, las mediciones ambientales pueden servir para evaluar los confines superiores de las posibles dosis a la población.

5.38. El diseño de los programas de monitorización del medio ambiente durante la clausura de una instalación debería estar en consonancia con los objetivos de monitorización y ajustarse a los cambios registrados tanto en el término fuente y los radionucleidos críticos como en las vías y los grupos. Una vez eliminadas las posibilidades de fisión nuclear, por ejemplo, ya no es necesario medir los isótopos del yodo de período corto en el aire ambiental, los pastos y la leche. Asimismo, una vez que se han reducido considerablemente o eliminado las descargas líquidas de materiales radiactivos es posible reducir y a la larga suprimir la monitorización de las aguas superficiales. El programa establecido en la fase operacional para el muestreo de aerosoles debería ser útil para monitorizar los aerosoles que pudieran generarse durante la clausura, siempre que las estaciones de muestreo se ubiquen en los lugares adecuados.

5.39. Según los métodos de clausura que se apliquen, es posible que algunos aspectos de la monitorización ambiental deban mantenerse una vez concluidas las actividades de clausura de la instalación, por ejemplo, si las aguas subterráneas se han contaminado como consecuencia de la explotación de la instalación. En tal caso es posible que la monitorización deba mantenerse para determinar si gracias a la dilución, la dispersión radiactiva, el secuestro y la desintegración las concentraciones han disminuido hasta niveles aceptables [17] antes de que las aguas subterráneas lleguen a los puntos de extracción para el consumo.

5.40. Varios aspectos de la monitorización ambiental que ya se han abordado en la sección relativa a la fase operacional (véanse los párrs. 5.26 a 5.30) se aplican directamente a la fase de clausura de las instalaciones, de manera que no es necesario volver a señalarlos.

## **Monitorización de instalaciones de disposición final de desechos radiactivos después del cierre**

### *Consideraciones generales*

5.41. En esta sección se aborda la monitorización específica de las instalaciones de confinamiento y contención de desechos radiactivos, sobre todo en el período postoperacional, después del cierre de la instalación. Durante la fase operacional se aplican las orientaciones ya señaladas (véanse los párrs. 5.11 a 5.14 y 5.15 a 5.30, relativos a los estudios preoperacionales y a la fase operacional, respectivamente). Las instalaciones de disposición final de desechos a las que se

hace referencia en la presente sección pueden ser aquellas donde los desechos se colocan en la superficie (por ejemplo, en algunos emplazamientos utilizados para desechos de la extracción y el tratamiento de mineral de uranio o de torio), cerca de la superficie (desechos de nivel bajo e intermedio), en pozos barrenados de poca o gran profundidad, o en repositorios subterráneos profundos (instalaciones geológicas de disposición final de desechos).

5.42. En estos casos el objetivo es contener los desechos en la instalación durante el tiempo necesario para que la actividad de su contenido radiactivo se reduzca hasta niveles aceptables o para que la correspondiente tasa de liberación al medio ambiente disminuya hasta alcanzar unos valores que garanticen la seguridad. Sin embargo, habida cuenta de que se trata de períodos muy prolongados, es posible que después del cierre de la instalación se produzca una migración de radionucleidos hacia el exterior del emplazamiento. En el caso de algunos radionucleidos, como el tritio, debido a su movilidad es muy difícil que la retención sea total. En las instalaciones geológicas de disposición final, donde los desechos están contenidos por varias barreras tecnológicas, es posible que durante miles de años después del cierre no se produzcan migraciones de radionucleidos. La migración puede producirse mucho antes si se trata de desechos colocados en la superficie o cerca de ella.

5.43. Se debería tener en cuenta la migración potencial de radionucleidos a la atmósfera y al medio geológico adyacente después del cierre de la instalación a fin de adoptar, si procede, disposiciones apropiadas para su monitorización. No obstante, sería preciso reconocer que la liberación de radionucleidos al medio geológico es más probable. Ningún sistema diseñado para la monitorización después del cierre del repositorio de desechos debería violar las barreras instaladas para contener los radionucleidos.

5.44. El comportamiento futuro de los desechos en una instalación debería abordarse en el contexto de evaluación de la seguridad tecnológica que forma parte del procedimiento de concesión de licencias [1, 5]. La autorización de una instalación de disposición final por el órgano regulador tendría que estar supeditada a la confirmación de que no se prevén migraciones de radionucleidos que puedan sobrepasar los criterios de dosis pertinentes establecidos por dicho órgano. Los niveles de referencia de las concentraciones de radionucleidos en los distintos tipos de medio ambiente que deban someterse a monitorización se tendrían que establecer tomando debidamente en cuenta las restricciones de dosis u otros criterios de dosis pertinentes establecidos por el órgano regulador.

5.45. Por lo tanto, la monitorización después del cierre de una instalación de disposición final de desechos radiactivos ha de perseguir los siguientes objetivos:

- Demostrar el cumplimiento de los niveles de referencia establecidos por el órgano regulador para proteger la salud humana y el medio ambiente;
- Confirmar, en la medida de lo posible, los supuestos pertinentes formulados en la evaluación de la seguridad tecnológica;
- Indicar cualquier fallo en el dispositivo de contención que ocasione emisiones imprevistas de radionucleidos;
- Dar seguridades a las personas que residan cerca de la instalación de disposición final de desechos.

5.46. La monitorización después del cierre de las instalaciones de disposición final de desechos debería realizarse en el marco del programa de control institucional activo. El programa de monitorización debería ser elaborado por la entidad responsable del control institucional y sometido al órgano regulador para su aprobación o revisión, según proceda.

5.47. En principio, después del cierre de una instalación de disposición final de desechos la monitorización debería mantenerse mientras se considere que sigue representando un peligro potencial por tratarse de una posible fuente de emisión de radionucleidos al medio ambiente. El órgano regulador tendría que determinar la duración de la monitorización tomando debidamente en cuenta tanto la desintegración física del contenido de radionucleidos de los desechos como los resultados de la evaluación de la seguridad tecnológica y de la monitorización.

#### *Instalaciones de disposición final de desechos en la superficie o cerca de ella*

5.48. Los programas de monitorización encaminados a confirmar la seguridad tecnológica de una instalación de disposición final deberían abarcar mediciones de los niveles de radiación en el medio ambiente y de las concentraciones de radionucleidos en muestras ambientales, teniendo debidamente en cuenta las orientaciones que figuran en la sección 6. El diseño de esos programas se debería basar en los supuestos, la elaboración de modelos y los resultados de la evaluación de la seguridad tecnológica. También deberían tenerse debidamente en cuenta factores específicos<sup>9</sup> de los emplazamientos (por ejemplo, el clima, la

---

<sup>9</sup> Los datos específicos de los emplazamientos son datos sobre parámetros importantes utilizados en los modelos de evaluación, que se refieren a emplazamientos concretos y se han obtenido con miras a su evaluación. Cuando no se dispone de esos datos específicos pueden utilizarse estimaciones genéricas (valores por defecto) basadas en mediciones efectuadas en otros lugares.

ubicación, las condiciones geológicas y geomorfológicas, el diseño de la instalación y sus barreras, el medio ambiente y la distribución de la población en las inmediaciones del emplazamiento) [24].

5.49. Al igual que en la fase operacional de las instalaciones, en la fase posterior al cierre el muestreo se realiza en tipos de medio ambiente móviles (sobre todo geológicos) y en elementos de la biota por los que los radionucleidos podrían migrar y llegar al hábitat humano e introducirse en el cuerpo de los seres humanos. Se trata del aire de la atmósfera (en el caso de las emisiones de radón procedentes de emplazamientos de disposición final de desechos de extracción y tratamiento del uranio), las aguas del suelo (subterráneas y superficiales), los sedimentos, la biota y los alimentos. La monitorización de las aguas subterráneas debería efectuarse mediante pozos cavados hasta la profundidad necesaria en lugares situados alrededor y aguas abajo de la instalación. En el caso de las aguas superficiales, los sedimentos, la biota y los alimentos, los puntos de monitorización se deberían establecer en función de las posibles vías de migración determinadas en los estudios preoperacionales; la periodicidad del muestreo y las mediciones debería fijarse con miras a garantizar la detección oportuna de cualquier cambio importante en las tasas de emisión y las concentraciones de radionucleidos y en los correspondientes niveles de exposición humana, con arreglo a los objetivos de la monitorización.

5.50. Después del cierre de una instalación de disposición final de desechos pueden variar las características del término fuente (es decir, las vías y los niveles de emisión, así como la composición física y química de los radionucleidos liberados). De manera que, si bien el cierre superficial de la cubierta sellada de una instalación impedirá o reducirá al mínimo la liberación de radionucleidos volátiles en la atmósfera, pueden producirse fugas subsuperficiales a través de las barreras tecnológicas. Esto puede suponer cambios en las posibles vías de exposición humana con respecto a las determinadas en la fase operacional.

5.51. A largo plazo es posible que se produzcan cambios en las condiciones climáticas y ambientales, por ejemplo en los flujos hidrológicos y la composición química de las aguas subterráneas, así como cambios de tipo social, por ejemplo en el uso de la tierra o las tecnologías de producción de alimentos, los cuales, a su vez, pueden determinar cambios sustanciales en las vías y los niveles de exposición humana. Los programas de monitorización posterior al cierre que se apliquen en los alrededores de las instalaciones de disposición final o almacenamiento de desechos deberían revisarse para tener en cuenta cualquier cambio en las condiciones de exposición humana.

5.52. Como se señaló en relación con las otras fases del funcionamiento de las instalaciones abarcadas en la presente guía de seguridad, los niveles de los radionucleidos ambientales en todos los tipos de medio ambiente pertinentes de los alrededores de una instalación de disposición final de desechos cerrada deberían compararse tanto con los datos de monitorización apropiados recogidos durante la fase operacional de la instalación como con los datos preoperacionales para poder determinar si se han producido o es probable que se produzcan cambios o impactos importantes.

5.53. Puesto que en el momento del cierre de las instalaciones de disposición final la actividad de la mayoría de los radionucleidos de período corto se habrá reducido casi por completo, la monitorización tendría que centrarse primero en los de período intermedio y largo para limitarse posteriormente a estos últimos. La monitorización posterior al cierre debería consistir sobre todo en la detección de radionucleidos de los elementos con mayor movilidad, como el óxido de tritio y el  $^{90}\text{Sr}$ . Las concentraciones de estos radionucleidos en muestras ambientales se deberían interpretar desde el punto de vista radiológico y también como una indicación temprana de cualquier pérdida de integridad de la instalación.

5.54. Es posible que para apoyar la verificación de los supuestos formulados en la evaluación de la seguridad tecnológica acerca del período posterior al cierre se necesiten métodos de medición más sensibles. Puesto que no se prevé ninguna migración importante de materiales radiactivos desde la instalación de disposición final, ese apoyo de monitorización consistirá en indicar la ausencia de detección de algunos contaminantes y de cambios estadísticamente significativos en los niveles de otros contaminantes cuya presencia en la zona no se limite a dicha instalación. La monitorización debería diseñarse de manera que un resultado ‘inferior a determinado nivel de actividad o concentración’ se considere suficiente para confirmar la evaluación de la seguridad tecnológica.

5.55. Los datos de monitorización deberían utilizarse para indicar cuándo se justifica la investigación de un posible fallo en el funcionamiento de la instalación de disposición final en lo que se refiere a la protección contra la exposición radiológica y cuándo podría ser necesario aplicar medidas reparadoras. Es posible que la investigación encaminada a determinar la razón de la aparición de valores distintos de los previstos requiera una repetición o ampliación del muestreo. El análisis de las variaciones a largo plazo de las concentraciones de radionucleidos en los tipos de medio ambiente apropiados puede ser de utilidad. La investigación tendría que proseguir hasta que se obtenga una explicación satisfactoria tanto para la entidad responsable como para el órgano regulador. En caso necesario, se debería revisar el programa de

monitorización para ajustarlo a los cambios registrados en las condiciones de emisión y, posiblemente, en las de migración. Los resultados de la evaluación de la seguridad tecnológica, modificada o nueva, y los datos de monitorización deberían tomarse en cuenta al adoptar decisiones acerca de cualquier medida reparadora.

5.56. Muchas de las instalaciones más comunes de disposición final de desechos cerca de la superficie se construyeron y utilizaron durante muchas décadas aplicando unos requisitos de seguridad menos estrictos que los actuales. En algunas de esas instalaciones más antiguas las fugas de radionucleidos con mayor movilidad son más probables que en las instalaciones modernas y es posible que en su caso las actividades de monitorización deban ser más amplias.

5.57. En la fase posterior al cierre de una instalación de disposición final de desechos resulta difícil distinguir entre la monitorización de la fuente y la monitorización del medio ambiente tal como se hace en otras partes de la presente guía de seguridad, excepto en el caso de algunos repositorios muy sofisticados de desechos cerca de la superficie donde se recogen sistemáticamente muestras de los radionucleidos liberados. Por consiguiente, salvo esa excepción, en este contexto no se intentará establecer una distinción entre la monitorización de la fuente y la monitorización del medio ambiente. En el caso de las instalaciones de disposición final cerca de la superficie dotadas de tecnologías modernas el método más sensible para detectar fugas de radionucleidos es la monitorización de los productos de lixiviación recogidos en los desagües subterráneos.

*Un caso especial de instalaciones de disposición final de desechos en la superficie: colas de minerales*

5.58. Antes del cierre de un repositorio de disposición final de desechos en la superficie los cortes de la extracción y el tratamiento de minerales se suelen cubrir con capas de suelo, con otros materiales utilizados como barreras o con agua (presas de residuos), lo cual puede modificar considerablemente las vías de exposición humana y los niveles de exposición con respecto a los de la fase operacional. De esa manera se reduce la resuspensión de partículas, pero la difusión de radón a través de la cubierta sigue siendo importante. En los programas de monitorización posterior al cierre se deberían tomar en cuenta los cambios en las vías y los niveles de exposición humana.

5.59. En este tipo de repositorios de desechos ubicados en la superficie o cerca de ella, que pueden sufrir impactos naturales (por ejemplo, erosión, deslizamiento de tierras y cambios en los cursos de agua superficiales) y antropógenos (por

ejemplo, construcción de obras y perforaciones para la extracción de recursos minerales y de agua) es posible que se produzcan cambios a largo y medio plazo en las condiciones de los desechos, lo cual, a su vez, puede dar lugar a cambios imprevistos en las vías y los niveles de exposición humana con respecto a los de la fase operacional de la instalación. Por ejemplo, la erosión eólica o la infiltración de agua y la consiguiente contaminación de las aguas superficiales y subterráneas pueden aumentar con el tiempo si en la fase posterior al cierre se presta menos atención a la integridad de las barreras. Es más probable que se produzca un deterioro gradual de la seguridad tecnológica de los desechos en instalaciones construidas en el pasado con requisitos de seguridad no tan estrictos como los actuales. En los programas de monitorización posterior al cierre se debería tener en cuenta la modificación de las condiciones en que se encuentren los desechos [25 y 26].

5.60. Además, los programas de monitorización de las instalaciones de disposición final de desechos en la superficie donde existen grandes cantidades de colas de extracción de minerales deberían abarcar la monitorización de materiales peligrosos no radiactivos.

#### *Instalaciones geológicas de disposición final de desechos*

5.61. Teniendo en cuenta el alto grado de fiabilidad de las contenciones previstas en el diseño de las instalaciones geológicas de disposición final de desechos y su inmunidad a las influencias externas naturales y humanas, su seguridad tecnológica a largo plazo no depende de la continuidad del control institucional activo, incluida la monitorización, después del cierre.

5.62. Es posible que después del cierre de una instalación geológica de disposición final se considere apropiado mantener la monitorización del emplazamiento y sus alrededores para demostrar la seguridad radiológica de la población y confirmar la integridad de la instalación. También se puede mantener la vigilancia con arreglo al sistema de salvaguardias nucleares. A fin de facilitar las actividades de monitorización en el futuro se debería transmitir a las siguientes generaciones una amplia base de datos relativos a la monitorización del medio ambiente [27].

5.63. Por el momento la experiencia operacional en materia de instalaciones geológicas de disposición final es limitada y, como probablemente transcurrirán varias décadas antes de que se produzcan cierres de esas instalaciones, cabe prever que entonces podrán elaborarse orientaciones más detalladas acerca del tipo de monitorización ambiental pertinente.

## LA MONITORIZACIÓN EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN DE EMERGENCIA

5.64. En situaciones de exposición de emergencia, según la gravedad del accidente, pueden efectuarse los tres tipos de monitorización radiológica: monitorización de fuentes, monitorización ambiental y monitorización individual. La estrategia general para la monitorización de emergencia debería ser objeto de una planificación preliminar para tener en cuenta tanto la secuencia de necesidades de los asesores, de los encargados de adoptar decisiones y de los respondedores a emergencias como las características geográficas; esta estrategia se debería fijar en función del tipo de decisiones acerca de medidas protectoras y de respuesta que pudieran necesitarse para proteger a la población y a los respondedores o para mitigar las consecuencias de la emergencia.

5.65. La monitorización radiológica de emergencia en el medio ambiente ha de perseguir los siguientes objetivos específicos:

- a) Suministrar datos precisos y oportunos acerca del nivel y el grado de los peligros resultantes de una emergencia radiológica, en particular acerca de los niveles de radiación y de contaminación ambiental con radionucleidos;
- b) Prestar asistencia a los encargados de adoptar decisiones en relación con la necesidad de realizar intervenciones y adoptar medidas protectoras;
- c) Proporcionar información para la protección de los trabajadores de emergencias;
- d) Proporcionar información destinada a la población sobre el grado de peligro;
- e) Proporcionar la información necesaria para identificar a las personas que deban ser sometidas a exámenes médicos a largo plazo.

5.66. En las emergencias, la naturaleza de los datos y requisitos fundamentales del programa de monitorización varían con el tiempo. A efectos de la planificación pueden definirse distintas fases de las emergencias, por referencia a las cuales se asignarán prioridades para la aplicación de medidas de monitorización de emergencia. En el presente contexto esas fases son las siguientes: fase previa a la emisión y fase inicial (emisión), fase posterior a la emisión o fase intermedia, y fase de recuperación o rehabilitación. Estas denominaciones corresponden en gran medida a las que ha definido la CIPR [28].

5.67. El diseño del programa de monitorización y muestreo del medio ambiente dependerá de la escala de la emergencia que deba abordarse. Si bien resulta imposible determinar con antelación la naturaleza y el alcance de una

emergencia, es importante adoptar disposiciones previas destinadas a preparar la respuesta a una variedad de posibles emergencias. Esas disposiciones deberían abarcar las mediciones instrumentales, la toma y el análisis de muestras, la evaluación de dosis, la interpretación de resultados, la comunicación y, si fuera necesaria, la recepción de asistencia de otras organizaciones.

5.68. En la presente guía de seguridad se proporciona orientación relativa a las instalaciones en las que podrían registrarse emergencias causantes de emisiones que justifiquen la aplicación de medidas protectoras fuera del emplazamiento. Se trata de las instalaciones incluidas en las categorías de amenaza I o II tal como se definen en la referencia [3]. En las instalaciones de la categoría I, por ejemplo, las centrales nucleares, podrían producirse emisiones causantes de efectos deterministas graves en la salud fuera del emplazamiento. Las de la categoría II, por ejemplo, los reactores nucleares, podrían dar lugar a emisiones causantes de dosis a personas fuera del emplazamiento que requieran la adopción de medidas protectoras con arreglo a las normas internacionales [2].

5.69. Es probable que durante e inmediatamente después de una emergencia nuclear o radiológica los recursos de monitorización resulten insuficientes; por eso es fundamental velar por que esos recursos se utilicen de la manera más eficaz y efectiva posible hasta que pueda obtenerse asistencia adicional. Desde el primer momento se debería utilizar toda la información meteorológica disponible y todas las predicciones basadas en modelos para determinar la zona geográfica cuya población podría verse afectada por la emisión de materiales radiactivos.

5.70. Los datos de la monitorización de fuentes y la monitorización ambiental se deberían registrar y conservar para utilizarlos durante la emergencia, en las evaluaciones posteriores a la emergencia y en la vigilancia sanitaria y el seguimiento a largo plazo de los trabajadores de emergencias y los miembros de la población que pudieran resultar afectados.

### **Preparación para la monitorización de emergencia**

5.71. A efectos de la planificación deberían determinarse con antelación dos zonas que corresponden aproximadamente a las zonas para las cuales es posible que sea preciso adoptar diferentes tipos de decisiones, basadas en diferentes tipos de datos de monitorización [3]:

- a) La zona de planificación situada alrededor de la instalación donde deben aplicarse medidas protectoras urgentes, para la que, en cumplimiento de las normas internacionales, se hayan adoptado disposiciones relativas a la

aplicación de esas medidas en caso de emergencia nuclear o radiológica para evitar la emisión de dosis fuera del emplazamiento. La decisión de aplicar esas medidas en esta zona debe basarse en la monitorización del medio ambiente o bien en consideraciones relativas a las condiciones en que se encuentre la instalación, según proceda.

- b) La zona de restricción del uso de la tierra para la producción de alimentos y otras actividades agrícolas, en la que es posible que el suelo esté contaminado pero donde sea menos probable que deban adoptarse medidas protectoras urgentes, pero haya que imponer restricciones al consumo de alimentos y de agua, y con mucha probabilidad contramedidas en la agricultura.

5.72. En el caso de las zonas de planificación de emergencia se deberían adoptar disposiciones para evaluar rápidamente cualesquiera contaminaciones, emisiones y dosis radiactivas a fin de determinar o modificar las medidas protectoras aplicables después de una emisión. En esas disposiciones tendría que preverse una monitorización rápida del medio ambiente y de la contaminación de las personas (por ejemplo, de la población evacuada) en las zonas afectadas, así como la existencia de instrumentación adecuada y de personal capacitado.

5.73. Es posible que en un accidente nuclear sea preciso realizar rápidamente la monitorización de una zona extensa. Por esa razón, alrededor de las grandes instalaciones deberían instalarse normalmente estaciones de medición automática para medir de manera continua la tasa de dosis en el medio ambiente y transmitirla a un centro de emergencia a efectos de vigilancia temprana y seguimiento del penacho. Sería conveniente que esas estaciones también pudieran medir las concentraciones de partículas suspendidas en el aire, el yodo gaseoso y otros radionucleidos que revistan particular importancia. Por ejemplo, si una instalación puede contener grandes cantidades de tritio sería oportuno que se instalara algún dispositivo especial para medir ese elemento.

5.74. Debería elaborarse un mapa donde se indicaran los puntos de muestreo preseleccionados. La modelización informática de la dispersión del penacho radiactivo con el término fuente, junto con la consideración de las condiciones meteorológicas y de otros factores pertinentes, puede ser útil para aclarar las prioridades de monitorización. Se debería asignar prioridad a la monitorización de las zonas pobladas donde, según las proyecciones, haya más probabilidades de contaminación. Sin embargo, los encargados de las evaluaciones y la gestión deberían tener presentes las incertidumbres inherentes a las proyecciones de dosis, estar preparados para encontrar discrepancias entre los resultados obtenidos con modelos informáticos diferentes y no basarse únicamente en estas

proyecciones para adoptar decisiones acerca de la aplicación de medidas protectoras.

