

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

# COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Protección radiológica  
ocupacional en la minería  
y el tratamiento de las  
materias primas

PATROCINADA CONJUNTAMENTE POR  
EL OIEA Y LA OIT



IAEA



## GUÍA DE SEGURIDAD

Nº RS-G-1.6



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
OCUPACIONAL EN LA MINERÍA  
Y EL TRATAMIENTO  
DE LAS MATERIAS PRIMAS

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

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”.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

COLECCIÓN DE  
NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA N° RS-G-1.6

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
OCUPACIONAL EN LA MINERÍA  
Y EL TRATAMIENTO  
DE LAS MATERIAS PRIMAS

GUÍA DE SEGURIDAD

PATROCINADA CONJUNTAMENTE  
POR EL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
Y LA OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2009

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## 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 Promoción y Venta de Publicaciones  
Sección Editorial  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Wagramer Strasse 5  
P.O. 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, 2009

Impreso por el OIEA en Austria  
Julio de 2009

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA OCUPACIONAL EN LA MINERÍA  
Y EL TRATAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

OIEA, VIENA, 2009  
STI/PUB/1183  
ISBN 978-92-0-307509-1  
ISSN 1020-5837

## PRÓLOGO

**Mohamed ElBaradei**  
**Director General**

Una de las funciones estatutarias del OIEA es establecer o adoptar normas de seguridad para proteger, en el desarrollo y la aplicación de la energía nuclear con fines pacíficos, la salud, la vida y los bienes, y proveer lo necesario para la aplicación de esas normas a sus propias operaciones, así como a las realizadas con su asistencia y, a petición de las Partes, a las operaciones que se efectúen en virtud de cualquier arreglo bilateral o multilateral, o bien, a petición de un Estado, a cualquiera de las actividades de ese Estado en el campo de la energía nuclear.

Los siguientes órganos supervisan la elaboración de las normas de seguridad: la Comisión sobre normas de seguridad (CSS); el Comité sobre normas de seguridad nuclear (NUSSC); el Comité sobre normas de seguridad radiológica (RASSC); el Comité sobre normas de seguridad en el transporte (TRANSSC); y el Comité sobre normas de seguridad de los desechos (WASSC). Los Estados Miembros están ampliamente representados en estos comités.

Con el fin de asegurar el más amplio consenso internacional posible, las normas de seguridad se presentan además a todos los Estados Miembros para que formulen observaciones al respecto antes de aprobarlas la Junta de Gobernadores del OIEA (en el caso de las Nociones fundamentales de seguridad y los Requisitos de seguridad) o el Comité de Publicaciones, en nombre del Director General, (en el caso de las Guías de seguridad).

Aunque las normas de seguridad del OIEA no son jurídicamente vinculantes para los Estados Miembros, éstos pueden adoptarlas, a su discreción, para utilizarlas en sus reglamentos nacionales respecto de sus propias actividades. Las normas son de obligado cumplimiento para el OIEA en relación con sus propias operaciones, así como para los Estados en relación con las operaciones para las que éste preste asistencia. A todo Estado que desee concertar con el OIEA un acuerdo para recibir su asistencia en lo concerniente al emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación o clausura de una instalación nuclear, o a cualquier otra actividad, se le pedirá que cumpla las partes de las normas de seguridad correspondientes a las actividades objeto del acuerdo. Ahora bien, conviene recordar que, en cualquier trámite de concesión de licencia, la decisión definitiva y la responsabilidad jurídica incumbe a los Estados.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

Si bien las mencionadas normas establecen las bases esenciales para la seguridad, puede ser también necesario incorporar requisitos más detallados, acordes con la práctica nacional. Además, existirán por lo general aspectos especiales que será necesario aquilatar en función de las circunstancias particulares de cada caso.