5.75. Sería conveniente que se adoptaran disposiciones para determinar la presencia de radionucleidos causantes de emisiones gamma, beta y alfa, y se indicasen las zonas en las que deberían aplicarse medidas protectoras y contramedidas.

5.76. A fin de controlar la propagación de la contaminación, se deberían adoptar disposiciones para monitorizar en las zonas de planificación de emergencia los niveles de contaminación de los vehículos, el personal y los bienes a la entrada y a la salida de los sectores contaminados. Esto debería abarcar el establecimiento de los criterios operacionales que deban seguirse en caso de que los resultados de la monitorización indiquen la necesidad de realizar actividades de descontaminación o aplicar controles en cumplimiento de las normas internacionales [2, 3].

5.77. También sería preciso adoptar disposiciones para evaluar rápidamente los resultados de la monitorización ambiental e individual con miras a la puesta en marcha de medidas protectoras destinadas a los trabajadores de emergencias y a la población. Estas disposiciones deberían abarcar la aplicación de los NIO por omisión, de manera que cuando se sobrepase uno de estos niveles operacionales las actividades de intervención se inicien, en lo posible, automáticamente. Normalmente, sería preciso definir NIO específicos para los distintos emplazamientos o incluso para las distintas emergencias. En la referencia [10] figura un ejemplo útil de los procedimientos de evaluación que han de aplicarse en caso de que se produzca un accidente en un reactor; el mismo método general podría adaptarse para otros tipos de instalación.

5.78. En relación con la preparación para casos de emergencia se deberían tener en cuenta los efectos de una emisión prolongada de radionucleidos y de la congestión de los recursos de monitorización locales. Por lo tanto, en el proceso de planificación sería conveniente prever la ayuda de otras organizaciones, si fuera necesaria.

5.79. Se deberían analizar los datos de la monitorización ambiental para elaborar información de apoyo a la adopción eficaz de decisiones (por ejemplo, mediante la preparación de mapas). Los resultados de monitorización y análisis ambientales de las distintas organizaciones (tanto en la instalación como a nivel local, nacional e internacional) deberían presentarse en un formato comparable.

5.80. Para los casos de accidente muy grave se debería prever el establecimiento de un centro de monitorización y evaluación encargado de coordinar las intervenciones de todos los grupos que realicen ese tipo de actividades. Sería conveniente evaluar la eficacia de estas disposiciones mediante ejercicios de simulación de situaciones que requieran actividades de respuesta.

### **La monitorización de fuentes durante una emergencia**

5.81. El principal objetivo de la monitorización de fuentes en condiciones de emergencia consiste en determinar la magnitud de las emisiones que podrían registrarse, que se estén registrando o que se hayan registrado. Esos datos, junto con los datos meteorológicos y los resultados de los modelos predictivos de evaluación de dosis, suelen ser la información de primera línea con que cuentan las autoridades de intervención.

5.82. Cuando cabe la posibilidad de que en una instalación se produzca un accidente que pueda ocasionar dosis superiores a los límites de intervención, el explotador y las autoridades de intervención deberían prepararse para actuar de inmediato sobre la base de mediciones y predicciones tempranas. Si las disposiciones en materia de preparación para emergencias se aplican correctamente, las respuestas deberían ser automáticas y estar basadas en un programa de monitorización de fuentes con un diseño adecuado.

5.83. Podrían producirse algunas emisiones accidentales en chimeneas u otros puntos de descarga diseñados para las operaciones normales. Por consiguiente, en todas las chimeneas y todos los puntos de descarga líquida debería instalarse un sistema de monitorización continua o por lotes con un rango dinámico adecuado para definir las emisiones. En el caso de estas rutas previsibles de emisión al medio ambiente (en la atmósfera y en el agua) sería preciso elaborar con antelación métodos de evaluación de emisiones en condiciones de emergencia.

5.84. Una vez que se ha producido una emisión esa información debería recuperarse cuanto antes para utilizarla junto con los datos meteorológicos y los modelos de predicción de dosis con objeto de definir las zonas geográficas afectadas y elaborar estimaciones preliminares de las dosis proyectadas. Sin embargo, siempre hay que tener presente la posibilidad de que se hayan producido otras emisiones debidas a fugas en los edificios o en lugares no destinados a la descarga de radionucleidos.

5.85. Si una emisión se produce por un medio no previsto, por ejemplo, una explosión, es posible que no existan datos de monitorización adecuados para definirla. En tal caso, sólo es posible inferirla sobre la base de los materiales radiactivos que podrían haberse liberado. Si la emisión continuase, sería conveniente tratar de medir la tasa de liberación.

5.86. En situaciones de emergencia en las que se puedan determinar los lugares de emisión potencial o real deberían utilizarse medidas instrumentales para definir con la mayor precisión posible los campos de radiación relacionados con fuentes que hayan aparecido a raíz de la emergencia. En la mayoría de los casos esto supondría la utilización de instrumentos de reconocimiento beta-gamma. Sin embargo, convendría velar por que los tipos de instrumentos disponibles para las mediciones sean los adecuados. Por ejemplo, si las emisiones fueran de tritio o de plutonio, esos instrumentos de uso corriente no resultarían idóneos y habría que aplicar instrumentos y/o técnicas de monitorización especiales.

5.87. Las personas encargadas de la monitorización, el muestreo y las evaluaciones durante una emergencia deberían considerarse trabajadores de emergencias y estar sujetas a los requisitos establecidos para ese personal en las referencias [2 y 3]. Se tendrían que adoptar medidas para la evaluación permanente y el registro de las dosis que reciban estos trabajadores.

5.88. En caso de que durante una emergencia se intente monitorizar la fuente, el personal que intervenga debería estar equipado con dosímetros de lectura directa apropiados. Además, todas las personas deberían conocer perfectamente la dosis de retirada para los trabajadores de emergencias definidas para el emplazamiento, es decir, la dosis en presencia de la cual el trabajador ya no debería seguir tratando de realizar mediciones o de aplicar medidas reparadoras (salvo tal vez para salvar vidas humanas) sino simplemente retirarse y evitar la acumulación de dosis potencialmente nocivas. Estas dosis límite deberían definirse tomando debidamente en cuenta todas las rutas de exposición (por ejemplo, la inhalación) y estar en consonancia con las orientaciones internacionales [2].

5.89. En un accidente en gran escala, con emisiones desde un punto en que no existan dispositivos de medición, o al que los trabajadores de emergencias no puedan acceder sin sobrepasar la dosis de retirada, es posible que una monitorización adecuada de la fuente resulte inviable. Como mínimo deberían determinarse curvas de isodosis o de tasas de dosis alrededor del punto de emisión, si bien esto sólo puede efectuarse desde fuera de la instalación.

## **Monitorización del medio ambiente durante una emergencia**

5.90. La monitorización del medio ambiente suele ser la que aporta más datos en condiciones de emergencia. En teoría, los datos de la monitorización de fuentes podrían ser de más utilidad, pero en la práctica cuando sucede una emergencia se pierde la capacidad de realizar una monitorización de fuentes que produzca resultados importantes.

5.91. Al establecer prioridades en materia de monitorización (y muestreo) ambiental se deberían tomar en cuenta las características de la zona, es decir, si se trata de una zona residencial, agrícola, rural o comercial, y si en ella hay actividades industriales, servicios públicos y elementos de infraestructura.

5.92. En la fase inicial de la respuesta de emergencia la determinación de las zonas afectadas con mayor contaminación debería ser más importante que los análisis cuantitativos, sobre todo cuando los recursos de respuesta son limitados. En este contexto, las zonas que se consideran más contaminadas son aquellas en las que los niveles de radiación coinciden como mínimo con los niveles que requieren intervenciones para evitar la posible exposición nociva inmediata de las personas.

5.93. Las primeras mediciones deberían practicarse, necesariamente, con instrumentos simples que permitan determinar sin dilación la naturaleza de la emergencia. Algunos de los lugares de medición deberían definirse con antelación sobre la base de las previsiones acerca de los sitios donde podría registrarse el mayor impacto. La zona que deba someterse a monitorización variará según la escala de la emergencia, pero debería abarcar todos los lugares donde quepa la posibilidad de que sea preciso realizar intervenciones. A fin de que las intervenciones necesarias puedan llevarse a cabo rápidamente, el proceso de preparación para emergencias debería formularse teniendo en cuenta los criterios de interpretación de esas mediciones simples específicos tanto del emplazamiento como de la posible emergencia. Así pues, para determinada combinación específica de radionucleidos en una situación de emergencia, una tasa de dosis medida en el aire puede interpretarse como probables dosis integradas a miembros de la población expuestos a esa cantidad de radiación. Esto debe calcularse con antelación para que cualquier intervención necesaria se pueda realizar sobre la base de una comparación de las mediciones simples con los NIO específicamente definidos para el emplazamiento y/o para la emergencia de que se trate.

5.94. En la fase inicial de un accidente muy grave que provoque contaminación atmosférica las actividades de monitorización y muestreo del medio ambiente deben responder a las siguientes prioridades:

- a) Realizar rápidamente medidas de tasas de dosis gamma externas en el aire encima de las zonas pertinentes para determinar si se ha sobrepasado algún NIO establecido con antelación. Estas mediciones se deberían repetir con frecuencia, al menos cada hora, en los lugares donde es posible que tengan que aplicarse medidas de intervención, y sería conveniente tomar debidamente en cuenta los datos meteorológicos y la retroinformación derivada de reconocimientos anteriores. En el caso de los grandes establecimientos donde cabría la posibilidad de que se produjeran accidentes graves, tal vez sería viable determinar con antelación los lugares en que podrían depositarse cantidades sustanciales de radionucleidos y adoptar disposiciones para realizar esas mediciones desde un avión.
- b) Tomar muestras en el penacho durante una emisión para medir las concentraciones y composiciones de radionucleidos y obtener los datos necesarios para evaluar los peligros de inhalación. Con independencia de que puedan realizarse esas medidas, también se debería efectuar la medición simple de la tasa de dosis externa en el aire. Sería conveniente adoptar disposiciones para analizar con rapidez estas muestras a fin de poder ajustar tanto los NIO por omisión como la dosis de retirada de los trabajadores de emergencias.
- c) Tan pronto como se ponga fin a la emisión y la deposición, realizar mediciones de la tasa de dosis externa en el aire atribuible a la deposición sobre el suelo para detectar lugares donde se hayan sobrepasado los NIO relacionados con la evacuación, la reubicación o las restricciones al consumo de alimentos. En la zona de deposición también debería aplicarse la espectrometría gamma. Esto permitiría determinar cuáles radionucleidos emisores gamma se han liberado en esa zona, mientras que la medición simultánea de la tasa de dosis gamma externa en el aire permitiría estimar la densidad de las deposiciones de los distintos radionucleidos en los lugares acerca de los cuales sólo se disponga de las mediciones simples de la tasa de dosis gamma externa en el aire.
- d) Indicar algunos lugares donde pueda efectuarse un registro continuo de la tasa de dosis gamma externa en el aire. Esto sería útil para elaborar sucesivas proyecciones de dosis y redefinir los NIO, si procede.
- e) Tomar muestras del suelo al final de la emisión o después del paso del penacho para medir las concentraciones de radionucleidos a fin de asignar valores de deposición en el suelo que complementen los valores de deposición determinados por espectrometría gamma sobre el terreno. En

caso de que con esta técnica no se pudieran detectar todos los radionucleidos liberados, las muestras deberían procesarse con miras a la detección de emisores beta puros (por ejemplo,  $^{90}\text{Sr}$ ) y emisores alfa puros (por ejemplo,  $^{239}\text{Pu}$ ).

- f) Tomar muestras de agua, leche y alimentos contaminados después de la emisión o del paso del penacho; las mediciones de radionucleidos aportan los datos necesarios para determinar los alimentos que deben estar sujetos a restricciones y los que tal vez habría que destruir.

### *La monitorización en la fase anterior a la emisión y en la fase de emisión*

5.95. Si al parecer hay posibilidades de que se produzcan emisiones, aunque no se haya registrado ninguna, se debería asignar prioridad a la obtención tanto de información sobre la probable composición de los materiales que podrían emitirse como de datos meteorológicos (por ejemplo, la velocidad y dirección del viento, y las precipitaciones) que podrían indicar las posibles zonas de contaminación. Según los radionucleidos que podrían emitirse, sería conveniente verificar si se dispone de instrumentos de medición idóneos.

5.96. En la fase anterior a la emisión sería conveniente formar los grupos de monitorización y desplegarlos en las zonas pobladas. Si la emisión proyectada es de gran magnitud, se deberían ensayar los mecanismos establecidos para solicitar la asistencia de otras organizaciones.

5.97. Si la instalación dispone de un avión equipado con instrumentos, o hay otra instalación que pueda cedérselo, se deberían aplicar disposiciones para utilizarlo como plataforma en la atmósfera para recibir directamente datos relativos a la tasa de dosis gamma en el penacho y, de ser posible, tomar muestras de los materiales emitidos. Las muestras suelen obtenerse inyectando aire a través de un material filtrante, por ejemplo, la fibra de vidrio. Sin embargo, si se considera que en el penacho puede haber radionucleidos que los filtros de fibra de vidrio no pueden retener bien, sería necesario disponer de dispositivos de muestreo especiales. Por ejemplo, para recoger muestras de yodo radiactivo los filtros de fibra de vidrio podrían reforzarse con filtros de carbón activado; las muestras de tritio se pueden obtener con otros dispositivos especiales.

5.98. Las mediciones más útiles una vez que se ha producido la emisión suelen ser las de las tasas de dosis gamma externas en el penacho y en el aire ocasionadas por la deposición de radionucleidos sobre el suelo. Estos tipos de mediciones pueden realizarse con más facilidad y rapidez desde plataformas aéreas. Si no se dispone de ese equipo, las mediciones pueden hacerse sobre el

terreno y estar a cargo de grupos que utilicen los habituales detectores beta-gamma. Uno de los primeros objetivos debería consistir en determinar si se han sobrepasado los NIO y, en tal caso, dónde habría que aplicar medidas protectoras.

5.99. Los NIO deberían establecerse con antelación para que sobre la base de las mediciones de las tasas de dosis se pueda indicar de inmediato la intervención que es preciso efectuar. En algunos tipos de accidentes la presencia de radionucleidos de período corto puede ser muy importante en relación con las dosis iniciales a los miembros de la población. Al estudiar una posible intervención sería preciso tener en cuenta estas dosis iniciales provocadas por radionucleidos de período corto.

5.100. Sería conveniente recoger muestras de pastos y de leche, así como de otros alimentos, y efectuar mediciones para evaluar la exposición de la población y con miras a la realización de intervenciones, como la imposición de restricciones relacionadas con los alimentos. La leche reviste particular importancia en caso de accidente en un reactor o un accidente de criticidad porque estos sucesos van acompañados de emisiones de yodo radiactivo. En las Normas básicas de seguridad [2] se indican los niveles de intervención recomendados con respecto a la presencia de radionucleidos en los alimentos. Si se considera que han podido producirse emisiones de tritio, sería conveniente efectuar mediciones para determinar la presencia de ese elemento en la vegetación de pastoreo.

5.101. Según la naturaleza de la emisión, una vez que ésta termine puede resultar oportuno instalar dispositivos de recogida de muestras de aire sobre el terreno para monitorizar la posible presencia de precipitación radiactiva y de radionucleidos resuspendidos. Por lo general, la resuspensión de radionucleidos no ocasiona una vía de exposición importante, aunque puede crearla en el caso del plutonio o de otros actínidos.

#### *La monitorización en la fase posterior a la emisión*

5.102. Una vez que ha terminado la emisión y se han estabilizado los niveles de deposición es posible obtener rápidamente información adicional mediante espectrometría gamma sobre el terreno (véase el párr. 5.94c)). Esta técnica permite determinar las densidades de deposición de todos los radionucleidos emisores gamma; posteriormente, esa información puede utilizarse para proyectar las dosis externas integradas a la población afectada. Si fuere necesario, se puede utilizar información más detallada para derivar NIO revisados que reflejen un mejor conocimiento de la situación. Para una aplicación correcta de la

espectrometría gamma sobre el terreno se requieren actividades previas de preparación, así como una amplia labor de calibración de los instrumentos utilizados [11]. La información que puede obtenerse resulta muy útil para determinar cualquier otra medida que sea preciso adoptar ulteriormente.

5.103. Los resultados de la espectrometría gamma sobre el terreno deberían complementarse cuanto antes con la toma de muestras de suelo representativas en zonas especificadas y medidas con precisión. Los resultados así obtenidos pueden utilizarse para confirmar los de la espectrometría gamma, pero sobre todo esas muestras se deberían analizar para determinar cualquier posible deposición de radionucleidos (es decir, emisores alfa o beta puros) que no haya podido medirse con esa técnica.

5.104. Después de determinar la situación inmediata y una vez realizadas las intervenciones necesarias, deberían establecerse programas de muestreo para establecer si es preciso llevar a cabo intervenciones a más largo plazo, como reubicaciones temporales o restricciones relacionadas con los alimentos. Las hortalizas, otros productos agrícolas, el agua potable y la leche de las centrales lecheras locales deben compararse utilizando los NIO como valores de referencia. El alcance y la naturaleza de esos programas de muestreo dependerán del alcance y la escala de las emisiones y de las características demográficas de la zona, incluidas las actividades agrícolas y la distribución de la población.

5.105. Los miembros de la población deberían recibir con prontitud información sobre los resultados de la monitorización ambiental y de otras actividades relacionadas directamente con ellos, así como con sus viviendas, comunidades o lugares de trabajo, junto con interpretaciones de esos resultados desde el punto de vista de los riesgos para la salud, asesoramiento sobre medidas protectoras y otros datos pertinentes.

### **La monitorización individual**

5.106. Las actividades de monitorización de la fuente y del medio ambiente deberían ir acompañadas de una monitorización individual para determinar si es preciso aplicar medidas de descontaminación o de seguimiento médico de las personas en las zonas de emergencia.

5.107. La monitorización individual abarca mediciones de dosis externas con dosímetros distribuidos a los miembros de la población y/o mediciones de la actividad de radionucleidos en su cuerpo, en determinados órganos o en las excretas. Para evaluar las dosis es preciso combinar el uso de los datos de las

mediciones individuales con la elaboración de modelos. Puesto que estas mediciones resultan costosas y difíciles de realizar, suelen limitarse a una parte seleccionada de la población expuesta, con especial hincapié en los grupos críticos.

5.108. En el caso de emergencias que entrañan emisiones atmosféricas, la pronta evaluación de la contaminación externa de las personas con radionucleidos podría ser útil para realizar un primer cribado y determinar si algunas requieren una vigilancia más estricta (por ejemplo, mediante dosimetría interna o exploración médica).

5.109. Las mediciones individuales se practican raramente en el contexto de la monitorización de la población y es posible que sean pertinentes sobre todo cuando se trata de emergencias muy graves en las que determinados individuos resultan expuestos a niveles de dosis como mínimo equivalentes a los niveles de intervención. En estos casos se pueden ejecutar programas especiales de monitorización individual con fines científicos, como la validación de modelos, o para suministrar datos dosimétricos destinados a futuros estudios epidemiológicos, o bien para proporcionar información destinada a dar seguridades a la población.

#### *Exposición externa*

5.110. Después de una emergencia nuclear o radiológica muy grave deberían medirse, con dosímetros individuales, las dosis gamma externas individuales a los trabajadores de emergencias y a los miembros de la población. Sería conveniente distribuir estos dosímetros a los miembros de los grupos de población más expuestos, quienes tendrían que llevarlos consigo durante el período de tiempo establecido a tal efecto.

5.111. Durante las emergencias se debería hacer especial hincapié en la protección de los propios trabajadores que intervienen en ellas. A cada uno se le debería entregar un dosímetro de lectura directa apropiado, que en condiciones de exposición elevada convendría controlar regularmente.

5.112. En el caso de accidentes radiológicos con emisión de radionucleidos al medio ambiente los miembros de la población profesionalmente más expuestos son los que trabajan sobre todo al aire libre (por ejemplo, en la agricultura y la silvicultura). Sería conveniente que en general se asignase prioridad a la monitorización individual de las dosis a esas personas; la sensibilidad de los dosímetros y el período de tiempo en que deban llevarlos las personas deberían

corresponder a las dosis proyectadas y a los objetivos específicos de la monitorización individual. La monitorización individual de la exposición externa de los miembros de la población es técnicamente viable si las tasas de dosis externas debidas a la contaminación radiactiva o a la pérdida de blindaje sobrepasan sustancialmente a las causadas por el nivel de radiación de fondo natural.

5.113. Los resultados de la medición selectiva de las dosis externas individuales se deberían utilizar tanto para validar los modelos dosimétricos aplicados como para establecer los niveles de exposición del grupo crítico. Las dosis externas individuales determinadas para períodos de tiempo anteriores al comienzo de la monitorización individual tendrían que evaluarse tomando debidamente en cuenta la dinámica de las tasas de dosis durante la fase inicial del accidente.

#### *Exposición interna*

5.114. Deberían utilizarse contadores de la radiactividad corporal transportables o fijos para medir el contenido de radionucleidos distribuidos en el cuerpo humano tanto por inhalación como por ingestión a raíz de una emisión radiactiva producida en una emergencia. El contenido de radionucleidos concentrados en órganos y tejidos específicos (por ejemplo,  $^{131}\text{I}$  en la glándula tiroidea y radionucleidos de baja solubilidad en los pulmones) debería medirse con detectores de radiación gamma colimados. Sería conveniente utilizar equipo de espectrometría para realizar mediciones en individuos en condiciones de emergencia, sobre todo durante la fase inicial de un accidente nuclear. En una monitorización en gran escala se pueden emplear métodos simplificados para realizar mediciones directas del contenido de  $^{131}\text{I}$  en la glándula tiroidea o de  $^{134}\text{Cs}$  y  $^{137}\text{Cs}$  en todo el cuerpo con técnicas distintas de la espectrometría [29].

5.115. Junto con la medición directa del contenido de radionucleidos en el cuerpo se pueden utilizar análisis radiométricos de muestras de excretas, sobre todo orina y materias fecales, para monitorizar la exposición interna de los individuos. Este método indirecto debería aplicarse en caso de contaminación accidental del medio ambiente con radionucleidos emisores de radiaciones beta y alfa, pero sin emisión significativa de radiaciones gamma.

5.116. Sería conveniente realizar una monitorización de diferentes grupos de edad, incluidos niños y adolescentes, porque en el caso de algunos radionucleidos los parámetros metabólicos varían significativamente según la edad de las personas. En los accidentes radiológicos con emisión de radionucleidos al medio ambiente los grupos sociales más expuestos son los de las personas que trabajan

al aire libre (en cuanto a la inhalación) y/o que consumen productos alimenticios locales (en cuanto a la ingestión).

5.117. Los resultados de las mediciones selectivas de los individuos para determinar el contenido de radionucleidos en el cuerpo se deberían utilizar tanto para validar los modelos dosimétricos aplicados como para establecer los niveles de exposición del grupo crítico. Las dosis internas individuales tendrían que evaluarse sobre la base de los datos aportados por las mediciones y la elaboración de modelos, tomando en cuenta la dinámica de las ingestas y las propiedades metabólicas en relación con los radionucleidos de que se trate [30 y 31].

### LA MONITORIZACIÓN EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN CRÓNICA (PROLONGADA)

5.118. Los emplazamientos con residuos radiactivos de período largo pueden ser zonas exteriores con niveles más altos de radionucleidos naturales procedentes de cadenas de desintegración del uranio y del torio como resultado de actividades industriales pasadas y zonas exteriores contaminadas con radionucleidos artificiales ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , isótopos del plutonio y otros radionucleidos) como resultado de accidentes radiológicos y/o emisiones radiactivas pasadas. Esos emplazamientos se someten a monitorización ambiental y a veces a monitorización individual. El objetivo final de la monitorización radiológica de los emplazamientos contaminados con radionucleidos naturales o artificiales consiste en apoyar la toma de decisiones acerca de la aplicación de medidas reparadoras (intervenciones).

5.119. A continuación se indican los objetivos específicos de la monitorización de emplazamientos contaminados con radionucleidos de período largo:

- a) Determinar si los niveles de radiación corresponden a los criterios radiológicos y señalar las zonas donde es preciso realizar una monitorización detallada;
- b) Indicar las zonas cuyas condiciones radiológicas justifican la aplicación de medidas reparadoras;
- c) Suministrar información para estimar las dosis reales o prospectivas a los miembros del grupo crítico y de grupos de población más numerosos;
- d) Detectar cambios y evaluar las tendencias a largo plazo en los niveles de radiación ambiental como resultado de procesos naturales y actividades humanas, con inclusión de las medidas reparadoras;
- e) Suministrar información destinada a dar seguridades a la población.

5.120. Tanto la necesidad de establecer un programa de monitorización ambiental como el alcance que ha de tener ese programa dependen ante todo de la importancia de las dosis previstas a los miembros del grupo crítico (véanse los párrs. 2.15 a 2.24). La monitorización debería abarcar los tipos de medio ambiente pertinentes en relación con las vías de exposición humana y los que son sensibles a la aparición de cambios en las condiciones radiológicas. Las características de esa monitorización dependen de los radionucleidos de que se trate, de la composición física y química de la contaminación radiactiva en el emplazamiento, del medio que contenga los radionucleidos (por ejemplo, el suelo o una masa de agua) y de las prácticas en materia de uso de la tierra y del agua. El programa de monitorización debería abarcar la medición tanto de los niveles de radiación externa como de las concentraciones de radionucleidos en los tipos de medio ambiente y productos alimenticios pertinentes. Sería conveniente que al seleccionar los lugares de medición y toma de muestras se tuviesen en cuenta los aspectos específicos del emplazamiento para poder evaluar las dosis de radiación más elevadas al grupo expuesto.

5.121. Con arreglo a los objetivos mencionados, la monitorización debería iniciarse en las zonas donde se considere más probable una contaminación con radionucleidos de período largo. La finalidad de esta fase inicial (cribado) consiste en determinar si puede justificarse una intervención y si es preciso ampliar la monitorización. En caso de que los resultados indiquen que, con arreglo a los niveles de intervención y actuación establecidos por las autoridades nacionales, podría ser necesario aplicar medidas reparadoras, debería llevarse a cabo una monitorización detallada para apoyar la adopción de medidas pertinentes. Para evaluar la eficacia de esas medidas sería conveniente mantener la monitorización durante y después de su aplicación.

5.122. En los casos en que es improbable que las condiciones radiológicas causadas por radionucleidos de período largo registren cambios rápidos, la monitorización sólo debería realizarse con períodos muy espaciados (por ejemplo, una vez al año o incluso dejando pasar varios años).

### **Exposición externa**

5.123. Para monitorizar la exposición humana causada por fuentes externas de radiación gamma deberían realizarse mediciones de las tasas de dosis en el aire en los lugares a los que tenga acceso la población. La contribución de la contaminación radiactiva a las dosis efectivas en el emplazamiento se debería evaluar calculando las tasas de dosis de fondo para descontarlas de los datos de las mediciones. En el caso de las zonas donde se observe una contaminación

uniforme con radionucleidos, sería conveniente establecer el promedio zonal de los datos de las mediciones relativos a las tasas de dosis. Los resultados de las mediciones de las tasas de dosis tendrían que utilizarse para evaluar las dosis basándose en modelos dosimétricos apropiados. Con arreglo a los objetivos específicos de la monitorización, en estos modelos se pueden tomar en cuenta las ocupaciones de los diferentes grupos de población en zonas urbanas típicas y en sus alrededores.

5.124. A efectos del cribado, en los casos de contaminación radiactiva del medio ambiente en gran escala las tasas de dosis suelen medirse sobre suelo no perturbado; para evaluar las dosis al grupo crítico deberían utilizarse modelos simples y conservadores sin tener en cuenta eventuales reducciones de las tasas de dosis en zonas urbanas o relacionadas con actividades laborales en locales cerrados.

5.125. Cuando se lleva a cabo una monitorización detallada de los campos de radiación externa en zonas habitadas deberían medirse las tasas de dosis en zonas típicas a las que tenga acceso la población: viviendas, edificios públicos, zonas de producción, jardines y lugares de recreación (playas, parques, etc.). Para evaluar las dosis externas al grupo crítico y a grupos de población más numerosos se deberían utilizar modelos que tuvieran en cuenta los radionucleidos cuya distribución en la zona sometida a monitorización no sea uniforme, así como las reducciones estacionales de la tasa de dosis debido al manto de nieve, la reducción de las tasas de dosis en las zonas urbanas y los horarios de trabajo típicos de los miembros del grupo crítico tanto en locales cerrados como al aire libre.

5.126. En las zonas donde el nivel de contaminación con radionucleidos es importante, la medición de la exposición externa de los grupos críticos puede efectuarse distribuyendo a los miembros de esos grupos dosímetros de radiación gamma individuales para que los lleven consigo durante varios días o semanas. Los resultados de las mediciones individuales deberían servir principalmente para validar los modelos utilizados en la evaluación de las dosis externas.

### **Exposición interna**

5.127. Los datos sobre concentraciones de radionucleidos en muestras ambientales, agua potable y productos alimenticios podrían utilizarse para evaluar las dosis internas a miembros del grupo crítico y de grupos de población más numerosos provocadas por inhalación y/o ingestión de radionucleidos. En la fase inicial de la monitorización específica del emplazamiento sería preciso determinar las principales vías de exposición humana interna. Debido a la

complejidad de la migración de los radionucleidos en el medio ambiente, en la fase de cribado posterior a las emisiones en la atmósfera y en el agua se tendrían que investigar las diferentes vías de exposición.

5.128. En las zonas no pavimentadas, los radionucleidos de período largo penetran gradualmente en el suelo, lo cual evita su resuspensión en el aire. Por consiguiente, a largo plazo se deberían recoger y analizar periódicamente muestras de radionucleidos en suspensión en el aire, sobre todo en las zonas habitadas contaminadas con plutonio y otros actínidos.

5.129. Para formular predicciones acerca de la presencia de radionucleidos en la biota, sobre todo en los alimentos, sería conveniente llevar a cabo una monitorización periódica de su acumulación en el suelo y en los sedimentos. En caso de contaminación radiactiva de zonas extensas con radioisótopos de elementos móviles (por ejemplo, cesio, estroncio, radio y uranio), se deberían tomar y analizar regularmente muestras para determinar las concentraciones de radionucleidos en el agua potable y en los principales tipos de alimentos: productos agrícolas de origen vegetal y animal, y alimentos naturales (como pescados de agua dulce, caza, setas y bayas). Convendría hacer hincapié en la monitorización de la contaminación radiactiva tanto de los productos alimenticios que algunas poblaciones consumen en grandes cantidades como de aquellos en los que las concentraciones de radionucleidos son elevadas. En las zonas rurales se suelen tomar muestras de productos alimenticios de origen local; en las ciudades y otros centros urbanos también se deberían recoger muestras de esos productos en mercados, tiendas y establecimientos públicos de comidas.

5.130. En algunas zonas con suelos arenosos u orgánicos pobres (por ejemplo, tierras arboladas y zonas árticas o tropicales) la transferencia de radionucleidos del suelo a las plantas y los animales es considerablemente mayor. Esto provoca un aumento de la exposición interna de la población local, que debería tenerse en cuenta en los programas de monitorización.

5.131. Las dosis internas al grupo crítico y a grupos de población más numerosos tendrían que evaluarse mediante los modelos relativos a la inhalación de radionucleidos en suspensión en el aire y la ingestión de agua y alimentos contaminados, sobre la base de raciones típicas o bien específicas del emplazamiento de que se trate. Para evaluar las dosis a los grupos críticos los programas de monitorización deberían aplicar en su fase de cribado modelos simplificados que no tuvieran en cuenta las eventuales importaciones de alimentos no contaminados o las pérdidas culinarias de radionucleidos. La influencia de estos procesos en las dosis internas puede abordarse en la

monitorización detallada y en la evaluación de las dosis al grupo crítico y a grupos de población más numerosos.

5.132. En las zonas donde la contaminación con radionucleidos es considerable o donde se observan tasas elevadas de transferencia de radionucleidos del suelo a la biota, pueden aplicarse técnicas de medición corporal para determinar la carga en el cuerpo humano y evaluar las dosis causadas por la exposición interna de los miembros del grupo crítico. Al evaluar las dosis anuales sobre la base de determinadas mediciones corporales se deberían tener en cuenta las variaciones estacionales del contenido de radionucleidos en el cuerpo humano. Los resultados de las mediciones individuales tendrían que servir principalmente para validar los modelos utilizados en la evaluación de las dosis internas.

## PROGRAMAS DE MONITORIZACIÓN DE APOYO

5.133. Además de las mediciones de los niveles de radiación y de contaminación, los programas de monitorización deberían abarcar otros tipos de mediciones y actividades de reunión de datos, como la monitorización general del medio ambiente y la monitorización de las características de la población.

5.134. Tanto en los estudios preoperacionales como durante la fase operacional de la instalación sería conveniente monitorizar las condiciones climáticas (velocidad y dirección del viento, estabilidad de la capa de mezcla atmosférica, estadísticas pluviales, temperatura y humedad).

5.135. En los estudios preoperacionales y en la fase operacional también se debería llevar a cabo una monitorización de las características hidrológicas de los ríos (por ejemplo, las variaciones de los flujos de agua y las características de la mezcla efluente) que reciben efluentes líquidos. En el caso de los vertidos en aguas lacustres o marinas, las características hidrodinámicas (por ejemplo, de las corrientes de agua, las características y corrientes de las mareas, y las características de la circulación general, la evolución de la termoclina y las condiciones de mezcla) del medio acuático se deberían monitorizar en los estudios preoperacionales y verificar periódicamente en la fase operacional. Los estudios preoperacionales tendrían que abarcar también la monitorización de la hidrología local y de los suelos, así como los rasgos topográficos que puedan influir en la dispersión de los efluentes en la atmósfera. En situaciones de dispersión compleja puede ser conveniente realizar estudios con trazadores.

5.136. La distribución y las características (en particular, la distribución por edades) de la población que reside cerca de la instalación, así como sus ocupaciones y hábitos, con inclusión de las tasas de consumo y los orígenes de los alimentos, y las actividades y el tiempo que se les dedica, se deberían monitorizar en los estudios preoperacionales y verificar periódicamente en la fase operacional. Sería conveniente realizar periódicamente investigaciones sobre los hábitos de la población que reside en las cercanías de fuentes importantes. Las características de la agricultura y la acuicultura (con inclusión de las especies pertinentes y de los hábitos y prácticas agrícolas), así como las de la horticultura, se deberían monitorizar en los estudios preoperacionales y verificar periódicamente en la fase operacional. Sería conveniente llevar a cabo una monitorización del uso del agua de los ríos cerca de la fuente y aguas abajo hasta donde se considere que pueda haber una contaminación importante.

5.137. En las emergencias, el conocimiento de las condiciones climatológicas e hidrológicas es fundamental para formular predicciones o explicaciones acerca de la dispersión de los radionucleidos emitidos. En el caso de las emisiones en suspensión en la atmósfera se debería monitorizar la velocidad y dirección del viento, la estabilidad de la capa de mezcla atmosférica, y la magnitud y extensión de las precipitaciones que pudieran registrarse. Cuando se liberen radionucleidos en la atmósfera o en masas de aguas superficiales debería llevarse a cabo una monitorización de las características hidrológicas de los ríos y los lagos. Sería conveniente conocer y registrar los datos obtenidos en monitorizaciones anteriores acerca de las características y la distribución (en particular, la distribución por edades) de la población que reside cerca de la instalación.

5.138. Los programas de monitorización de apoyo para los emplazamientos contaminados con radionucleidos de período largo deberían centrarse en el medio terrestre y en las características y los hábitos de la población. Sería conveniente monitorizar el ciclo hídrico local: precipitación y evaporación, aguas superficiales y subterráneas y sus conexiones, así como las entradas y salidas del agua en los principales ríos. Se deberían estudiar las características de los suelos. Sería preciso monitorizar las características y la distribución de las poblaciones, así como sus hábitos, en particular sus tasas de consumo de alimentos locales. Debería llevarse a cabo un seguimiento de las prácticas agrícolas y hortícolas habituales. Se tendría que llevar a cabo una monitorización detallada de los usos del agua a nivel local y aguas abajo. Sería conveniente prestar atención en particular a las características de las minorías étnicas y culturales y de los pueblos indígenas.

## 6. CONDICIONES TÉCNICAS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE MONITORIZACIÓN

### ESTRATEGIA DE MUESTREO

6.1. Tendría que establecerse una estrategia de muestreo adaptada a la situación que se prevea monitorizar y acorde con los objetivos y propósitos específicos de esa monitorización. Los lugares, las frecuencias y las técnicas de muestreo dependerán de las previsiones acerca de las tareas que deban realizarse, así como sobre los tipos de emisiones, las composiciones de radionucleidos y las exposiciones causadas por las emisiones.

#### **El muestreo durante las descargas normales**

##### *Muestreo en la fuente*

6.2. La mayoría de los datos sobre la descarga de radionucleidos de instalaciones nucleares suele obtenerse mediante mediciones en línea de las tasas de dosis, las concentraciones de actividad o la actividad total en el punto de descarga. El muestreo y las consiguientes mediciones del aire y el agua de las descargas, ya sean continuas o discontinuas, deberían servir principalmente para determinar la composición de radionucleidos de esas descargas. Cuando el contenido de radionucleidos en las descargas es muy bajo, es posible que las mediciones en línea no resulten suficientemente sensibles y sea preciso recoger muestras para su ulterior análisis en laboratorio.

6.3. Para no dejar de registrar cambios importantes en la composición de radionucleidos de las descargas, la frecuencia de muestreo debería determinarse teniendo en cuenta los resultados de monitorizaciones anteriores de la instalación de que se trate o de instalaciones similares.

##### *Muestreo en el medio ambiente*

6.4. En el caso de descargas normales de instalaciones con licencia, la principal finalidad del muestro y de las mediciones en el medio ambiente debería consistir en verificar si los valores medidos respetan los límites establecidos o los valores previstos para las concentraciones de radionucleidos en muestras ambientales. Por consiguiente, se deberían seleccionar lugares de muestreo situados cerca de los puntos en que se prevé un máximo de exposición o deposición, de ser posible

en la principal dirección del viento, en el caso de las descargas en la atmósfera, o aguas abajo del punto de descarga, en el caso de las descargas en el agua, mientras que el muestreo de la radiación directa de la fuente tendría que realizarse en el límite del emplazamiento. Puesto que tanto en la atmósfera como en el agua la dispersión puede variar mucho de un año a otro, una parte considerable de las mediciones de monitorización debería realizarse año tras año en los mismos lugares para poder comparar los resultados.

6.5. A fin de comparar estos resultados con los del programa de monitorización principal sería preciso tomar periódicamente muestras y/o realizar mediciones adicionales tanto en los núcleos de población cercanos como en las zonas de fondo (en dirección contraria al viento o a la corriente respecto de la fuente).

6.6. Sería conveniente que en el caso de los alimentos de origen agrícola que se producen continuamente, como las verduras de hoja o la leche, se recojan muestras en varios momentos del año; este muestreo debería ser más frecuente cuando ha habido emisiones de radionucleidos de período corto, como el yodo radiactivo. El suelo y los productos que se cosechan una vez al año tendrían que monitorizarse con una frecuencia anual.

6.7. En el cuadro 3 se resumen los componentes monitorizados y las frecuencias de muestreo y medición. Se trata de un marco general, ya que el programa específico debería establecerse tomando en cuenta los radionucleidos de que se trate, así como consideraciones específicas para el emplazamiento y los correspondientes niveles de descarga. La selección de los alimentos dependerá de las prácticas agrícolas locales y de los hábitos alimentarios de la población.

### **Muestreo en emergencias**

6.8. Es difícil planificar el muestreo en una emergencia porque sus circunstancias no pueden preverse con claridad y, por lo tanto, se requiere un alto grado de flexibilidad, sobre todo en el caso de la monitorización del medio ambiente. En esos casos, las posibilidades de comparar los resultados de las mediciones ambientales con los obtenidos en la monitorización de las fuentes son limitadas, ya que normalmente, sobre todo durante la fase de emisión, la cantidad de materiales radiactivos liberados, sólo puede determinarse con un amplio margen de incertidumbre. Por lo tanto, los datos resultantes de la monitorización del medio ambiente deberían servir de base para las medidas que hayan de adoptarse a fin de mitigar las consecuencias radiológicas.

CUADRO 3. COMPONENTES SOMETIDOS A MONITORIZACIÓN AMBIENTAL Y FRECUENCIAS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN DESCARGAS NORMALES DE RADIONUCLEIDOS AL MEDIO AMBIENTE

Descarga	Componentes monitorizados	Frecuencia
Atmosférica	<i>Radiación externa</i>	
	Tasa de dosis gamma	Continua
	Dosis gamma — integrada	Dos veces al año
	Tasa de dosis neutrónica (si se prevé radiación neutrónica)	Continua
	Tasa integrada de dosis neutrónica (si se prevé radiación neutrónica)	Dos veces al año
	<i>Aire, deposición</i>	
	Aire	Recogida continua, medición semanal a mensual
	Lluvia	Recogida continua, medición mensual
	Deposición	Recogida continua, medición mensual
	Suelo	Anual
	<i>Alimentos y/o ingestión</i>	
	Verduras de hoja	Mensual en el período vegetativo
	Otras hortalizas y frutas	Muestreo selectivo en el momento de la cosecha
	Cereales	Muestreo selectivo en el momento de la cosecha
Leche	Mensual durante el pastoreo de las vacas	
Carne	Muestreo selectivo dos veces al año	
Agua potable y/o agua subterránea	Dos veces al año	
<i>Indicadores terrestres</i>		
Hierba	Mensual durante el pastoreo del ganado	
Líquenes, musgos, setas	Muestreo selectivo una vez al año	
Líquida	<i>Dispersión acuática</i>	
	Aguas superficiales	Recogida continua, medición mensual
	Sedimentos	Anual
	<i>Alimentos acuáticos</i>	
	Pescados	Muestreo selectivo una vez al año
Mariscos	Muestreo selectivo una vez al año	

CUADRO 3. COMPONENTES SOMETIDOS A MONITORIZACIÓN AMBIENTAL Y FRECUENCIAS DE MUESTREO Y MEDICIÓN EN DESCARGAS NORMALES DE RADIONUCLEIDOS AL MEDIO AMBIENTE (cont.)

Descarga	Componentes monitorizados	Frecuencia
	<i>Indicadores acuáticos</i>	
	Algas, esponjas	Muestreo selectivo dos veces al año
	Animales bénticos	Muestreo selectivo, dos veces al año

*Muestreo en la fuente*

6.9. La mayoría de los datos sobre el incremento de las cantidades de radionucleidos emitidas desde las instalaciones nucleares durante las emergencias debería proceder de mediciones en línea de las tasas de dosis y/o de la actividad beta total en el punto de emisión. Para evaluar las consecuencias radiológicas de un accidente, sería conveniente determinar con la mayor frecuencia posible la composición de radionucleidos de las emisiones ocasionadas. En caso de emisión radiactiva en la atmósfera, un sistema de filtrado continuo con un espectrómetro de alta resolución puede aportar datos muy útiles acerca de los aerosoles de yodo y de otros elementos. Por razones de seguridad del personal, se debería instalar el sistema de monitorización.

*Muestreo en el medio ambiente*

6.10. En caso de accidente en una instalación nuclear o de otra índole, se debería realizar un muestreo del medio ambiente, seguido de las correspondientes mediciones, para obtener datos acerca de los niveles, la evolución temporal y la distribución espacial de los radionucleidos en el aire, el suelo, las plantas, los alimentos y los piensos a fin de evaluar las dosis a los grupos críticos de la población y servir de base para la adopción de medidas protectoras y de mitigación. Por consiguiente, convendría que las muestras fueran representativas en lo que se refiere a las condiciones de exposición del grupo crítico (véanse los párrs. 6.18 a 6.22).

6.11. Se deberían seleccionar lugares de muestreo que permitieran obtener una visión general no sólo de la zona situada alrededor de la instalación donde se haya producido la emisión accidental de materiales radiactivos sino también del campo lejano. En la fase inicial sería conveniente realizar muestreos y mediciones en todas las direcciones, pero sobre todo en la dirección principal del viento, si se trata de emisiones atmosféricas, o aguas abajo, en el caso de las emisiones

acuáticas. Sin embargo, los lugares de muestreo se determinarán, de hecho, sobre la base de la distribución espacial de la tasa de dosis gamma en el aire. La monitorización debería centrarse en las zonas con mayor potencial de contaminación teniendo en cuenta las modalidades del uso de la tierra.

6.12. Cuando acaben las emisiones y la consiguiente precipitación radiactiva, se deberían efectuar cuanto antes mediciones en los alimentos y piensos. Las mediciones en las plantas después de la deposición pueden aportar información muy útil para estimar la actividad en esos productos en el momento de la cosecha.

6.13. En el cuadro 4 se indican los tipos de medio ambiente que debería abarcar la monitorización de emergencia, junto con las frecuencias y localizaciones recomendadas para los muestreos o las mediciones. Se trata de un marco general, ya que el programa específico de monitorización debería establecerse tomando en cuenta los radionucleidos de que se trate, así como consideraciones específicas relativas al emplazamiento y los correspondientes niveles de descarga. Por ejemplo, en caso de que las emisiones duren mucho tal vez deban adelantarse las mediciones del suelo, los alimentos y los indicadores radiológicos con respecto a lo indicado en el cuadro 4.

**CUADRO 4. MONITORIZACIÓN AMBIENTAL DE RADIONUCLEIDOS DESPUÉS DE EMERGENCIAS**

Emisión	Componentes monitorizados	Frecuencia	Observaciones
	Mediciones durante el paso de la nube		
	<i>Radiación externa</i>		
	Tasa de dosis gamma	Continua	Campo cercano y campo lejano, mapa de tasas de dosis externa
	Tasa de dosis neutrónica (si se prevé radiación neutrónica)	Continua	Sólo el campo cercano, si se prevé radiación neutrónica
	<i>Aire</i>		
	Aire	Recogida continua, mediciones cada dos horas	Campo cercano y campo lejano
	Lluvia	Recogida continua, mediciones cada dos horas	Campo cercano y campo lejano

CUADRO 4. MONITORIZACIÓN AMBIENTAL DE RADIONUCLEIDOS DESPUÉS DE EMERGENCIAS (cont.)

Emisión	Componentes monitorizados	Frecuencia	Observaciones
Atmosférica	Mediciones después del paso de la nube		En las zonas contaminadas
	<i>Radiación externa</i>		
	Tasa de dosis gamma	Continua	Mapa de tasas de dosis externa
	<i>Deposición</i>		
	Suelo	Una vez	Mapa de contaminación (radionucleidos pertinentes)
	<i>Alimentos/ingestión</i>		
	Verduras de hoja	Diaria	Buen indicador para alimentos de origen vegetal
	Leche	Diaria	Buen indicador para alimentos de origen animal
	Otras verduras y frutas	En el momento de la cosecha	
	Cereales	En el momento de la cosecha	
Carne	Muestras representativas		
Agua potable y/o subterránea	Muestras representativas		
<i>Indicadores terrestres</i>			
Hierba	Diaria		
Líquenes, musgos, setas	En el momento de la cosecha		
Líquidas	Después de las emisiones		Las zonas y masas de agua afectadas son limitadas
	<i>Dispersión acuática</i>		
	Aguas superficiales	Muestreo continuo, mediciones diarias	
	Sedimentos	Semanal	
	<i>Alimentos acuáticos</i>		
	Pescados	Muestreo selectivo	
Mariscos	Muestreo selectivo		
<i>Indicadores acuáticos</i>			
Algas	Muestreo selectivo		

6.14. La intensidad y duración de las actividades de monitorización deberían determinarse en función de la gravedad de la emergencia. La monitorización puede durar entre unos pocos días y varios años; en ese período las actividades se deben adaptar a la evolución de la situación radiológica. Además, la estación en que se produce el accidente es muy importante para determinar la intensidad del programa de monitorización. Fuera del período vegetativo sólo unos pocos tipos de plantas pueden verse afectadas por la contaminación foliar, lo cual reduce en gran medida la necesidad de monitorizar los alimentos.

### **Muestreo en el medio ambiente en condiciones de exposición crónica (prolongada)**

6.15. Mientras los niveles de actividad en el medio ambiente provocados por emergencias o por prácticas como las de extracción y tratamiento del uranio se mantienen cerca de los niveles de actuación, es posible que sea preciso prolongar la vigilancia del medio ambiente para determinar si esos niveles de actuación no se superan y aplicar oportunamente las medidas reparadoras que resulten necesarias. Durante estos períodos, las principales vías que contribuyen a la exposición son la exposición externa debida a la presencia de radionucleidos de período largo en el suelo, la ingestión de alimentos contaminados por absorción radicular y, cuando la contaminación con emisores beta es importante, la inhalación de radón, actínidos o partículas de suelo contaminado resuspendidas por el viento.

6.16. Para evaluar las dosis a grupos críticos de la población y apoyar la toma de decisiones sobre medidas reparadoras, sería conveniente recoger muestras representativas en relación con las condiciones de exposición de esos grupos (véanse los párrs. 6.18 a 6.22).

6.17. Debido a la lenta semidesintegración de los radionucleidos que intervienen y a los procesos de transferencia a largo plazo, la disminución anual de las tasas de dosis y los niveles de contaminación de los alimentos es relativamente pequeña. Sólo factores estacionales como el aumento de la resuspensión en períodos secos pueden causar mayores fluctuaciones en los niveles de contaminación. En estas condiciones relativamente constantes, la intensidad de la monitorización puede reducirse en comparación con la que se realiza durante una emergencia. En general, sería conveniente monitorizar con más frecuencia las zonas cuyas condiciones radiológicas se aproximen a los niveles de intervención o a los niveles de actuación.

## **Técnicas de muestreo**

6.18. El objetivo de la monitorización del medio ambiente es obtener valores representativos. En el presente contexto, se consideran representativas las muestras que reflejan las condiciones del medio ambiente del que proceden. En general, los niveles de actividad en las muestras terrestres están sujetos a variaciones espaciales y temporales debidas a diversos factores, como la falta de homogeneidad en la distribución espacial de los materiales radiactivos depositados en el suelo, la redistribución de los radionucleidos por el viento o por erosión hídrica, diferencias en las condiciones del suelo y las prácticas agrícolas, y superposición de diferentes vías de exposición, como la absorción foliar y la absorción radicular.

6.19. Los niveles de actividad que se miden en el medio ambiente son resultado de las interacciones complejas y no fácilmente previsibles entre estos factores. La variabilidad en las muestras de suelos, plantas, animales y sedimentos da lugar a incertidumbres en la determinación de los niveles de actividad en las muestras ambientales.

6.20. Teniendo en cuenta la variabilidad inherente de las muestras ambientales, la estrategia de muestreo debe diseñarse con sumo cuidado. Puesto que en las condiciones de monitorización no es posible comprender plenamente las razones de esa variabilidad, se debería aplicar una estrategia de muestreo predefinida estrechamente vinculada con una evaluación estadística apropiada de los niveles de actividad medidos. Esto es importante porque la comparación de los niveles de actividad en las muestras ambientales con los niveles de intervención o los niveles de actuación puede servir de base para adoptar decisiones con consecuencias a largo plazo para la salud, la sociedad y la economía.

6.21. Para conseguir un muestreo representativo, la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (CIUMR) [32] ha propuesto unos procedimientos de muestreo específicos. Si bien es posible que estos procedimientos no eliminen la incertidumbre relativa a los niveles de actividad en las muestras ambientales, podrían reducirla y permitir su cuantificación por medios estadísticos. En el cuadro 5 se resumen las principales técnicas de muestreo [32] y sus características.

6.22. La frecuencia de muestreo dependerá de la cantidad que deba estimarse, así como del grado de precisión necesario, de la evolución temporal y de la

## CUADRO 5. TÉCNICAS DE MUESTREO PARA LA MONITORIZACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

Técnica de muestreo	Descripción	Observación
Muestreo apreciativo	La muestra se recoge basándose en la apreciación de la persona que realiza el muestreo	Mayor probabilidad de sesgo en el muestreo; no se pueden cuantificar los grados de representatividad y de precisión
Muestreo aleatorio simple	Todas las muestras tienen la misma probabilidad de ser incluidas	Se asegura la representatividad; puede haber problemas en los terrenos no homogéneos
Muestreo estratificado	División de la muestra en partes cuya mayor homogeneidad se conoce; posterior muestreo aleatorio de las partes resultantes de la división	Es preciso saber que la muestra entera no es homogénea; posibilidad de sesgo si las fracciones de la muestra no se estiman correctamente
Muestreo sistemático	A partir de un punto seleccionado al azar el muestreo se desarrolla conforme a una cuadrícula predefinida con precisión	Más fácil de aplicar que el muestreo aleatorio; es posible que no se tenga en cuenta la configuración espacial de la contaminación

variabilidad de dicha cantidad. En general, el muestreo debería ser más frecuente en las zonas cuyas condiciones radiológicas se aproximen a los niveles de intervención o a los niveles de actuación. La frecuencia de muestreo en la monitorización también debería ser más intensa cuando exista una mayor variabilidad espacial y temporal, como en el caso de la monitorización de radionucleidos con períodos de semidesintegración cortos y de alimentos que deban consumirse poco después de la cosecha.

### ESTRATEGIA DE MEDICIÓN

6.23. En el marco de los programas de monitorización se realizan mediciones de la radiación en la fuente, en el medio ambiente y en laboratorios, tanto en condiciones de emisión normales como en emergencias o en situaciones de exposición crónica (prolongada). A este respecto se plantean los siguientes requisitos técnicos: selección de los tipos de medio ambiente, los lugares y la frecuencia de las mediciones; selección del equipo de detección para los distintos tipos de radiación y de energía; y determinación de los requisitos relativos a los niveles de detección máximos y mínimos para los distintos tipos de radiación o actividad.

6.24. El equipo de medición se debería seleccionar en función de su uso previsto. Sería conveniente tener en cuenta la variedad de radionucleidos que podrían liberarse tanto durante el funcionamiento normal de una instalación como en condiciones de emergencia. Las centrales nucleares pueden emitir una amplia variedad de radionucleidos, cuyos períodos de desintegración oscilan entre unos pocos segundos y miles de años, mientras que en el caso de las instalaciones de fabricación de combustible la variedad es mucho menor y no se emiten radionucleidos de período corto. Los requisitos técnicos de la estrategia de medición dependerán de la finalidad de la monitorización.

6.25. En el cuadro 6 se resumen los procedimientos de muestreo y medición utilizados para determinar las diversas cantidades que pueden ser importantes en los distintos contextos de monitorización. En general, deberían medirse los niveles de actividad de cada radionucleido en los distintos tipos de medio ambiente. En los casos en que los límites de descarga en una práctica se fijen por referencia a la actividad alfa total y/o a la actividad beta total, y no a radionucleidos específicos, tal vez no se necesite realizar mediciones rutinarias de radionucleidos específicos.

6.26. La frecuencia de muestreo dependerá del objeto de la medición y de la evolución temporal de las concentraciones de actividad en los distintos tipos de medio ambiente. Durante las prácticas y en la exposición crónica (prolongada), la variabilidad temporal suele ser baja, de manera que la frecuencia de muestreo también será baja. Los intervalos de tiempo entre las mediciones deberían corresponder al proceso de semidesintegración de los radionucleidos monitorizados. Si el tiempo de muestreo en un filtro es largo en comparación con el tiempo de semidesintegración del radionucleido monitorizado, es posible que éste no se detecte y no se cumpla el objetivo de la monitorización.

6.27. En el caso de las mediciones de bajo nivel en condiciones de prácticas y exposición crónica (prolongada), la actividad mínima detectable del equipo y el método utilizados debería permitir mediciones de niveles de radionucleidos inferiores en uno o dos órdenes de magnitud a los límites o a los niveles de actuación establecidos para los radionucleidos en los tipos de medio ambiente de que se trate. Si los límites establecidos son inferiores a los niveles de fondo, bastará una actividad mínima detectable que permita medir los niveles de radiación o las concentraciones de actividad inferiores a los niveles de fondo.

CUADRO 6. CANTIDADES SUJETAS A MONITORIZACIÓN Y ORIENTACIÓN PARA LAS MEDICIONES

Cantidad por medir	Muestreo/medición	Aplicación
<i>Monitorización de la fuente</i>		
Tasa de dosis gamma en la fuente	Equipo en línea fijo, medición continua	Práctica, emergencia
Gases en el aire emitido	Equipo en línea fijo, medición continua	Práctica, emergencia
Aerosoles en el aire emitido <sup>a</sup>	Equipo y/o muestreo en línea; análisis específico de nucleidos, alfa total y beta total	Práctica, emergencia
Actividad en el agua emitida <sup>a</sup>	Equipo y/o muestreo en línea; análisis específico de nucleidos, alfa total y beta total	Práctica, emergencia
<i>Monitorización del medio ambiente</i>		
Tasa de dosis gamma en el suelo	Mediciones sobre el terreno; dispositivos móviles o fijos	Práctica, emergencia, exposición crónica (prolongada)
Actividad de aerosoles en el aire	Muestreo con filtros; análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia, exposición crónica (prolongada)
Yodo radiactivo en el aire	Muestreo específico de la forma física y química; análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia
Actividad en el agua de lluvia	Muestreo en colector de lluvia; análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia
Actividad depositada	Espectrometría gamma in situ; muestreo con placas colectoras y análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia
Actividad en el suelo	Espectrometría gamma in situ; muestreo sobre el terreno y análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia, exposición crónica (prolongada)
Actividad en alimentos/piensos, aguas, sedimentos	Muestreo sobre el terreno; análisis específico de nucleidos	Práctica, emergencia, exposición crónica (prolongada)

<sup>a</sup> En los casos en que los límites de descarga en una práctica se fijen por referencia a la actividad alfa total y/o a la actividad beta total, y no a radionucleidos específicos, tal vez no se necesite realizar mediciones rutinarias de radionucleidos específicos.

6.28. Cuando los datos de monitorización deban utilizarse para evaluar las dosis anuales a un grupo crítico y para verificar el cumplimiento de las restricciones de dosis en el caso de prácticas, o bien para compararlos con el nivel de intervención, se debería seleccionar una actividad mínima detectable del equipo que permita realizar mediciones de niveles considerablemente inferiores a los niveles de dosis de referencia establecidos, teniendo en cuenta las múltiples vías de exposición humana. Para cada vía que deba examinarse se tendría que asignar una fracción determinada de la dosis de referencia; sería preciso establecer unas actividades mínimas detectables que garantizaran la detección de estas posibles contribuciones a las dosis.

6.29. En condiciones de emergencia debería utilizarse un equipo con capacidad para medir los altos niveles de radiación o las altas concentraciones de radionucleidos que pueden registrarse en caso de accidente muy grave. Puesto que en esas condiciones la derivación de un término fuente es fundamental para adoptar decisiones en materia de contramedidas, se debería llevar a cabo una monitorización capaz de aportar al menos datos sobre los radionucleidos que en esos casos revistan más importancia desde el punto de vista radiológico.

## INCERTIDUMBRES EN LOS DATOS DE MONITORIZACIÓN

6.30. Las actividades de monitorización deberían aportar los datos necesarios para analizar y evaluar la contaminación del medio ambiente. La monitorización, sobre todo en las emergencias, es una importante fuente de información para la adopción de decisiones y la justificación de contramedidas. Sin embargo, al igual que cualquier tipo de mediciones, los datos de monitorización conllevan incertidumbres derivadas, a su vez, de las incertidumbres técnicas, así como de la falta de representatividad de las muestras y/o mediciones y de los errores humanos.

6.31. Las incertidumbres técnicas de los datos de monitorización se deben principalmente a:

- La variabilidad espacial y temporal de la cantidad monitorizada (por ejemplo, la tasa de dosis y la concentración de actividad);
- La variabilidad de los procedimientos de muestreo, tratamiento y medición;
- Los métodos estadísticos de conteo en el caso de bajo nivel de actividad de radionucleidos.

6.32. Estas incertidumbres no pueden eliminarse, pero sí reducirse lo posible mediante procedimientos de garantía de calidad. Mientras que la calibración incorrecta se puede detectar y posteriormente corregir, los errores en el tratamiento de las muestras son más difíciles de detectar y corregir. Además, el almacenamiento de las muestras puede dar lugar a la repetición de mediciones de muestras evidentemente incorrectas. Se deberían llevar a cabo periódicamente actividades de capacitación y ejercicios a fin de mantener la experiencia del personal como condición previa importante para conseguir una labor de alta calidad, sobre todo en las condiciones de estrés propias de las emergencias.

6.33. Es posible optimizar la representatividad de las muestras y/o de las mediciones sobre el terreno mediante un plan apropiado de muestreo y medición (al que ya se ha hecho referencia) y una labor de monitorización más intensa.

6.34. No resulta fácil cuantificar los errores humanos. El estrés y el exceso de trabajo, sobre todo en las emergencias, pueden dar lugar a errores humanos, por ejemplo: registro equivocado, pérdida de muestras, etiquetado incorrecto, contaminación cruzada durante la preparación de las muestras y contaminación de los instrumentos de medición. Puesto que muchos errores humanos se pueden prever y simular, sería conveniente impartir capacitación adecuada al personal y aplicar procedimientos idóneos de garantía de calidad para reducir el número de errores, incluso en condiciones de emergencia.

6.35. Las incertidumbres de los resultados de monitorización se tendrían que determinar tomando en cuenta las que afectan a los procedimientos de muestreo y de medición, incluidos los parámetros de tratamiento de las muestras y la calibración del equipo, y deberían indicarse junto con la notificación de esos resultados. Tanto en los procedimientos de evaluación de dosis como en la interpretación de los datos de monitorización sería preciso tener presentes las incertidumbres que conllevan dichos resultados.

## **7. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE DOSIS**

### **CONCEPTOS GENERALES**

7.1. La información obtenida mediante los programas de monitorización debería utilizarse para evaluar las dosis de radiación a los miembros de la población

comparando esos datos con los criterios de dosis establecidos por el órgano regulador. Estos criterios se suelen expresar como límites de la dosis anual de radiación (en las prácticas) o como niveles de intervención de la dosis recibida por el grupo crítico. La evaluación se realiza calculando las dosis que reciben o podrían recibir los miembros del grupo crítico. En estos cálculos se utilizan resultados tanto de la monitorización de fuentes y del medio ambiente como de la monitorización individual, o de una combinación de ellos.

7.2. Ninguno de los métodos de monitorización mencionados indica directamente las dosis de radiación a los miembros del grupo crítico; se necesitan modelos matemáticos para convertir los resultados de monitorización en predicciones de dosis. Los modelos que se utilicen para calcular las dosis dependerán de las condiciones de exposición, los resultados de monitorización disponibles, la finalidad de la evaluación y la magnitud de las dosis. Estos modelos deberían simular las principales vías que contribuyan a la exposición de los grupos de población de que se trate (véanse los párrs. 4.4 a 4.11).

7.3. La finalidad de las evaluaciones de dosis, la evolución temporal de las condiciones de exposición y la composición de radionucleidos de las emisiones son diferentes según se trate de prácticas (descargas a largo plazo, crónicas), de emergencias (emisiones a corto plazo) o de situaciones de exposición crónica (contaminación con radionucleidos de período largo). En consecuencia, para evaluar las dosis en las distintas situaciones de exposición se deberían utilizar modelos de exposición humana diferentes (véase más adelante).

7.4. Cuando la monitorización del medio ambiente aporta resultados sobre los niveles de radiación y el contenido de radionucleidos en el aire, el agua y los alimentos, la evaluación de dosis debería realizarse mediante modelos metabólicos y dosimétricos, combinados con datos relativos al tiempo que los miembros de los grupos críticos hayan pasado en las diferentes condiciones de exposición, al volumen de aire que hayan inhalado y a sus tasas de consumo de alimentos y bebidas. Cuando sólo se dispone de resultados de monitorización de fuentes o cuando la monitorización del medio ambiente no aporta datos suficientes sobre los niveles de radiación y la contaminación del aire, el agua y los alimentos, también es necesario utilizar modelos de transferencia de radionucleidos por las vías de exposición y las cadenas alimentarias.

7.5. Siempre que sea posible, las evaluaciones de dosis deberían abarcar mediciones de la contaminación ambiental combinadas con modelos de transferencia en el medio ambiente. La importancia relativa de las mediciones y de los modelos dependerá de varios factores, por ejemplo:

- a) La disponibilidad de mediciones ambientales que guarden relación directa con los miembros del grupo de referencia;
- b) La representatividad de las muestras;
- c) La precisión de las mediciones;
- d) El número de mediciones con valores inferiores a los límites de detección de los radionucleidos emitidos por fuentes;
- e) El grado de validación de los modelos empleados en los cálculos específicos para el emplazamiento.

7.6. Existen diferentes modelos, con diferentes grados de complejidad, que pueden emplearse en la evaluación radiológica. La modelización debería tener un grado de detalle y complejidad acorde con la magnitud de las dosis que se trate de predecir [33].

## EVALUACIÓN DE DOSIS CAUSADAS POR DESCARGAS NORMALES

### **Exposición externa**

7.7. Al menos en principio, la irradiación externa ocasionada por una fuente resulta fácil de evaluar. En el caso de las fuentes discretas, los campos de radiación cercanos se pueden medir (se estima la radiación de fondo natural y el valor obtenido se resta de los resultados) o calcular mediante técnicas simples. Al calcular las dosis a los grupos críticos sería preciso tener en cuenta los efectos relacionados con la distancia, el blindaje y la dispersión, así como el tiempo probable de permanencia en la zona de un miembro del grupo crítico en el lapso de un año.

7.8. En general, la exposición externa causadas por radionucleidos presentes en el penacho o en el suelo es difícil de evaluar sobre la base de mediciones radiológicas directas, ya que la radiación de fondo natural suele ser más variable. Sin embargo, en muchos casos esa exposición externa causada por radionucleidos se puede calcular sobre la base de mediciones espectrométricas de la contaminación del aire y la deposición en el suelo utilizando modelos establecidos de conversión de niveles de contaminación en valores de dosis y teniendo en cuenta el tiempo probable de permanencia en la zona de un miembro del grupo crítico en el lapso de un año. Cuando se dispone de datos sobre las estructuras de los edificios, esa información, o bien factores de blindaje por defecto conocidos, pueden utilizarse para calcular tanto la reducción de la exposición debida al blindaje de las estructuras como su incremento debido a la deposición en los muros y techos de los edificios.

7.9. El grupo de la población más vulnerable a la exposición externa en condiciones de descarga normales crónicas puede ser el de las personas que trabajan sobre todo al aire libre (campesinos, pastores y silvicultores). Si cerca de la instalación nuclear hay una zona residencial, en la determinación del grupo técnico se deberían tener en cuenta las personas que viven en casas de una sola planta construidas con materiales ligeros (por ejemplo, madera).

### **Exposición interna**

7.10. Las vías que sea preciso tener en cuenta para calcular las dosis internas dependerán de la finalidad de dicho cálculo (por ejemplo, para realizar un cribado, en lugar de una evaluación detallada, o para adoptar un enfoque conservador a fin de garantizar el cumplimiento de los límites, en lugar de un enfoque realista para llevar a cabo estudios de optimización), así como de la magnitud de las dosis. Normalmente, se tomarán en cuenta las principales vías de exposición: la inhalación de aire contaminado por descargas en la atmósfera, la ingestión de alimentos y bebidas (verduras, fruta, carne y leche) contaminados por emisiones en la atmósfera y la ingestión de pescados, mariscos y productos derivados de algas contaminados por descargas líquidas.

7.11. Para calcular las dosis por inhalación se necesitan datos sobre el volumen de aire inhalado en un año por los miembros del grupo crítico. Este volumen dependerá de la edad de las personas, del tiempo probable de su permanencia en la zona en el lapso de un año y de las actividades que realicen en la zona. La CIPR ha proporcionado orientaciones a este respecto [34].

7.12. Para calcular las dosis a los miembros de los grupos críticos por ingestión de bebidas y alimentos contaminados se necesitan datos acerca de las tasas de consumo correspondientes. Las tasas de consumo de los diferentes tipos de alimentos y bebidas suelen ser específicas de las regiones. Hay que tener en cuenta que algunos subgrupos de la población (por ejemplo, los pescadores) pueden tener tasas de consumo muy específicas en el caso de determinadas categorías de alimentos o bebidas [33]. Para calcular las dosis también se necesitan datos acerca del origen de los alimentos; por lo general, sólo los alimentos locales presentan un grado significativo de contaminación por descargas normales, de manera que de los alimentos y bebidas que consumen los miembros del grupo crítico sólo la fracción correspondiente a los de origen local debería tenerse en cuenta para calcular las dosis.

7.13. Cuando la contaminación de los alimentos y bebidas se ha evaluado mediante modelos, el cálculo de las dosis relacionadas con fuentes no plantea

dificultades. Si bien en esta fase del cálculo de las dosis se puede tener en cuenta la modificación de la contaminación de los alimentos debida a su elaboración y a las prácticas culinarias, es preciso verificar atentamente los datos.

7.14. Para calcular las dosis sobre la base de los resultados de la monitorización del medio ambiente se requiere un tratamiento apropiado de esos datos. Debería determinarse la radiación de fondo, ya se trate de la radiación natural o de la provocada por la precipitación radiactiva resultante de ensayos de armas nucleares; esta determinación se suele realizar mediante una comparación con los resultados de monitorización de una zona que no ha sido contaminada (siempre que su caracterización sea correcta); para calcular las dosis causadas por emisiones de una fuente o una práctica, estos niveles de radiación de fondo deberían restarse de los datos relativos a la contaminación. En caso de que la contaminación se deba a emisiones de varias fuentes, la dosis total debería calcularse a partir de mediciones de monitorización ambiental, pero por lo general resulta difícil atribuir fracciones de dosis a las distintas fuentes.

7.15. Hay que destacar que el cálculo de las dosis sobre la base de los resultados de la monitorización del medio ambiente es el método más indicado cuando la contaminación del aire, el agua y los alimentos se ha podido medir rápidamente y cuando la cantidad de resultados obtenidos permite extraer datos estadísticos significativos. Por lo general, sólo algunos de los radionucleidos emitidos se pueden medir por encima de los límites de detección en los tipos de medio ambiente y de alimentos pertinentes. Por consiguiente, en el caso de los radionucleidos que no puedan detectarse en el medio ambiente, el cálculo de las dosis a partir de los resultados de la monitorización ambiental debería complementarse con cálculos basados en los resultados de la monitorización de las fuentes. Además, la monitorización ambiental durante las prácticas permite determinar si los supuestos, modelos y parámetros utilizados en el proceso de concesión de la licencia respondían a las condiciones específicas del emplazamiento.

7.16. Para poder utilizarlas en el cálculo de las dosis, las mediciones de la contaminación de los alimentos deberían referirse a las partes comestibles y no a la totalidad de los organismos (animales o plantas); también sería preciso aclarar si los resultados se refieren al peso húmedo o al peso seco. Para calcular las dosis a partir de mediciones de la contaminación de los alimentos debería utilizarse un nivel medio de contaminación determinado sobre la base de al menos varias muestras representativas. El muestreo de los cultivos estacionales tendría que efectuarse en un momento cercano a la cosecha. Los cálculos de las dosis tendrían

que basarse en mediciones de la contaminación relativas únicamente a las especies que consuman los miembros de los grupos críticos.

## EVALUACIÓN DE DOSIS EN EMERGENCIAS

7.17. Se deberían adoptar todas las disposiciones pertinentes para evaluar la exposición de los trabajadores de emergencias y los miembros de la población a raíz de una emergencia nuclear o radiológica. Esa evaluación tendría que basarse en la mejor información disponible y se debería actualizar según se disponga de nueva información que permita mejorar sustancialmente la precisión de los resultados.

7.18. El modelo de evaluación de dosis en emergencias debería:

- Tomar en cuenta los factores que tengan repercusiones importantes en las dosis fuera del emplazamiento;
- Utilizar la información directamente disponible;
- Ser de fácil utilización en las condiciones de estrés propias de las emergencias;
- Producir resultados que sean fáciles de entender y apoyen el proceso de adopción de decisiones;
- Producir resultados en los que se tengan en cuenta las principales incertidumbres inherentes a esas proyecciones.

7.19. Los métodos y modelos [33 y 35] que se utilizan para evaluar las dosis a los miembros de la población causadas por descargas normales no son apropiados para las situaciones de emergencia, en las que es preciso aprovechar al máximo la información disponible a partir de un número limitado de mediciones para estimar con rapidez las consecuencias fuera del emplazamiento. En tales casos se necesitan métodos capaces de elaborar proyecciones sobre las consecuencias que podrían registrarse fuera del emplazamiento a raíz de las condiciones en que se encuentre la instalación (por ejemplo, en caso de emisiones que no estén monitorizadas o de emisiones que puedan producirse en el futuro). Estas proyecciones de las consecuencias fuera del emplazamiento podrían consistir en el cálculo anticipado de dosis para diferentes situaciones de accidente, como se indica en la referencia [10] o bien en resultados obtenidos con modelos informáticos, como INTERRAS [10]. Estas proyecciones deberían ser las más realistas posibles y en ningún caso habría que subestimar las dosis calculadas relativas a situaciones que puedan entrañar riesgos para las personas.

7.20. Los responsables de las evaluaciones y la gestión deberían tener presente que las proyecciones de dosis conllevan incertidumbres y de que en caso de emergencia muy grave puede resultar imposible elaborar proyecciones precisas acerca de las dosis fuera del emplazamiento. Deberían estar preparados para encontrar discrepancias entre los resultados obtenidos con los modelos que utilicen las diferentes organizaciones y convendría que no adoptaran decisiones acerca de medidas protectoras basándose únicamente en esas proyecciones.

7.21. Durante la fase de preparación para emergencias sería conveniente seleccionar los modelos aplicables en los distintos tipos de emergencias que quepa prever y los encargados de utilizarlos tendrían que conocer perfectamente las distintas clases de datos necesarios para obtener proyecciones de dosis. Esas personas deberían saber de qué clases de datos podrían disponer y los modelos tendrían que ser capaces de tratar preferentemente estos tipos de datos simples. Por ejemplo, cuando se conoce la mezcla relativa de radionucleidos cuya emisión es probable, incluso una sola medición simple de la tasa de dosis gamma externa en el aire puede ser suficiente para estimar las dosis causadas en ese lugar concreto por la exposición externa y la exposición interna. Posteriormente, cuando se disponga de más mediciones, esas proyecciones tempranas podrán modificarse. Las proyecciones también se podrán modificar en caso de que haya habido intervenciones, por ejemplo, la aplicación de medidas de refugio.

### **Exposición externa**

7.22. La evaluación de la exposición externa en una situación de emergencia suele abarcar evaluaciones de la exposición causada por el penacho y por los depósitos en el suelo, así como, en algunas emergencias, de la posible exposición directa a las radiaciones de la fuente.

7.23. Puesto que la exposición directa a la fuente puede variar mucho en función del tiempo, la monitorización del campo de radiación ha de ser muy frecuente para poder evaluar las dosis. Por lo general, los niveles de radiación son muy superiores a los niveles habituales de radiación de fondo, cuyo valor puede considerarse desdeñable. Otros componentes de los campos de radiación, como la radiación procedente del penacho, deberían restarse, siempre que sea posible, de las mediciones directas de la radiación procedente de la fuente. La evaluación de la irradiación externa desde la fuente no supone mayores dificultades: puede calcularse con técnicas simples que tienen en cuenta los efectos de distancia y dispersión, así como el tiempo probable de permanencia de las personas (por ejemplo, los trabajadores de emergencias) en la zona. Si se dispone de datos apropiados, también deberían tenerse en cuenta los efectos relacionados con el

blindaje. Como primera aproximación, en una emergencia, las mediciones de kerma en el aire (en Gy/h o alguna unidad equivalente) se pueden utilizar de la misma manera que las mediciones de la tasa de dosis ambiental (en Sv/h o alguna unidad equivalente).

7.24. La exposición externa causada por radionucleidos presentes en el penacho puede calcularse a partir de mediciones radiológicas directas o de mediciones de las concentraciones de radionucleidos en la atmósfera. Teniendo en cuenta que estas mediciones suelen referirse a radionucleidos específicos o a las formas físicas y químicas específicas de los radionucleidos, convendría cerciorarse de que se hayan realizado muestreos y mediciones de los radionucleidos presentes en la pluma que sean significativos desde el punto de vista radiológico. En los cálculos se debería tener en cuenta la distancia entre el punto de medición y el eje del penacho, a fin de poder extrapolar los resultados de la monitorización para las poblaciones más expuestas, es decir, las ubicadas en la zona donde incide el cuerpo principal del penacho. Cuando las emisiones y las tasas de emisión se estiman a partir de datos de monitorización de fuentes suficientemente precisos, cuya disponibilidad no suele estar asegurada, la exposición externa causada por radionucleidos presentes en el penacho también puede calcularse mediante modelos de dispersión de las emisiones. Es posible tomar en cuenta el efecto de blindaje por las estructuras de los edificios, siempre que se disponga de los datos necesarios y se hayan adoptado contramedidas de refugio eficaces.

7.25. La exposición externa causada por la deposición de radionucleidos en el suelo se puede calcular a partir de mediciones radiológicas directas realizadas después del paso del penacho (cuando la tasa de dosis es muy superior a los niveles de radiación de fondo natural) o una vez realizada la espectrometría. También puede calcularse sobre la base de mediciones de las concentraciones de radionucleidos en muestras ambientales (por ejemplo, suelo, hierba y agua de lluvia). Las dosis externas causadas por la deposición de materiales radiactivos se suelen calcular para un período de tiempo limitado, normalmente uno o unos pocos días, en consonancia con la adopción de medidas protectoras urgentes (refugio o evacuación). Para esos períodos breves la deposición se puede considerar constante, salvo en lo que se refiere a la desintegración radiactiva de los radionucleidos de período corto. Es posible tomar en cuenta el efecto de blindaje por las estructuras de los edificios, siempre que se disponga de datos y las medidas de refugio hayan resultado eficaces.

## **Exposición interna**

7.26. Para calcular las dosis por exposición interna en las emergencias se debería prestar atención ante todo a la inhalación, ya que esta vía reviste una importancia fundamental para la adopción de medidas protectoras urgentes (refugio, evacuación y profilaxis con yodo estable). Al igual que en el caso, ya analizado, de la exposición externa causada por radionucleidos presentes en el penacho, la exposición interna por inhalación de radionucleidos presentes en el penacho se puede calcular a partir de los resultados de la monitorización del medio ambiente o bien de resultados obtenidos con modelos basados en la monitorización de fuentes.

7.27. Por lo general, la resuspensión de radionucleidos depositados no se toma en cuenta, ya que en las fases iniciales de una emergencia no suele tener mayor importancia (con la posible excepción de la dispersión en gran escala de plutonio). Se puede tener en cuenta el efecto del refugio, siempre que se disponga de datos y que las contramedidas de refugio hayan sido eficaces. También se pueden tomar en cuenta los efectos de la profilaxis con yodo estable, siempre que se conozca el momento preciso de su aplicación.

## **EVALUACIÓN DE DOSIS EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN CRÓNICA (PROLONGADA)**

7.28. En el caso de las personas que residen en zonas contaminadas con radionucleidos de período largo naturales o artificiales, las vías de exposición suelen ser múltiples. Las contribuciones de las dosis externas y las dosis internas (por ingestión e inhalación) dependen de las composiciones isotópicas y las formas físicas y químicas de los radionucleidos, así como de las condiciones del medio ambiente y de los hábitos de la población.

7.29. Para evaluar las dosis causadas por la exposición a largo plazo de la población en condiciones radiológicas de evolución lenta, se deberían utilizar los datos de monitorización ambiental disponibles, combinados con modelos simples estáticos o de equilibrio. Cuando se trata de países de clima templado o polar, en estos modelos se deberían tener en cuenta los cambios estacionales tanto en las condiciones de exposición (por ejemplo, la capa de nieve) como en los hábitos humanos. También sería conveniente tener en cuenta la posible influencia de condiciones climáticas específicas en la acumulación de radionucleidos por la vegetación (como las sequías o las condiciones que favorecen el crecimiento de las setas).

7.30. Por lo general, las evaluaciones de dosis a la población que vive en condiciones de exposición radiológica crónica (prolongada) se llevan a cabo para justificar la adopción de medidas reparadoras que suponen gastos considerables. En consecuencia, las dosis a los grupos de población críticos deberían calcularse sobre la base de modelos dosimétricos realistas y no mediante modelos de cribado. En la medida de lo posible, la validación de estos modelos se tendría que basar en datos de mediciones ambientales disponibles y en datos selectivos de mediciones individuales, como los del conteo de la radiactividad corporal en la dosimetría interna y las dosis individuales en la dosimetría externa.

7.31. Para determinar las dosis anuales reales sería preciso tener en cuenta todos los componentes de la exposición externa y de la exposición interna causadas por la radiación ambiental, incluida la radiación de fondo natural. Se deberían aplicar métodos de medición y de tratamiento de datos especiales para determinar los componentes de las dosis atribuibles a las distintas fuentes de radiación ambiental.

### **Exposición externa**

7.32. La dosis externa al grupo de población crítico en condiciones de exposición crónica (prolongada) debería determinarse sobre la base de datos de monitorización ambiental utilizando un modelo de cálculo simple en el que se tengan en cuenta el blindaje parcial del medio humano en comparación con una zona abierta, la presencia humana, la relación porcentual entre la dosis en el aire y la dosis efectiva, y la variación estacional de los parámetros pertinentes.

7.33. El grupo de población que puede verse más afectado por la exposición externa en condiciones de exposición crónica (prolongada) suele ser el de las personas que trabajan principalmente al aire libre (como los silvicultores, los pastores y los campesinos) y las que viven en casas de una sola planta construidas con materiales ligeros (como la madera). El mejor medio para estimar el tiempo que los miembros de esos grupos pasan en los distintos lugares habituales de residencia, trabajo y esparcimiento, tanto en locales cerrados como al aire libre y en las diferentes estaciones, consiste en realizar entrevistas personales.

7.34. El conjunto de mediciones de las tasas de dosis efectuadas en los diferentes lugares donde suelen residir los miembros del grupo crítico, tanto al aire libre como en locales cerrados, puede utilizarse directamente para evaluar las dosis externas reales. Para definir la contribución de determinada fuente de radiación a la dosis externa se deberían aplicar métodos de espectroscopía gamma sobre el terreno evaluando posteriormente las dosis atribuibles a los distintos

radionucleidos o restando la radiación de fondo determinada en condiciones similares.

7.35. Otro tipo de datos aportados por la monitorización del medio ambiente son los niveles de deposición de determinados radionucleidos en el suelo de la zona examinada, que se pueden utilizar para evaluar las dosis externas atribuibles a los distintos radionucleidos. Aplicando coeficientes de conversión específicos para los distintos radionucleidos esos datos se podrían convertir en valores de tasas de dosis en suelos no perturbados (por ejemplo, prados), suelos arados o superficies duras (por ejemplo, con pavimento de asfalto o de concreto).

7.36. Antes de evaluar las dosis se deberían determinar los parámetros del modelo relativos a la atenuación de las tasas de dosis en lugares rurales y urbanos típicos para una superficie de referencia (por lo general, un prado) realizando una serie de mediciones sobre el terreno o modelizando las condiciones de radiación en asentamientos, viviendas y otros lugares.

7.37. Es posible reducir considerablemente las incertidumbres que conlleva la estimación de las dosis externas si se utilizan mediciones para determinar algunos parámetros cruciales y el resultado final se valida con datos de monitorizaciones individuales realizadas en determinados períodos de tiempo.

## **Exposición interna**

### *Ingestión*

7.38. La dosis interna a un grupo de población crítico en condiciones de exposición crónica (prolongada) por ingestión de agua potable y/o alimentos contaminados debería determinarse sobre la base de datos de monitorización ambiental utilizando un modelo de cálculo simple en el que se tengan en cuenta el origen y la tasa de consumo de distintos productos alimenticios, así como las variaciones estacionales en los parámetros pertinentes.

7.39. El grupo de población más expuesto a la radiación por ingestión es aquel cuyos miembros consumen cantidades considerables de productos alimenticios producidos a nivel local. En el caso de los radionucleidos de período largo (por ejemplo, el tritio y el cesio) que dependen poco de los coeficientes relacionados con la edad, el grupo de población más expuesto suele ser el de los adultos que consumen productos alimenticios agrícolas y alimentos naturales locales. Cuando se trata de radionucleidos que (como el estroncio, el radio y el polonio) por sus

propiedades metabólicas dependen mucho de esos coeficientes, el grupo de población más expuesto suele ser el de los lactantes y los niños.

7.40. Los datos resultantes de la medición regular de las concentraciones de radionucleidos en productos alimenticios agrícolas locales se pueden utilizar directamente para evaluar la ingesta anual y la correspondiente dosis comprometida. En las regiones cuyos habitantes suelen consumir cantidades considerables de productos naturales (por ejemplo, caza, pescados de agua dulce, setas silvestres y bayas) con altas concentraciones de radionucleidos, los datos procedentes de mediciones también deberían utilizarse para estimar la ingesta de radionucleidos.

7.41. Cuando no se dispone de datos procedentes de mediciones, o los datos disponibles son insuficientes, las concentraciones de radionucleidos en los alimentos pueden estimarse de manera aproximativa a partir de datos sobre la deposición en el suelo o las concentraciones en el agua aplicando coeficientes conocidos de transferencia de radionucleidos del suelo o del agua a las plantas y los animales. Esos coeficientes deberían seleccionarse teniendo en cuenta las condiciones naturales y climáticas pertinentes, con inclusión del tipo de suelo y el contenido mineral del agua dulce.

7.42. Sería preciso utilizar un modelo capaz de abarcar la ingestión de agua potable y de los principales grupos de alimentos que consuman los miembros del grupo crítico. Las estimaciones de las tasas de consumo que se lleven a cabo para tener en cuenta la contribución de los distintos alimentos de producción local tendrían que basarse en estadísticas oficiales sobre la producción y el comercio de esos alimentos (en el caso de la población general) o bien obtenerse mediante entrevistas personales (en el caso del grupo crítico). La ingestión de radionucleidos también puede calcularse a partir de los datos relativos a las pérdidas culinarias de masa alimentaria y las consiguientes reducciones en dicha ingesta.

7.43. Es posible reducir considerablemente las incertidumbres en la modelización de las dosis internas si se utilizan mediciones para evaluar algunos parámetros cruciales y se introducen las correcciones necesarias a fin de tener en cuenta las características específicas de los emplazamientos. El método más fiable para validar un modelo de ingestión consiste en comparar sus predicciones con las evaluaciones de dosis interna basadas en datos resultantes de mediciones individuales de contenidos de radionucleidos en el cuerpo humano mediante conteo corporal o análisis de las concentraciones de radionucleidos en las excretas.

## *Inhalación*

7.44. La contribución de la inhalación a las dosis internas del grupo crítico es considerable cuando se trata de gases y vapores radiactivos (por ejemplo, el radón o el óxido de tritio), así como de radionucleidos con baja solubilidad y baja movilidad en las cadenas alimentarias (por ejemplo, los actínidos y los elementos transuránicos), sobre todo en el caso de las personas que trabajan al aire libre y están expuestas al polvo. La residencia prolongada en zonas con altas concentraciones de uranio natural y radio resultante de la emanación de radón constituye un caso especial.

7.45. La dosis de inhalación del grupo de población crítico en condiciones de exposición crónica (prolongada) debería determinarse a partir de datos de monitorización de concentraciones de radionucleidos en el aire cercano al suelo utilizando un modelo que tenga en cuenta tanto el ritmo respiratorio de personas de diferentes edades que estén en condiciones de realizar diversas actividades físicas como las variaciones estacionales en los parámetros pertinentes.

7.46. Los datos resultantes de la medición regular de las concentraciones de radionucleidos en el aire se puede utilizar directamente para evaluar la ingesta anual y la correspondiente dosis comprometida. Cuando no se dispone de datos procedentes de mediciones, o los datos disponibles son insuficientes, las concentraciones de radionucleidos en el aire pueden estimarse de manera aproximativa a partir de datos sobre la deposición en el suelo utilizando un modelo de resuspensión.

## INCERTIDUMBRES EN LAS EVALUACIONES DE DOSIS

7.47. En las incertidumbres que conllevan las evaluaciones de dosis basadas en resultados de monitorización se suman las incertidumbres de los datos de monitorización y las de los modelos dosimétricos. La incertidumbre más importante corresponde a la modelización basada en datos de monitorización de fuentes, ya que en ese caso la modelización abarca la dispersión de los radionucleidos en el medio ambiente, que sólo puede predecirse con un margen importante de incertidumbre. Las incertidumbres en las evaluaciones de dosis son menores cuando se utilizan datos de monitorización integral del medio ambiente, y se reducen aún más cuando se dispone de datos de monitorización individual.

7.48. En el funcionamiento de las prácticas las tasas de emisión de radionucleidos suelen ser bajas y es posible que las posibilidades de realizar un análisis detallado de la exposición resulten limitadas si, por ejemplo, la tasa de dosis externa atribuida a las emisiones es del mismo orden que las fluctuaciones de la tasa de dosis causadas por la radiación de fondo. En tal caso, es posible determinar la dosis como un valor inferior al de la dosis estimada con la actividad mínima detectable correspondiente a la medición de la que proceden los datos utilizados en la evaluación. A esta evaluación de dosis se le puede asignar una incertidumbre estimada que tome en cuenta las incertidumbres en los parámetros de los modelos dosimétricos.

7.49. En el caso de las emergencias y de las situaciones de exposición crónica (prolongada) es preciso realizar evaluaciones de dosis para analizar y evaluar la situación radiológica, a fin de apoyar la adopción de decisiones acerca de la conveniencia de aplicar medidas protectoras y/o de mitigación. En el cuadro 7 se

**CUADRO 7. PRINCIPALES FUENTES DE INCERTIDUMBRES EN LAS ESTIMACIONES DE DOSIS BASADAS EN DATOS DE MONITORIZACIÓN AMBIENTAL E INDIVIDUAL**

Vía de exposición humana	Cantidad monitorizada	Fuente de incertidumbres en las estimaciones de dosis
Exposición externa	Tasa de dosis gamma en el aire en función del tiempo y del espacio	Ubicación y tiempo de permanencia de las personas en la zona monitorizada
	Dosis externa medida con un dosímetro termoluminiscente	Tiempo de permanencia del dosímetro termoluminiscente en el lugar; escasa incertidumbre si las personas expuestas llevan siempre consigo el dosímetro
Ingestión	Concentración de actividad en los alimentos en función del tiempo y del espacio	Ingesta de alimentos en función de la edad; origen de los alimentos; variación estacional de la ingesta de alimentos
Inhalación	Concentración de actividad en el aire	Ubicación de las personas; tasa de inhalación; coeficientes de dosis
Exposición interna	Actividad corporal	Únicamente los emisores gamma; variabilidad de la tasa de ingesta; necesidad de datos metabólicos para la conversión de concentraciones de actividad en dosis
	Bioensayo de excretas	Variabilidad de las tasas de ingesta y de excreción; necesidad de datos metabólicos para la conversión de concentraciones de actividad en dosis

resumen los tipos de datos resultantes de la monitorización utilizados en las evaluaciones de dosis, así como las principales fuentes de las incertidumbres asociadas con la modelización que se suman a las incertidumbres en las estimaciones de dosis.

7.50. Además de las incertidumbres relacionadas con los procedimientos de monitorización, una fuente importante de incertidumbre es la modelización, sobre todo la relativa a los hábitos de las personas. A menudo sólo se conocen, a lo sumo, valores medios nacionales de los parámetros pertinentes, los cuales pueden diferir considerablemente de los valores correspondientes a las personas que residen en la zona concreta de que se trate. En el caso del funcionamiento de las prácticas y de las situaciones de exposición crónica (prolongada) los niveles de actividad pueden ser relativamente estables y el uso de valores medios relativos a los hábitos permite obtener resultados aceptables. Sin embargo, en las emergencias se necesitan datos pertinentes para las condiciones estacionales y sociales específicas en que se produce el accidente.

7.51. Las incertidumbres acerca de los orígenes de los alimentos siguen siendo un componente importante de las incertidumbres en la evaluación de las dosis por ingestión. Si bien es posible que en las zonas rurales una proporción considerable de la dieta se produzca a nivel local, al menos una parte de los alimentos proceden de otros sitios. Donde no se suele disponer de datos fiables a este respecto, hay que suponer que todos los alimentos que se consumen son de producción local; este supuesto introduce un sesgo conservador.

7.52. Una comparación entre los cálculos de dosis basados en modelos y los resultados de las mediciones corporales permite determinar si la evaluación de dosis se ha elaborado partiendo de supuestos más o menos conservadores. Esto podría ser muy útil para validar y calibrar las evaluaciones de dosis basadas en datos de monitorización. Sin embargo, este método sólo puede aplicarse en el caso de los emisores gamma, ya que con los contadores de radiactividad corporal no es posible detectar con suficiente precisión los emisores alfa y beta puros.

7.53. Después de las emergencias las tasas de dosis y los niveles de actividad pueden registrar variaciones considerables en función del tiempo y del espacio. La asignación de valores medios a las personas realmente expuestas introduce más incertidumbres en estas circunstancias que en el caso de situaciones con fluctuaciones relativamente pequeñas de los niveles de actividad en el medio ambiente. Además, es posible que las personas tiendan a aplicar contramedidas espontáneas que incidan en las dosis que cabría prever sobre la base de los datos

de monitorización, reduciéndolas de ese modo hasta niveles incluso muy inferiores a cualquier nivel de intervención o nivel de actuación.

7.54. Para determinar las incertidumbres en las evaluaciones de dosis basadas en resultados de monitorización sería preciso tener en cuenta tanto las incertidumbres que conllevan esos datos como las principales fuentes de incertidumbres en los modelos dosimétricos, según se indican en el cuadro 7. Cuando las incertidumbres en todos los componentes que contribuyen a la dosis estimada son pequeñas, la incertidumbre resultante en la dosis se puede calcular analíticamente como suma de las varianzas pertinentes. Sin embargo, si la incertidumbre y la importancia de uno o más componentes son considerables, sería preciso aplicar un modelo estocástico para evaluar la incertidumbre resultante en la dosis.

7.55. Las incertidumbres en las evaluaciones de dosis se deberían tener en cuenta al interpretar los datos de la monitorización radiológica.

## **8. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN**

### **CONSIDERACIONES GENERALES**

8.1. Los resultados de un programa de monitorización, ya sea de las fuentes, del medio ambiente o individual, se presentan como:

- Niveles de radiación en la fuente de la emisión y concentraciones de radionucleidos en los materiales emitidos;
- Niveles de radiación y concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente;
- Las dosis que de hecho reciben los miembros de los grupos críticos o determinadas poblaciones;
- La dosis proyectada para los miembros de los grupos críticos (en emergencias).

8.2. En el funcionamiento de una práctica los resultados de un programa de monitorización de las fuentes, del medio ambiente y/o individual deberían utilizarse para determinar si las condiciones radiológicas reales respetan los

niveles autorizados; esa verificación ha de efectuarse mediante la comparación con uno de los siguientes valores de referencia :

- Límites de descarga;
- Límites ambientales;
- Restricciones de dosis, en el caso de la monitorización relacionada con fuentes;
- Límites de dosis, en el caso de la monitorización relacionada con personas.

8.3. En las emergencias, los datos de la monitorización de radionucleidos en el medio ambiente, incluso en los alimentos, deberían utilizarse como elementos de apoyo para la adopción de decisiones sobre medidas protectoras y de mitigación; a tal efecto esos datos tendrían que compararse con:

- Los niveles de actuación genéricos o específicos relacionados con las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente o en los alimentos;
- Los niveles de intervención genéricos o específicos relacionados con las dosis a los miembros de los grupos críticos.

8.4. En situaciones de exposición crónica (prolongada), los datos de monitorización podrían utilizarse para justificar la adopción de medidas reparadoras y contramedidas a largo plazo; a tal efecto esos datos tendrían que compararse con:

- Los niveles de actuación genéricos o específicos relacionados con las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente;
- Los niveles de intervención genéricos o específicos relacionados con las dosis a los miembros de los grupos críticos.

8.5. En las emergencias y en las situaciones de exposición crónica (prolongada) los datos de monitorización ambiental también se pueden utilizar en los procedimientos de optimización empleados, en un caso, para justificar la adopción de contramedidas (es decir, medidas protectoras o reparadoras) y, en el otro, para optimizarlas.

8.6. Si bien los métodos y criterios de protección aplicables a la biota todavía están en proceso de desarrollo, los resultados de un programa de monitorización de las fuentes y/o del medio ambiente también se pueden interpretar como expresión de las dosis recibidas por organismos de la biota.

8.7. Los datos de la monitorización de radionucleidos en el medio ambiente pueden emplearse asimismo para los siguientes fines subsidiarios:

- Detectar cambios en las condiciones de la fuente, del medio ambiente o de las personas;
- Determinar las tendencias a largo plazo en los niveles de radionucleidos en el medio ambiente;
- Validar o actualizar el modelo de transferencia de radionucleidos y los modelos de dosis adoptados en los estudios operacionales.

8.8. La monitorización del medio ambiente se puede utilizar para llevar a cabo una verificación independiente de la explotación de un establecimiento y, sobre todo, para detectar cualquier emisión, ruta de emisión o aumento de los niveles de radiación que no se haya previsto. Esas desviaciones de las condiciones normales suelen detectarse a raíz de aumentos o descensos imprevistos en las concentraciones de radionucleidos o en la exposición radiológica. La interpretación de esas desviaciones suele basarse en una comparación con los niveles históricos (que han de registrarse), con mediciones efectuadas en la dirección contraria al viento o a su favor (o bien aguas arriba o aguas abajo, en el caso de los cursos de agua), o con otras mediciones de referencia, para determinar si ese aumento o descenso ha sido ocasionado por el establecimiento. La interpretación de las mediciones de concentraciones de radionucleidos en los bioindicadores puede ser útil en la detección temprana de pequeñas desviaciones de las condiciones normales.

8.9. Para evitar interpretaciones erróneas de los datos de monitorización es preciso conocer a fondo las condiciones de muestreo y medición, por ejemplo:

- La ubicación geográfica;
- El día y la hora;
- La duración del muestreo;
- Los procedimientos de muestreo y medición;
- Un conocimiento adecuado de las cantidades físicas medidas;
- Los niveles de radiación de fondo y las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente.

8.10. Se debería prestar atención a la fiabilidad de los datos, teniendo debidamente en cuenta:

- La precisión y exactitud de los muestreos y las mediciones;

- La variabilidad de los factores ambientales y la representatividad de los muestreos y las mediciones;
- La medición de la actividad total, para lo cual se requieren supuestos adicionales relativos a la composición de los radionucleidos;
- La interpretación de las mediciones inferiores al límite de detección.

8.11. Los supuestos en que se basa el explotador para interpretar los resultados de la monitorización constituyen un componente clave de esa interpretación. En la descripción de la interpretación de los resultados se deberían consignar de manera abierta y transparente los supuestos aplicados en todos los aspectos del proceso de monitorización y en la interpretación de los resultados.

8.12. Por lo general, los programas de monitorización ambiental abarcan mediciones rutinarias y poco costosas de parámetros integrados (por ejemplo, mediciones de la actividad alfa total) y mediciones periódicas de las concentraciones de radionucleidos (mediante espectrometría o análisis radioquímico) en la fuente y/o en determinados sectores del medio ambiente. Para interpretar las mediciones se deberían examinar todas las clases de correlaciones entre los diferentes tipos de monitorización, a saber:

- Entre los resultados de la monitorización de fuentes y los de la monitorización del medio ambiente;
- Entre las mediciones de los niveles de radiación y de las concentraciones de radionucleidos;
- Entre las mediciones de parámetros integrados y de distintos radionucleidos;
- Entre los reconocimientos gamma in situ y las mediciones de muestras;
- Entre las mediciones rutinarias y periódicas;
- Entre las mediciones de radionucleidos y de otros parámetros (por ejemplo, las condiciones climáticas).

## CUMPLIMIENTO DE LOS NIVELES DE REFERENCIA Y DE LOS CRITERIOS RELATIVOS A LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN EN LAS PRÁCTICAS

8.13. Los niveles de referencia y los criterios relativos a la exposición de la población a que se hace referencia en esta sección son normas aceptadas a nivel internacional, regional o nacional. De conformidad con las normas establecidas por el OIEA aceptadas internacionalmente [2], las dosis promedio estimadas para los grupos críticos pertinentes de miembros de la población, que sean atribuibles

a las prácticas, no deberán rebasar de un límite de dosis efectiva de 1 mSv en un año. Las normas regionales se establecen, por ejemplo, en la Directiva de la Comisión Europea de 1996 [36], que se aplica a los Estados miembros de la Unión Europea. Las normas nacionales pueden fijar niveles de dosis de referencia relacionados con fuentes (denominados 'restricciones de dosis') que no deben rebasarse. Los valores nacionales típicos en los diferentes Estados varían entre algunas decenas de microsievverts y 0,5 milisieverts en un año [7].

## **Cumplimiento de los niveles de referencia**

### *Límites de descarga*

8.14. En las prácticas, los explotadores suelen estar sujetos a límites de descarga anuales. Los permisos también pueden fijar otros límites de descarga para períodos más cortos. Sería preciso efectuar mediciones de monitorización de la fuente para cerciorarse de que las descargas no rebasen estos límites.

8.15. Normalmente, deberían utilizarse mediciones integradas en el tiempo - basadas en mediciones radiológicas continuas o en muestreos continuos - para cerciorarse de que no se hayan registrado emisiones sin monitorización. En el caso de las emisiones de radionucleidos que no se descargan en grandes cantidades ni son significativas desde el punto de vista radiológico, se pueden utilizar valores medios basados en mediciones o muestreos periódicos, siempre que no se prevean variaciones importantes en las descargas. Si, por el contrario, se prevén variaciones importantes, el rango de variación debería verificarse periódicamente.

8.16. Los procedimientos que se empleen para tener en cuenta las mediciones deberían explicarse de manera clara e inequívoca. Para tener en cuenta las mediciones inferiores a los límites de detección en el caso de radionucleidos cuya presencia en las descargas se considere probable, se debería determinar una fracción (por ejemplo, el 50%) del volumen de la descarga y multiplicarla por el límite de detección.

8.17. Sería conveniente que al verificar el cumplimiento de los límites de descarga establecidos la estimación de las incertidumbres en las mediciones de las descargas se basara en criterios conservadores.

### *Límites ambientales*

8.18. En los permisos de descarga también pueden fijarse límites ambientales, por ejemplo, límites de radiación en el perímetro del emplazamiento o límites en las concentraciones de radionucleidos o de determinadas categorías de radionucleidos en algunos sectores del medio ambiente. Para determinar si de hecho los niveles de radiación y las concentraciones de radionucleidos se mantienen por debajo de estos límites deberían utilizarse datos de monitorización del medio ambiente.

8.19. Los datos ambientales también pueden servir para comparar los resultados de la monitorización con los de los modelos en que se basan las predicciones relativas a la contaminación del medio ambiente y a la exposición humana a fin de determinar si esos modelos responden a criterios suficientemente conservadores. En caso de que las predicciones basadas en el modelo difieran considerablemente de las basadas en los datos de monitorización, esa discrepancia debería indicar la conveniencia de utilizar un modelo cuya estructura y/o cuyos parámetros respondan a las características específicas del emplazamiento.

8.20. Si los límites se estableciesen como valores medios para determinadas zonas y/o períodos de tiempo, sería necesario promediar los datos de monitorización pertinentes y determinar los errores estándar en los valores medios. Las recomendaciones formuladas en relación con las mediciones de niveles de descarga inferiores al límite de detección y con los medios idóneos para tener en cuenta las incertidumbres también se aplican en el caso de los niveles ambientales.

### **Cumplimiento de los criterios relativos a la exposición de la población**

8.21. Los resultados de la monitorización de fuentes y de la monitorización del medio ambiente relacionada con prácticas tendrían que utilizarse para determinar si las dosis reales causadas por el funcionamiento normal de esas prácticas cumplen los criterios relativos a la exposición de la población.

8.22. Cuando los límites de descarga se establecen mediante una modelización de las dosis a los grupos críticos, la adecuación de los datos de monitorización de fuentes a esos límites indica que las dosis estimadas sobre la base de dichos datos cumplen los criterios de exposición si se utiliza el mismo modelo o un modelo similar. En particular, puesto que las dosis evaluadas a partir de resultados de monitorización de fuentes pueden atribuirse claramente a las fuentes, para

verificar el cumplimiento de las restricciones de dosis convendría utilizar específicamente esos resultados.

8.23. Cuando se dispone de datos integrales de monitorización ambiental sobre las principales vías de exposición humana, éstos deberían utilizarse directamente para evaluar las dosis a los grupos críticos y determinar si de hecho las descargas y los niveles de radiación en el funcionamiento normal de las prácticas cumplen los criterios de exposición relativos a la población. En el caso de una única fuente de descargas en el medio ambiente, sería conveniente comparar la dosis evaluada con la restricción de dosis correspondiente, mientras que si se trata de fuentes múltiples de descarga de radionucleidos las dosis deberían cumplir el límite de 1 mSv en un año.

8.24. La dosis a los miembros de la población tendrían que calcularse sobre la base de los resultados de la monitorización del medio ambiente, teniendo en cuenta la radiación de fondo natural. Estos niveles de fondo se deberían restar de los resultados de las mediciones a fin de determinar únicamente las dosis causadas por las prácticas. Tanto los datos de mediciones estadísticamente significativos (por encima del límite de detección) como las mediciones inferiores al límite de detección pueden utilizarse para evaluar las dosis, teniendo en cuenta las correspondientes incertidumbres.

8.25. Las dosis relacionadas con fuentes también se pueden calcular a partir de los resultados de la monitorización ambiental restando la línea de base, con inclusión de la radiación de fondo natural y de otras fuentes. Sin embargo, esas dosis relacionadas con fuentes deberían interpretarse con cautela porque las fracciones de radiación o las concentraciones de radionucleidos atribuibles a otras fuentes pueden estar sujetas a incertidumbres considerables.

8.26. Al evaluar las dosis y compararlas con los criterios relativos a la exposición de la población deberían tenerse en cuenta todas las incertidumbres que afecten a los resultados de monitorización. La consideración de esas incertidumbres tendría que responder a criterios conservadores; es decir, las dosis evaluadas deberían abarcar las dosis reales a los miembros del grupo crítico:

- Tanto las incertidumbres en las mediciones por encima del límite de detección como las que inciden en la modelización deberían tenerse en cuenta al evaluar las dosis y sus correspondientes incertidumbres;
- A menos que existan razones convincentes para considerar que de hecho las concentraciones de radionucleidos y los niveles de radiación no detectados sean insignificantes, en las evaluaciones de dosis debería suponerse que el

valor de las mediciones inferiores al límite de detección coincide con el valor de dicho límite.

## EVALUACIÓN DE LAS MEDIDAS PROTECTORAS EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN DE EMERGENCIA

8.27. En situaciones de exposición de emergencia sería conveniente que la adopción de medidas protectoras urgentes, incluidas la de refugio, evacuación y profilaxis con yodo, se basara más en la evaluación general y la aplicación de modelos que en los datos de monitorización. Sin embargo, tanto esos datos como las evaluaciones de dosis [2] deberían servir de base principal para adoptar decisiones acerca de la terminación de las medidas protectoras urgentes y la aplicación de medidas protectoras a más largo plazo (por ejemplo, contramedidas en la agricultura o reubicación temporal de la población).

8.28. En situaciones de exposición de emergencia los datos de monitorización de fuentes, cuando los hay, pueden utilizarse para efectuar proyecciones de dosis, que se deberían comparar con los niveles de intervención pertinentes. Los datos de monitorización del medio ambiente tendrían que utilizarse tanto para determinar si se han alcanzado niveles ambientales de actuación genéricos o específicos como para elaborar proyecciones de dosis. Esta recomendación se aplica por igual a los accidentes nucleares y a los radiológicos.

### **Niveles de contaminación ambiental**

8.29. Para adoptar decisiones sobre la aplicación de medidas protectoras en una zona concreta se deberían promediar los niveles de radiación y/o las concentraciones de actividad en los alimentos, el agua potable, los cultivos y otros materiales pertinentes. Sobre la base de los datos preliminares de monitorización disponibles sería preciso determinar zonas con niveles de contaminación radiactiva relativamente uniformes, y utilizar las mediciones para establecer esos promedios, los cuales tendrían que compararse con los niveles de actuación genéricos [2, 37 y 38] o específicos pertinentes, incluidos los NIO [10].

8.30. Por lo general, los niveles de actuación se fijan para determinados radionucleidos o grupos de radionucleidos, de manera que se deberían obtener datos de monitorización pertinentes para compararlos con esos niveles. Sería conveniente confirmar que cada radionucleido importante se ha sometido a una monitorización adecuada (por ejemplo, en un accidente nuclear:  $^{89}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  y  $^{241}\text{Am}$ ). En

caso de accidente nuclear se debería tener en cuenta la desintegración de los radionucleidos de período corto y la consiguiente reducción de los niveles de radiación y de las concentraciones de actividad en el medio ambiente. Cuando se trata de accidentes radiológicos las condiciones de monitorización suelen ser más simples ya que, por lo general, en esos sucesos interviene un número limitado de radionucleidos conocidos.

8.31. Se debería consignar y comunicar al órgano regulador la información disponible que sea pertinente para evaluar las medidas protectoras, a saber:

- Las incertidumbres en las mediciones, sobre todo en el caso de resultados que se aproximen a los niveles de actuación;
- La ubicación y el origen de los alimentos, el agua potable, los cultivos u otros materiales pertinentes abarcados en los muestreos, así como las direcciones y las distancias relativas entre esos lugares y la zona de máximo impacto;
- Las cantidades de alimentos, agua potable, cultivos y otros materiales pertinentes abarcados en los muestreos.

### **Evaluaciones de dosis y criterios relativos a la exposición de la población**

8.32. En una emergencia, los criterios relativos a la exposición de la población aplicables en la toma de decisiones sobre intervenciones en cualquier tipo de circunstancias se basan en proyecciones de dosis absorbidas a corto plazo (es decir, en menos de dos días) o compromisos de dosis a órganos y tejidos: cuerpo entero, médula ósea, pulmones, piel, glándula tiroidea, cristalino y gónadas. Otros criterios relativos a la exposición de la población aplicables en la adopción de medidas protectoras urgentes se basan en dosis efectivas evitables a corto plazo para los períodos siguientes: no más de dos días, no más de una semana, y un mes, según se trate de medidas de refugio, de evacuación o de reubicación temporal. En el caso de la profilaxis con yodo, sería preciso evaluar el compromiso de dosis evitable a la glándula tiroidea por exposición al yodo radiactivo [2].

#### *Datos de monitorización de fuentes*

8.33. Para interpretar como dosis los resultados de la monitorización de fuentes es preciso utilizar modelos informáticos de evaluación de dosis elaborados específicamente para las situaciones de accidente. Sin embargo, convendría tener en cuenta que en las emergencias no suele disponerse de resultados de monitorización de fuentes adecuados. Por consiguiente, la interpretación de esos

datos debería empezar por la verificación de su adecuación, es decir, la verificación de que:

- No puedan registrarse liberaciones de radionucleidos (por ejemplo, ocasionadas por fugas) o emisiones de radiación sin monitorización;
- Los sistemas de monitorización permitan detectar los radionucleidos descargados (por ejemplo, la monitorización de las liberaciones causadas por emisores beta puros o emisores alfa puros);
- Las mediciones correspondan al campo de medición del sistema de monitorización (por ejemplo, si se utilizan sistemas de monitorización estándar, su capacidad de medir niveles de emisión muy elevados);
- El grado de incertidumbre en los resultados de la monitorización siga siendo aceptable.

8.34. Los planes de emergencia pueden requerir estimaciones de los confines superiores para las emisiones de radionucleidos en diversos tipos de accidentes, en muchos casos expresadas como fracciones del inventario; estas estimaciones deberían actualizarse periódicamente.

8.35. Siempre y cuando se disponga de resultados de monitorización de fuentes y modelos informáticos adecuados, así como de otros datos necesarios, por ejemplo, sobre las condiciones climáticas, se deberían calcular las siguientes cantidades para las zonas afectadas por accidentes:

- 1) Las proyecciones de dosis absorbidas o dosis comprometidas a órganos y tejidos (cuerpo entero, médula ósea, pulmones, piel, glándula tiroidea, cristalino y gónadas) para un período de dos días en caso de accidente muy grave;
- 2) Las proyecciones de las dosis efectivas y las dosis efectivas evitables (aplicando medidas protectoras apropiadas) para períodos de dos días, una semana y un mes;
- 3) Las dosis comprometidas a la glándula tiroidea por exposición al yodo radiactivo en caso de accidente nuclear o en otras circunstancias.

8.36. Posteriormente, estas dosis estimadas sobre la base de los resultados de la monitorización de fuentes deberían evaluarse por referencia a los criterios relativos a la exposición de la población para determinar si es preciso aplicar medidas protectoras y, en caso afirmativo, de qué tipo. Una presentación adecuada de las proyecciones de los niveles de dosis consistiría en indicarlás mediante un mapa de isóneas de la zona.

### *Datos de monitorización del medio ambiente*

8.37. En las emergencias se debería hacer amplio uso de los datos de monitorización ambiental para evaluar las dosis externas e internas proyectadas y evitables, ya que su interpretación no suele presentar dificultades ni requiere la adopción de supuestos - que pueden resultar poco fiables - basados en la monitorización o evaluación de fuentes para fines de modelización.

8.38. Las mediciones de la tasa de dosis gamma externa que se obtengan desde la fase inicial de un accidente hasta la fase posterior a la emisión deberían utilizarse como datos de entrada en modelos de cálculo simples para evaluar tanto las proyecciones de dosis absorbidas a órganos y tejidos (en dos días) como - combinándolas con un muestreo atmosférico apropiado durante la fase de emisión - las proyecciones de dosis efectivas y evitables para períodos de dos días, una semana y un mes. En la fase de emisión estas mediciones abarcan la contribución del penacho a la radiación. En la fase posterior a la emisión corresponden principalmente a la radiación procedente de depósitos en el suelo. Es posible que en las inmediaciones de la instalación estas mediciones también abarquen la contribución de la radiación procedente de la fuente.

8.39. Los datos sobre concentraciones de radionucleidos en el aire cercano al suelo que se obtengan con medios de muestreo atmosférico apropiados en la fase de emisión y en la fase posterior a la emisión deberían utilizarse como datos de entrada en modelos de cálculo simples para evaluar tanto las dosis absorbidas por inhalación a órganos y tejidos durante dos días de inhalación como las proyecciones de dosis efectivas y evitables para períodos de dos días, una semana y un mes de inhalación.

8.40. Las dosis por inhalación estimadas se tendrían que añadir a las proyecciones correspondientes de dosis externas absorbidas y dosis efectivas evitables para períodos breves calculadas a partir de las mediciones de las tasas de dosis gamma externas. Posteriormente, las dosis totales (dosis externas más dosis por inhalación) deberían compararse con los criterios relativos a la exposición de la población para determinar si es preciso recomendar la aplicación de medidas de refugio, evacuación o reubicación temporal. Puesto que las mediciones de las tasas de dosis gamma externa no requieren medios costosos y suelen abarcar zonas extensas, sería conveniente interpretarlas para definir la zona donde deban aplicarse medidas protectoras.

8.41. Teniendo en cuenta que la reubicación temporal puede afectar a un gran número de personas y abarcar períodos de tiempo considerables en zonas

extensas, deberían obtenerse conjuntos de resultados de monitorización ambiental suficientemente amplios para poder elaborar estadísticas adecuadas. Esa amplia base de datos, junto con el uso de modelos realistas específicos para el emplazamiento - en lugar de modelos genéricos basados en criterios conservadores - permitiría lograr una reducción considerable de las incertidumbres generales en la evaluación de las dosis.

8.42. Los datos que se obtengan en la fase de emisión mediante el muestreo del yodo radiactivo en suspensión en el aire deberían utilizarse para evaluar tanto las dosis medias absorbidas comprometidas evitables a la glándula tiroidea de los habitantes de las distintas zonas afectadas como para comparar estas dosis con los criterios relativos a la profilaxis con yodo estable.

#### *Datos de monitorización individual*

8.43. En situaciones de emergencia, cuando es posible que la exposición radiológica tenga efectos nocivos considerables en la salud, sería preciso utilizar datos de monitorización individual, correspondientes a la exposición externa e interna, sobre todo para evitar toda subestimación de las dosis. Pese a su complejidad y su costo, los métodos de monitorización individual permiten obtener información útil para validar los métodos de evaluación de dosis basados en la monitorización de fuentes y la monitorización del medio ambiente.

8.44. Los métodos de monitorización individual debidamente calibrados teniendo en cuenta sus incertidumbres inherentes proporcionan los datos más precisos que pueden obtenerse para evaluar las dosis. Los resultados de esta monitorización deberían emplearse en la especificación de modelos de evaluación de la dosis mediante una comparación de las cantidades radiológicas apropiadas (es decir, dosis externas para determinados períodos y/o actividad de radionucleidos en el cuerpo en el momento en que se efectúen las mediciones individuales). Si se observaran discrepancias sistemáticas sería preciso introducir los factores de corrección pertinentes en los modelos de evaluación de dosis.

8.45. Se debería evitar cualquier subestimación de las dosis en situaciones de emergencia. También habría que evitar su sobrestimación, teniendo en cuenta los riesgos que supone la aplicación de medidas protectoras, en particular las de evacuación.

## EVALUACIÓN DE MEDIDAS REPARADORAS EN SITUACIONES DE EXPOSICIÓN CRÓNICA (PROLONGADA)

8.46. Para las situaciones de exposición crónica (prolongada) se han establecido criterios de dosis y niveles de actuación genéricos y/o específicos en lo que respecta al contenido de radionucleidos en los alimentos y el agua potable. A nivel internacional, la CIPR ha recomendado que los niveles reales de dosis efectivas anuales (procedentes de todas las fuentes ambientales, tanto naturales como artificiales) a los miembros de un grupo crítico no sobrepasen los 10 mSv, criterio de dosis genérico por encima del cual puede ser necesario aplicar medidas reparadoras [20]. En algunos países, sobre todo aquellos donde la contaminación radiactiva es considerable, se han establecido normas nacionales sobre los niveles de intervención o los niveles de actuación para dosis atribuibles a situaciones de exposición crónica específicas, así como sobre los niveles de actuación relacionados con la presencia de radionucleidos en los alimentos.

8.47. Teniendo en cuenta la lentitud con que cambian las condiciones de exposición de la población a largo plazo, la evaluación de las dosis a los miembros del grupo crítico debería basarse en los datos de monitorización ambiental más recientes de que se disponga, combinados con modelos simples de equilibrio que sean realistas, y no con modelos de cribado<sup>10</sup>. En la medida de lo posible, estos modelos deberían validarse con datos ambientales y datos de mediciones individuales selectivas.

8.48. Los resultados de la monitorización ambiental y/o individual se deberían utilizar en las dos etapas de aplicación de las medidas reparadoras: primero, como datos de entrada para determinar las medidas que deberían aplicarse, y después, una vez aplicadas esas medidas, para determinar su eficacia y la necesidad de adoptar medidas adicionales.

### **Niveles de contaminación ambiental**

8.49. Los resultados de las mediciones de radionucleidos en lotes importantes de alimentos se deberían comparar con los niveles de actuación genéricos o

---

<sup>10</sup> Los modelos de cribado (véase el Glosario) son modelos simples basados en supuestos conservadores, cuya finalidad específica consiste en determinar los radionucleidos y las vías de exposición que puedan carecer de importancia radiológica en relación con la exposición de la población atribuible a una fuente determinada en un medio determinado.

específicos, teniendo debidamente en cuenta las incertidumbres inherentes a los muestreos y las mediciones.

## **Evaluaciones de dosis y criterios relativos a la exposición de la población**

### *Datos de monitorización ambiental*

8.50. Los resultados de la monitorización ambiental deberían utilizarse principalmente para evaluar, mediante modelos simples, las dosis efectivas anuales medias (dosis atribuibles a situaciones de exposición específicas o dosis reales, según los reglamentos y requisitos nacionales) recibidas por los grupos de la población y los grupos críticos una vez que se han determinado las principales vías de exposición y los radionucleidos que más contribuyen a la dosis total. Las evaluaciones de dosis pertinentes para la zona donde pueda ser necesario aplicar medidas reparadoras tendrían que compararse con los criterios de dosis apropiados.

8.51. Para calcular los beneficios que supone la aplicación de las medidas reparadoras en cuanto a la posible reducción de las dosis se utilizan factores de descontaminación derivados de experimentos realizados a nivel local u otras fuentes de información. Una vez adoptadas las contramedidas, debería aplicarse un programa de monitorización ambiental de confirmación. Las diferencias entre los niveles de radiación o las concentraciones de radionucleidos en los mismos sectores del medio ambiente, tal como se hayan determinado antes y después de la aplicación de las medidas reparadoras teniendo debidamente en cuenta las incertidumbres y la desintegración radiactiva, indican el grado de eficacia de dichas medidas.

### *Datos de monitorización individual*

8.52. Puesto que las situaciones de exposición crónica (prolongada) no suelen comportar peligros de efectos deterministas en la salud de la población, en su caso deberían emplearse métodos de evaluación de dosis basados en estimaciones paramétricas, en lugar de los modelos basados en criterios conservadores que se usan en las emergencias.

8.53. Los resultados de la monitorización selectiva de cierto número de personas en una zona extensa permiten validar modelos de evaluación de dosis de amplia aplicación basados en datos de monitorización ambiental. Hay dos conjuntos de datos que deberían utilizarse para comparar las cantidades radiológicas apropiadas (es decir, dosis externas para determinados períodos y/o actividad de

radionucleidos en el cuerpo en el momento en que se efectúen las mediciones individuales). Si se observaran discrepancias sistemáticas sería preciso introducir los factores de corrección pertinentes en los modelos de evaluación de dosis.

8.54. Los resultados de la monitorización individual de los habitantes de determinadas zonas sujetos a exposición crónica (prolongada) pueden utilizarse inmediatamente para determinar los grupos críticos mediante una comparación directa de los valores medios de monitorización en diferentes grupos de la población seleccionados por edad, género, ocupación y hábitos alimentarios.

## 9. GARANTÍA DE CALIDAD<sup>11</sup>

### GARANTÍA DE CALIDAD DE LA MONITORIZACIÓN

9.1. La garantía de calidad, establecida como requisito en las NBS (referencia [2]. Párr. 2.29), debería ser parte integral tanto en los programas de monitorización de fuentes y del medio ambiente como en los de monitorización individual. La garantía de calidad debería aportar un enfoque disciplinado de todas las actividades que inciden en la calidad, incluida, según proceda, la verificación de cada tarea para determinar si sus objetivos se han cumplido y se han aplicado las medidas correctoras pertinentes.

9.2. Sería conveniente elaborar un programa de garantía de calidad capaz satisfacer como mínimo los requisitos generales establecidos por el órgano regulador para garantizar la calidad en la esfera de la protección radiológica.

9.3. En general, se debería diseñar un programa capaz de garantizar que:

---

<sup>11</sup> El OIEA está revisando los requisitos y orientaciones en materia de garantía de calidad establecidos en la publicación de la Colección Seguridad No. 50-C/SG-Q (1996), a fin de introducir nuevas normas de seguridad sobre sistemas de gestión para la seguridad tecnológica en las instalaciones y actividades en que se utilice la radiación ionizante. En las normas revisadas, la expresión 'sistema de gestión' se utiliza en lugar de las expresiones 'garantía de calidad' y 'programa de garantía de calidad'. Las nuevas normas integrarán en un sistema coherente todos los aspectos de la gestión de una instalación nuclear, incluidos los requisitos en materia de seguridad, salud, medio ambiente y calidad.

- a) se definan la estructura orgánica, las responsabilidades funcionales, los niveles de autoridad y las interfaces entre los encargados de gestionar y realizar las actividades, así como de evaluar su adecuación;
- b) se estudien todas las medidas de gestión, incluida la consideración de los aspectos relacionados con la planificación, la programación y la asignación de recursos;
- c) se establezcan y comprendan los procesos y procedimientos de trabajo;
- d) se cumplan los requisitos reglamentarios en materia de monitorización de fuentes, monitorización del medio ambiente y monitorización individual;
- e) se aplique métodos apropiados de muestreo y medición;
- f) se determinen correctamente los tipos de medio ambiente elegidos, así como los lugares de muestreo y medición y la frecuencia de muestreo correspondiente;
- g) se establezcan sistemas de comparación de los métodos e instrumentos entre distintos laboratorios a nivel nacional e internacional.

9.4. En este contexto, el órgano regulador debería realizar periódicamente un examen independiente de los programas de monitorización de fuentes y de monitorización del medio ambiente que establezcan los titulares licenciados o los titulares registrados.

9.5. Más concretamente, el programa de garantía de calidad debería abarcar lo siguiente:

- a) El diseño y la ejecución de los programas de monitorización, con inclusión de la selección del equipo adecuado, los lugares y procedimientos de muestreo y la documentación correspondiente;
- b) El mantenimiento, el ensayo y la calibración del equipo y los instrumentos para garantizar su correcto funcionamiento;
- c) El uso de normas de calibración que respondan a las normas nacionales o internacionales;
- d) El establecimiento de mecanismos de control y procedimientos de examen y evaluación de la eficacia general del programa de monitorización [7] (se debería documentar cualquier desviación de los procedimientos normales);
- e) La realización de análisis de las incertidumbres;
- f) El establecimiento de requisitos en materia de mantenimiento de registros;
- g) La debida cualificación y capacitación del personal para las instalaciones en que deba desempeñarse.

## GARANTÍA DE CALIDAD DE LA EVALUACIÓN DE DOSIS

9.6. Sería preciso establecer programas de garantía de calidad apropiados para generar confianza en los resultados de las evaluaciones de dosis. Esos programas deberían satisfacer como mínimo los requisitos generales establecidos por el órgano regulador para garantizar la calidad en materia de protección radiológica.

9.7. Los programas de garantía de calidad deberían contener medidas encaminadas al logro de objetivos específicos. Estas medidas han de abarcar la realización de exámenes para verificar si:

- a) se satisfacen los requisitos reglamentarios relativos a las evaluaciones de dosis;
- b) se utilizan resultados apropiados de monitorización de fuentes y monitorización ambiental;
- c) se utilizan modelos y parámetros de evaluación de dosis apropiados;
- d) se han aplicado procedimientos apropiados de calibración, verificación y validación del modelo;
- e) se han realizado correctamente los cálculos de dosis;
- f) se mantiene y facilita la documentación apropiada;
- g) se suministra cualificación y capacitación al personal.

## 10. REGISTRO DE LOS RESULTADOS

### REGISTRO DE LOS DATOS DE MONITORIZACIÓN

10.1. En las NBS [2], se establece que los titulares registrados y los titulares licenciados deben:

- a) “registrar los resultados de la vigilancia radiológica y las exposiciones estimadas” (referencia [2], párr. III.11);
- b) “mantener registros apropiados de los resultados de los programas de vigilancia radiológica” (referencia [2], párr. III.13).

10.2. El registro de los resultados de monitorización y de la información conexas debería contribuir al cumplimiento de los objetivos del programa de monitorización, entre los que figura el requisito de llevar a cabo una comparación entre los valores medidos y los niveles derivados pertinentes, así como, cuando

proceda, calcular la dosis anual al miembro medio del grupo crítico y las dosis colectivas.

10.3. La interpretación de los resultados de los procedimientos de monitorización se considera parte integrante de la monitorización. Los supuestos utilizados en la derivación e interpretación de los resultados de monitorización son un componente clave de esos resultados y deberían constar en los registros.

10.4. La organización de los registros debería corresponder a los objetivos del programa de monitorización definidos por el órgano regulador.

10.5. Para que pueda realizarse una auditoría de los datos de monitorización se deberían mantener registros de todos los resultados intermedios pertinentes obtenidos durante el análisis, así como de los parámetros utilizados en el cálculo de los datos notificados. También convendría que constara en los registros cualquier investigación relativa a sucesos ambientales insólitos.

#### **Datos de monitorización de fuentes**

10.6. Se deberían registrar datos de monitorización de fuentes para documentar las cantidades de radiación emitidas y las tasas de emisión, así como los tipos, las cantidades y las tasas de emisión de los radionucleidos descargados, con la finalidad de demostrar que las dosis de radiación y las tasas de descarga y las descargas anuales se ajustan a lo establecido en la correspondiente autorización.

10.7. Por consiguiente, sería preciso mantener registros detallados de las mediciones de las tasas de dosis de radiación (con indicación de los lugares, momentos e instrumentos) e información conexa sobre la calibración de los instrumentos. También se debería conservar información detallada sobre las mediciones de radionucleidos en las descargas a la atmósfera y al medio acuático, con inclusión de información relativa a los puntos de descarga, los períodos de muestreo, los procedimientos e instrumentos radioanalíticos y datos conexos sobre la calibración de los instrumentos. Asimismo, sería preciso conservar información detallada sobre las tasas de flujo de descarga correlacionadas con las mediciones de radionucleidos, junto con datos pertinentes relativos a la calibración.

#### **Datos de monitorización del medio ambiente**

10.8. Se deberían registrar datos de monitorización del medio ambiente a fin de documentar los niveles de radiación ambiental y las concentraciones de

radionucleidos alrededor de la instalación. Esta información tendría que utilizarse para evaluar la dosis anual al miembro medio del grupo crítico y las dosis colectivas, así como para determinar si las dosis anuales respetan las limitaciones de dosis establecidas en la autorización de descarga. Cuando procede, estas mediciones también se pueden utilizar para demostrar la observancia de los niveles de referencia ambientales especificados en la licencia. Los datos se emplean asimismo para indicar las tendencias de los niveles de radiación ambiental en el curso del tiempo y para determinar si las concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente corresponden a las previstas sobre la base de la monitorización de fuentes.

10.9. El sistema de registro debería ser capaz de conservar toda la información pertinente sobre la toma de muestras individuales y sus mediciones, los procedimientos de calibración y sus incertidumbres, así como resúmenes de los resultados notificados regularmente. También sería necesario conservar información similar acerca de las muestras que se recojan para determinar la radiación de fondo.

### **Datos de monitorización individual**

10.10. Se deberían registrar y documentar datos de monitorización individual para evaluar las dosis individuales recibidas en un período de tiempo determinado y para verificar si las dosis respetan las limitaciones indicadas en la autorización de descarga. El sistema de registro debería ser capaz de conservar toda la información básica necesaria para evaluar las dosis individuales.

10.11. La información sobre las mediciones de dosis externas a las personas debería abarcar datos personales, día y hora de entrega y recogida de los dosímetros, lecturas de los instrumentos, y procedimientos de calibración y determinación de la radiación de fondo. La información procedente de mediciones in vivo de la actividad de radionucleidos en el cuerpo humano debería abarcar datos personales, día y hora de las mediciones, y actividad detectada en el cuerpo.

### **CONSERVACIÓN DE LOS REGISTROS**

10.12. En los requisitos reglamentarios del órgano regulador se debería especificar el período necesario de conservación de los registros correspondientes a la monitorización de fuentes, la monitorización del medio ambiente y la monitorización individual. En la práctica los registros deben conservarse al

menos durante el período de validez de la licencia, incluido el período de clausura, y los 30 años subsiguientes.

## **11. ENSEÑANZA Y CAPACITACIÓN**

11.1. Los órganos reguladores deberían velar por que se establezcan normas de cualificación para los trabajos relacionados con la monitorización de fuentes, la monitorización del medio ambiente y la monitorización individual, así como procedimientos para evaluar la cualificación, la autorización de personas y la acreditación de cursos de capacitación. Estas normas tendrían que abarcar las cualificaciones mínimas necesarias, según el caso, tanto para aplicar las técnicas de muestreo y de medición como para interpretar los resultados de monitorización. Los órganos reguladores deberían verificar si los profesionales cualificados y los cursos acreditados cumplen los requisitos pertinentes [39].

11.2. Los explotadores tendrían que aplicar una estrategia de fomento de las cualificaciones y de la competencia en monitorización de fuentes, monitorización del medio ambiente y monitorización individual, además de velar por que se imparta enseñanza a todo el personal necesario en los niveles de cualificación apropiados.

11.3. Los explotadores deberían elaborar programas de capacitación acordes con las normas de cualificación establecidas por el órgano regulador. Convendría que estos programas abarcaran cursos sobre los conocimientos teóricos necesarios, los principios y requisitos en materia de protección radiológica, la legislación y los reglamentos pertinentes, y las novedades tecnológicas apropiadas, así como exposiciones sobre la experiencia práctica adquirida por los explotadores y estudios de casos. Los programas también tendrían que abarcar demostraciones de los instrumentos utilizados en la monitorización, simulaciones apropiadas de toma de muestras, mediciones in situ y mediciones de muestras e interpretación de los resultados, visitas para observar los sistemas de monitorización en distintas instalaciones nucleares, y capacitación en el trabajo bajo la supervisión de profesionales experimentados. Convendría actualizar periódicamente los programas de capacitación para incorporar las innovaciones tecnológicas y la experiencia adquirida en el funcionamiento de los sistemas de monitorización, y en particular en el análisis de desperfectos y errores humanos.

11.4. Los explotadores deberían establecer programas de readiestramiento periódico del personal a fin de cerciorarse de que los encargados de la monitorización sigan teniendo los niveles de conocimientos especializados necesarios.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios para la gestión de desechos radiactivos, Colección Seguridad N° 111-F, OIEA, Viena (1996).
- [2] 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, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).
- [3] 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 del OIEA N° GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, incluida la clausura, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Disposición final de desechos radiactivos cerca de la superficie, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [6] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Principles of Monitoring for the Radiation Protection of the Population, ICPR Publication 43, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1984).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control reglamentario de las descargas radiactivas al medio ambiente, Colección Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-2.3, OIEA, Viena (2007).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, EPR-METHOD, OIEA, Viena (2009).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic procedures for assessment and response during a radiological emergency, IAEA-TECDOC-1162, Viena (2000).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic assessment procedures for determining protective actions during a reactor accident, IAEA-TECDOC-955, OIEA, Viena (1997).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency, IAEA-TECDOC-1092, OIEA, Viena (1999).

- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Planificación y preparación de medidas de respuesta a emergencias en los accidentes de transporte que afecten a materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad N° TS-G-1.2 (ST-3), OIEA, Viena (2009).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores, Colección Seguridad N° 95, OIEA, Viena (1989).
- [14] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).
- [15] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [16] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° RS-G-1.2, OIEA, Viena (2004).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Colección Seguridad N° 120, OIEA, Viena (1996).
- [18] 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).
- [19] 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).
- [20] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, ICRP Publication 82, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1999).
- [21] 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).
- [22] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors, Colección de Normas de Seguridad, N° WS-G-2.1, OIEA, Viena, (1999).
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Power Reactors for Decommissioning Purposes. Colección de Informes Técnicos N° 389, OIEA, Viena (1998).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Surveillance and Monitoring of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, Colección Informes de Seguridad N° 35, OIEA, Viena (2004).
- [25] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión de desechos radiactivos procedentes de la extracción y el tratamiento de minerales, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° WS-G-1.2, OIEA, Viena (2010).

- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Monitoring and Surveillance of Residues from the Mining and Milling of Uranium and Thorium, Colección Informes de Seguridad N° 27, OIEA, Viena (2002).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste, IAEA-TECDOC-1208, OIEA, Viena (2001).
- [28] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, ICRP Publication 63, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1993).
- [29] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Rapid Monitoring of Large Groups of Internally Contaminated People Following a Radiation Accident, IAEA-TECDOC-746, OIEA, Viena (1994).
- [30] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Assessment of Doses to the Public from Ingested Radionuclides, Colección Informes de Seguridad N° 14, OIEA, Viena (1999).
- [31] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure, Colección Informes de Seguridad N° 18, OIEA, Viena (2000).
- [32] COMISIÓN INTERNACIONAL DE UNIDADES Y MEDIDAS RADIOLÓGICAS, Sampling for Radionuclides in the Environment, ICRU Report 75 (2006).
- [33] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment, Colección Informes de Seguridad N° 19, OIEA, Viena (2001).
- [34] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: ICRP Publication 71, Part 4, Inhalation Dose Coefficients, Vol. 25 3/4, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1995).
- [35] SIMMONDS, J.R., LAWSON, G., MAYALL, A., Methodology for Assessing the Radiological Consequences of Routine Releases of Radionuclides to the Environment, Rep. EUR-15660-EN, Comisión Europea, Luxemburgo (1995).
- [36] COMISIÓN EUROPEA, Directiva 96/29/Euratom, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, Comisión Europea, Luxemburgo (1996).
- [37] Programa Conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y de la Organización Mundial de la Salud sobre Normas Alimentarias, Comisión del Codex Alimentarius, Vol. 1, Sección 6.1 (1991).
- [38] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Directrices para la calidad del agua potable, Recomendaciones del Volumen 1, OMS, Ginebra (1993); y Addendum al Volumen 1 (1998).
- [39] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Creación de competencia en materia de protección radiológica y uso seguro de las fuentes de radiación, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.4, OIEA, Viena (2010).



## GLOSARIO

**accidente.** Todo suceso involuntario, incluidos los errores de operación, fallos de equipo u otros contratiempos, cuyas consecuencias reales o potenciales no sean despreciables desde el punto de vista de la protección o seguridad tecnológica.

**calibración.** Medición o ajuste de un instrumento, componente o sistema para cerciorarse de que su exactitud o respuesta es aceptable.

**contaminación.** Presencia de sustancias radiactivas sobre superficies, o dentro de sólidos, líquidos o gases (incluido el cuerpo humano), donde tal presencia no es ni intencionada ni deseable, o proceso que provoca la presencia de sustancias radiactivas en dichos lugares.

**contramedida.** Medida destinada a atenuar las consecuencias radiológicas de un accidente. Las contramedidas son formas de intervención. Pueden ser medidas protectoras o medidas reparadoras.

**cribado.** Tipo de análisis encaminado a dejar de tomar en consideración factores que son menos importantes para la protección o la seguridad tecnológica, con objeto de concentrarse en los más importantes. Esto se hace generalmente partiendo de escenarios hipotéticos muy pesimistas.

— El cribado se efectúa normalmente en una primera etapa con objeto de reducir el abanico de factores que se deben considerar en detalle en un análisis o evaluación.

**descarga.** Emisión planificada y controlada de material radiactivo (normalmente gas o líquido) al medio ambiente.

**descargas radiactivas.** Sustancias radiactivas procedentes de una fuente adscrita a una práctica, que se vierten en forma de gases, líquidos, aerosoles o sólidos al medio ambiente, en general con el fin de diluirlas y dispersarlas.

**dosis.** Medida de la energía depositada por la radiación en un blanco. Dosis absorbida, dosis equivalente comprometida, dosis efectiva comprometida, dosis efectiva, dosis equivalente o dosis a un órgano, según indique el contexto.

**emergencia.** Situación o suceso no ordinario 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 o radiológicas y las emergencias convencionales tales como incendios, emisiones de productos químicos peligrosos, tormentas o terremotos. Se incluyen también las situaciones que exigen la pronta adopción de medidas para mitigar los efectos de un peligro percibido.

**emergencia nuclear o radiológica.** Emergencia en la que existe, o se considera que existe un peligro debido a: a) la energía derivada de una reacción nuclear en cadena o de la desintegración de los productos de una reacción en cadena; o b) la exposición a la radiación.

**explotador (entidad explotadora).** Cualquier entidad o persona que solicita una autorización, o que esté autorizada y/o sea responsable de la seguridad tecnológica, radiológica, de los desechos radiactivos o del transporte cuando se llevan a cabo actividades o en relación con cualesquiera instalaciones nucleares o fuentes de radiación ionizante. Se incluyen, entre otros, personas privadas, órganos gubernamentales, remitentes o transportistas, titulares de licencia, hospitales, trabajadores por cuenta propia, etc.

**fondo.** Dosis o tasa de dosis (o una medida observada relacionada con la dosis o tasa de dosis) atribuible a todas las fuentes distintas de la o las especificadas.

**fuelle.** Cualquier elemento que pueda causar exposición a las radiaciones – por ejemplo por emisión de radiación ionizante o de materiales o sustancias radiactivas – y que pueda tratarse como un todo a efectos de la protección y seguridad tecnológica. Por ejemplo, los materiales que emiten radón son fuentes presentes en el medio ambiente; una unidad de esterilización por irradiación gamma es una fuente para la práctica de conservación de alimentos por irradiación; un aparato de rayos X puede ser una fuente para la práctica del radiodiagnóstico; una central nuclear es parte de la práctica de generación de electricidad por medio de la fisión nuclear, y puede considerarse una fuente (por ejemplo, con respecto a las descargas al medio ambiente) o una colección de fuentes (por ejemplo, a efectos de la protección radiológica ocupacional). Un complejo o establecimiento múltiple situado en un mismo lugar o emplazamiento puede ser considerado, cuando proceda, como una fuente única a efectos de la aplicación de las normas de seguridad internacionales.

**garantía de calidad.** Conjunto de medidas planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar confianza en que un elemento, proceso o servicio satisfará determinados requisitos de calidad, por ejemplo, los especificados en la licencia.

**grupo crítico.** Grupo de miembros de la población razonablemente homogéneo con respecto a su exposición a una fuente de radiación dada, y característico de los individuos que reciben la dosis efectiva o la dosis equivalente más alta (según el caso) a causa de la fuente dada.

**inscripción en registro.** Forma de autorización de prácticas de riesgo bajo o moderado en virtud de la cual la persona jurídica responsable de la práctica, si procede, ha efectuado una evaluación de la seguridad tecnológica de las instalaciones y el equipo y la ha presentado al órgano regulador. La práctica o el uso se autoriza con las condiciones o limitaciones que correspondan. Los requisitos de evaluación de la seguridad tecnológica y las condiciones o limitaciones aplicadas a la práctica deberían ser menos rigurosos que para la concesión de licencia. El titular de una inscripción en registro en vigor se denomina titular registrado.

**intervención.** Toda acción encaminada a reducir o evitar la exposición o la probabilidad de exposición a fuentes que no forman parte de una práctica controlada o que se hallan sin control como consecuencia de un accidente.

**licencia.** Documento jurídico que expide el órgano regulador por el cual se concede la autorización para realizar determinadas actividades relacionadas con una instalación o actividad. La persona o entidad que posee una licencia vigente es el titular de la licencia.

**límite de dosis.** Valor de la dosis efectiva o la dosis equivalente causada a los individuos por prácticas controladas, que no se deberá rebasar.

**medida protectora.** Intervención destinada a evitar o reducir las dosis a los miembros de la población en situaciones de emergencia o de exposición crónica.

**medida reparadora.** Acción que se realiza, cuando se rebasa un nivel de actuación determinado, para reducir las dosis de radiación que de lo contrario pudieran recibirse en una situación de intervención que implique exposición crónica.

**miembro de la población.** En sentido general, cualquier persona de la población excepto, a los fines de protección y seguridad tecnológica, las personas sometidas a exposición ocupacional o médica. A los efectos de verificar el cumplimiento del límite de dosis anual para la exposición del público, la persona representativa del grupo crítico correspondiente.

**modelo.** Representación analítica o cuantificación de un sistema real y de las maneras en que tienen lugar fenómenos en ese sistema, y que se emplea para predecir o evaluar el comportamiento del sistema real en condiciones especificadas (frecuentemente hipotéticas).

**monitorización.** Medición de la dosis o la contaminación por razones relacionadas con la evaluación o el control de la exposición a la radiación o a sustancias radiactivas, e interpretación de los resultados.

**monitorización de efluentes.** Véase ‘monitorización de fuentes’.

**monitorización de fuentes.** Medición de la actividad de los materiales radiactivos emitidos al medio ambiente o de las tasas de dosis externas ocasionadas por fuentes en una instalación o actividad.

**monitorización del medio ambiente.** Medición de las tasas de dosis externa ocasionadas por fuentes presentes en el medio ambiente o por concentraciones de radionucleidos en el medio ambiente.

**monitorización individual.** Monitorización radiológica mediante mediciones efectuadas con equipo que lleva puesto cada trabajador, o mediciones de las cantidades de materiales radiactivos en sus cuerpos o sobre ellos.

**nivel de actuación.** Nivel de la tasa de dosis o de la concentración de la actividad por encima del cual se deberían adoptar medidas reparadoras o medidas protectoras en situaciones de exposición crónica o de exposición de emergencia.

**nivel de intervención.** Nivel de dosis evitable al alcanzarse el cual se adopta una medida protectora o una medida reparadora específica ante una emergencia o una situación de exposición crónica.

**nivel de intervención operacional (NIO).** Nivel calculado, medido por instrumentos o determinado mediante análisis en el laboratorio, que corresponde a un nivel de intervención o nivel de actuación.

**nivel de referencia.** Nivel de actuación, nivel de intervención, nivel de investigación o nivel de registro.

**órgano regulador.** Autoridad o conjunto de autoridades a las que el gobierno de un Estado confiere facultades legales para llevar a cabo el proceso de reglamentación, incluida la concesión de autorizaciones y, de este modo, reglamentar la seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte.

**práctica.** Toda actividad humana que introduce fuentes de exposición o vías de exposición adicionales o extiende la exposición a más personas o modifica el conjunto de vías de exposición debidas a las fuentes existentes, de forma que aumente la exposición o la probabilidad de exposición de personas o el número de las personas expuestas.

**preparación para emergencias.** Capacidad para adoptar medidas que atenuarán eficazmente las consecuencias de una emergencia para la salud y seguridad humanas, la calidad de vida, los bienes y el medio ambiente.

**restricción de dosis.** Restricción prospectiva de la dosis individual administrada por una fuente, que se utiliza para fijar una cota superior de la dosis en la optimización de la protección y la seguridad tecnológica de la fuente.

**término fuente.** Cantidad y composición isotópica del material emitido (o que supuestamente se emitirá) desde una instalación. Se usa para establecer modelos de las emisiones de radionucleidos al medio ambiente, especialmente en el contexto de accidentes en instalaciones nucleares o de emisiones de desechos radiactivos presentes en repositorios.

**umbral de detección o actividad mínima detectable.** Radiactividad que, cuando está presente en una muestra, produce una tasa de recuento que se detecta (es decir, que se considera por encima del fondo) con un nivel de confianza determinado.

**validación del modelo.** Proceso por el que se determina si un modelo es una representación adecuada del sistema real que se representa, mediante la comparación de las predicciones del modelo con observaciones del sistema real.

**vía crítica.** Vía por la que el grupo crítico está expuesto a la mayor dosis.

**vía de exposición.** Ruta por la que la radiación o los radionucleidos pueden alcanzar a los seres humanos y causar exposición. Una vía de exposición puede ser muy simple, por ejemplo, la exposición externa a radionucleidos presentes en el aire, o una cadena más compleja, por ejemplo, la exposición interna por ingestión de leche de vacas que hayan comido pastos contaminados por radionucleidos depositados sobre el terreno.

## COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

Anspaugh, L.	Universidad de Utah (Estados Unidos de América)
Balonov, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Bruno, H.	Autoridad Regulatoria Nuclear (Argentina)
Chartier, M.	Instituto de Protección y de Seguridad Nuclear (Francia)
Crabol, B.	Instituto de Protección y de Seguridad Nuclear (Francia)
Coverdale, N.	British Nuclear Fuels plc. (Reino Unido)
Gesell, T.	Universidad Estatal de Idaho (Estados Unidos de América)
Hegde, A.G.	Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas (India)
Ilus, E.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear (Finlandia)
Inoue, Y.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Janssens, A.	Comisión de las Comunidades Europeas (Luxemburgo)
Jones, C.	Comisión Reguladora Nuclear (Estados Unidos de América)
Keenan, N.	Consejo de Seguridad Nuclear (Sudáfrica)
Krishnamony, S.	Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas (India)
Linsley, G.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Martincic, R.	Instituto Josef Stefan (Eslovenia)
McKenna, T.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Moriuchi, S.	Centro para la Seguridad de la Tecnología Nuclear (Japón)
Pröhl, G.	Centro de Investigación sobre el Medio Ambiente y la Salud (GSF) (Alemania)

Robinson, C.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Sjöblom, K.-L.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Schönhofer, F.	Instituto Federal de Control e Investigación sobre Alimentos (Austria)
Voillequé, P.	MJP Risk Assessment, Inc. (Estados Unidos de América)
Wirth, E.	Instituto de Higiene de las Radiaciones de la Oficina Federal de Protección Radiológica (Alemania)

## ÓRGANOS ASESORES PARA LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

*Los miembros corresponsales se indican con un asterisco (\*). Estos miembros reciben borradores para formular comentarios, así como otra documentación pero, generalmente, no participan en las reuniones.*

### Comisión sobre Normas de Seguridad

*Alemania: Majer, D.; Argentina: Oliveira, A.; Australia: Loy, J.; Brasil: Souza de Assis, A.; Canadá: Pereira, J.K.; China: Li, G.; Dinamarca: Ulbak, K.; Egipto: Abdel-Hamid, S.B.; España: Azuara, J.A.; Estados Unidos de América: Virgilio, M.; Federación de Rusia: Malyshev, A.B.; Francia: Lacoste, A.-C.; India: Sukhatme, S.P.; Japón: Abe, K.; Pakistán: Hashimi, J.; Reino Unido: Williams, L.G. (Presidencia); República Checa: Drabova, D.; República de Corea: Eun, Y.-S.; Suecia: Holm, L.-E.; Suiza: Schmocker, U.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Shimomura, K.; Comisión Europea: Waeterloos, C.; Comisión Internacional de Protección Radiológica: Holm, L.-E.; OIEA: Karbassioun, A.*

### Comité sobre Normas de Seguridad Nuclear

*Alemania: Feige, G.; Argentina: Sajaroff, P.; Australia: MacNab, D.; \*Belarús: Sudakou, I.; Bélgica: Govaerts, P.; Brasil: Salati de Almeida, I.P.; Bulgaria: Gantchev, T.; Canadá: Hawley, P.; China: Wang, J.; \*Egipto: Hassib, G.; España: Mellado, I.; Estados Unidos de América: Mayfield, M.E.; Federación de Rusia: Baklushin, R.P.; Finland: Reiman, L. (Presidencia); Francia: Saint Raymond, P.; Hungría: Vöröss, L.; India: Kushwaha, H.S.; Irlanda: Hone, C.; Israel: Hirshfeld, H.; Japón: Yamamoto, T.; Lituania: Demcenko, M.; \*México: Delgado Guardado, J.L.; Países Bajos: de Munk, P.; \*Pakistán: Hashimi, J.A.; \*Perú: Ramírez Quijada, R.; Reino Unido: Hall, A.; República Checa: Böhm, K.; República de Corea: Lee, J.-I.; Sudáfrica: Bester, P.J.; Suecia: Jende, E.; Suiza: Aeberli, W.; \*Tailandia: Tanipanichskul, P.; Turquía: Alten, S.; Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE: Hrehor, M.; Comisión Europea: Schwartz, J.-C.; OIEA: Bevington, L. (Coordinación); Organización Internacional de Normalización: Nigon, J.L.*

## Comité sobre Normas de Seguridad Radiológica

*Alemania*: Landfermann, H.; *Argentina*: Rojkind, R.H.A.; *Australia*: Melbourne, A.; *\*Belarús*: Rydlevski, L.; *Bélgica*: Smeesters, P.; *Brasil*: Amaral, E.; *Canadá*: Bundy, K.; *China*: Yang, H.; *Cuba*: Betancourt Hernández, A.; *Dinamarca*: Ulbak, K.; *\*Egipto*: Hanna, M.; *Eslovaquia*: Jurina, V.; *España*: Amor, I.; *Estados Unidos de América*: Paperiello, C.; *Federación de Rusia*: Kutkov, V.; *Finlandia*: Markkanen, M.; *Francia*: Piechowski, J.; *Hungría*: Koblinger, L.; *India*: Sharma, D.N.; *Irlanda*: Colgan, T.; *Israel*: Laichter, Y.; *Italia*: Sgrilli, E.; *Japón*: Yamaguchi, J.; *\*Madagascar*: Andriambololona, R.; *\*México*: Delgado Guardado, J.L.; *Noruega*: Saxebol, G.; *\*Países Bajos*: Zuur, C.; *\*Perú*: Medina Gironzini, E.; *Polonia*: Merta, A.; *Reino Unido*: Robinson, I. (Presidencia); *República Checa*: Drabova, D.; *República de Corea*: Kim, C.W.; *Sudáfrica*: Olivier, J.H.I.; *Suecia*: Hofvander, P.; Moberg, L.; *Suiza*: Pfeiffer, H.J.; *\*Tailandia*: Pongpat, P.; *Turquía*: Uslu, I.; *Ucrania*: Likhtarev, I.A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Lazo, T.; *Asociación Internacional de Protección Radiológica*: Webb, G.; *Comisión Europea*: Janssens, A.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas*: Gentner, N.; *Oficina Internacional del Trabajo*: Niu, S.; *OIEA*: Boal, T. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Perrin, M.; *Organización Mundial de la Salud*: Carr, Z.; *Organización Panamericana de la Salud*: Jiménez, P.

## Comité sobre Normas de Seguridad en el Transporte

*Alemania*: Rein, H.; *Argentina*: López Vietri, J.; *Australia*: Colgan, P.; *\*Belarús*: Zaitsev, S.; *Bélgica*: Cottens, E.; *Brasil*: Mezrahi, A.; *Bulgaria*: Bakalova, A.; *Canadá*: Viglasky, T.; *China*: Pu, Y.; *\*Dinamarca*: Hannibal, L.; *Egipto*: El-Shinawy, R.M.K.; *España*: Zamora Martín, F.; *Estados Unidos de América*: Brach, W.E.; McGuire, R.; *Federación de Rusia*: Ershov, V.N.; *Francia*: Aguilar, J.; *Hungría*: Sáfár, J.; *India*: Nandakumar, A.N.; *Irlanda*: Duffy, J.; *Israel*: Koch, J.; *Italia*: Trivelloni, S.; *Japón*: Saito, T.; *Noruega*: Hornkjøl, S.; *Países Bajos*: Van Halem, H.; *\*Perú*: Regalado Campaña, S.; *Reino Unido*: Young, C.N. (Presidencia); *República de Corea*: Kwon, S.-G.; *Rumania*: Vieru, G.; *Sudáfrica*: Jutle, K.; *Suecia*: Pettersson, B.G.; *Suiza*: Knecht, B.; *\*Tailandia*: Jerachanchai, S.; *Turquía*: Köksal, M.E.; *Asociación de Transporte Aéreo Internacional*: Abouchaar, J.; *Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa*: Kervella, O.; *Comisión Europea*: Rossi, L.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas*: Tisdall, A.; *Instituto Mundial de Transporte Nuclear*: Lesage, M.; *OIEA*: Wangler, M.E. (Coordinación);

*Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *Organización Internacional de Normalización*: Malesys, P.; *Organización Marítima Internacional*: Rahim, I.

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

*Alemania*: von Dobschütz, P.; *Argentina*: Siraky, G.; *Australia*: Williams, G.; *\*Belarús*: Rozdyalovskaya, L.; *Bélgica*: Baekelandt, L. (Presidencia); *Brasil*: Xavier, A.; *\*Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Ferch, R.; *Cuba*: Benítez, J.; *China*: Fan, Z.; *\*Dinamarca*: Øhlenschlaeger, M.; *\*Egipto*: Al Adham, K.; Al Sorogi, M.; *Eslovaquia*: Konecny, L.; *España*: López de la Higuera, J.; Ruiz López, C.; *Estados Unidos de América*: Greeves, J.; Wallo, A.; *Federación de Rusia*: Poluektov, P.P.; *Finlandia*: Ruokola, E.; *Francia*: Averous, J.; *Hungría*: Czoch, I.; *India*: Raj, K.; *Irlanda*: Pollard, D.; *Israel*: Avraham, D.; *Italia*: Dionisi, M.; *Japón*: Irie, K.; *\*Madagascar*: Andriambololona, R.; *México*: Aguirre Gómez, J.; Delgado Guardado, J.; *\*Noruega*: Sorlie, A.; *Países Bajos*: Selling, H.; *Pakistán*: Hussain, M.; *\*Perú*: Gutiérrez, M.; *Reino Unido*: Wilson, C.; *República de Corea*: Song, W.; *Sudáfrica*: Pather, T.; *Suecia*: Wingefors, S.; *Suiza*: Zurkinden, A.; *\*Tailandia*: Wangcharoenroong, B.; *Turquía*: Osmanlioglu, A.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE*: Riotte, H.; *Comisión Europea*: Taylor, D.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinación); *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.





# IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Nº 22

## Lugares donde se pueden encargar publicaciones del OIEA

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

### ALEMANIA

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

### AUSTRALIA

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

### BÉLGICA

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

### CANADÁ

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

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

### CHINA

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

### ESLOVENIA

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

### ESPAÑA

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

### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

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

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

### FINLANDIA

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

### FRANCIA

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

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

## HUNGRÍA

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

## INDIA

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

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

## ITALIA

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

## JAPÓN

Maruzen Company, Ltd., 13-6 Nihonbashi, 3 chome, Chuo-ku, Tokyo 103-0027  
Teléfono: +81 3 3275 8582 • Fax: +81 3 3275 9072  
Correo-e: [journal@maruzen.co.jp](mailto:journal@maruzen.co.jp) • Sitio web: <http://www.maruzen.co.jp>

## NACIONES UNIDAS

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

## NUEVA ZELANDIA

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

## PAÍSES BAJOS

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

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

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

## REINO UNIDO

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

Pedidos en línea

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

Libros relacionados con el medio ambiente

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

## REPÚBLICA CHECA

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

## REPÚBLICA DE COREA

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

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

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

Centro Internacional de Viena, P.O. Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: +43 1 2600 22529 (ó 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Correo-e: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Sitio web: <http://www.iaea.org/books>

## Seguridad mediante las normas internacionales

**El objetivo fundamental de la seguridad es proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.**

Este objetivo fundamental de proteger a las personas — individual y colectivamente — y el medio ambiente debe alcanzarse sin restringir indebidamente la explotación de las instalaciones o la realización de actividades que sean fuente de riesgos asociados a las radiaciones.

— Principios fundamentales de seguridad Nocións fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No SF-1, (2006)

**ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA**

**ISBN 978-92-0-306010-3**

**ISSN 1020-5837**