Se menciona cuando procede, pero sin tratarla en detalle, la protección física de los materiales fisiónables y radiactivos y de las centrales nucleares en general; las obligaciones de los Estados a este respecto deben enfocarse partiendo de la base de los instrumentos y publicaciones aplicables elaborados bajo los auspicios del OIEA. Tampoco se consideran explícitamente los aspectos no radiológicos de la seguridad industrial y la protección del medio ambiente; se reconoce que, en relación con ellos, los Estados deben cumplir sus compromisos y obligaciones internacionales.

Es posible que algunas instalaciones construidas conforme a directrices anteriores no satisfagan plenamente los requisitos y recomendaciones prescritos por las normas de seguridad del OIEA. Corresponderá a cada Estado decidir la forma de aplicar tales normas a esas instalaciones.

Se señala a la atención de los Estados el hecho de que las normas de seguridad del OIEA, si bien no jurídicamente vinculantes, se establecen con miras a conseguir que las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear y los materiales radiactivos se realicen de manera que los Estados puedan cumplir sus obligaciones derivadas de los principios generalmente aceptados del derecho internacional y de reglas como las relativas a la protección del medio ambiente. Con arreglo a uno de esos principios generales, el territorio de un Estado ha de utilizarse de forma que no se causen daños en otro Estado. Los Estados tienen así una obligación de diligencia y un criterio de precaución.

Las actividades nucleares civiles desarrolladas bajo la jurisdicción de los Estados están sujetas, como cualesquier otras actividades, a las obligaciones que los Estados suscriben en virtud de convenciones internacionales, además de a los principios del derecho internacional generalmente aceptados. Se cuenta con que los Estados adopten en sus ordenamientos jurídicos nacionales la legislación (incluidas las reglamentaciones) así como otras normas y medidas que sean necesarias para cumplir efectivamente todas sus obligaciones internacionales.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## **PREFACIO**

La presente guía de seguridad, que contiene recomendaciones y orientaciones destinadas a dar cumplimiento a los requisitos para el establecimiento de programas de protección radiológica ocupacional en la industria de extracción y tratamiento de materias primas, es una publicación conjunta del OIEA y la Oficina Internacional del Trabajo (OIT). En ella se actualiza y amplía el contenido del Código de práctica y Suplemento técnico que figura en la publicación del OIEA "Protección radiológica de los trabajadores en la minería y tratamiento de minerales radiactivos" que salió a la luz en 1983 como Vol. No. 26 de la Colección Seguridad. Esa publicación fue la versión revisada del Código de práctica que elaboraron inicialmente la OIT y el OIEA de manera conjunta, y que fue publicada por la OIT en 1968 como Parte VI de su "Manual de protección contra las radiaciones en la industria".



La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

#### NOTA EDITORIAL

*En caso de que el documento contenga apéndices, éstos formarán parte integrante del documento y tendrán la misma importancia que el texto principal. En caso de que contenga anexos, notas de pie de página y bibliografías, su finalidad es proporcionar información adicional o dar ejemplos prácticos que podrían ser de utilidad para el usuario.*

*En las normas de seguridad se emplea la forma verbal “deberá” (en inglés “shall”) cuando se enuncian requisitos, deberes y obligaciones. La forma “debería” o “debe” (en inglés “should”) se usa para indicar recomendaciones de una opción deseada.*

*La versión en inglés del texto es la versión autorizada.*

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
	Antecedentes (1.1–1.4) .....	1
	Objetivo (1.5–1.6) .....	2
	Ámbito de aplicación (1.7–1.10) .....	3
	Estructura (1.11) .....	4
2.	CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS Y DESEMPEÑO DE RESPONSABILIDADES .....	5
	Campo de aplicación de los requisitos y las recomendaciones (2.1–2.7) .....	5
	Notificación y autorización (2.8–2.14) .....	9
	Solicitud de autorización (2.15–2.25) .....	11
	Responsabilidades (2.26–2.27) .....	15
	Inspección e incumplimiento (2.28–2.35) .....	16
3.	LIMITACIÓN DE DOSIS .....	18
	Aplicación de los principales requisitos de protección radiológica (3.1–3.4) .....	18
	Límites de dosis (3.5–3.6) .....	19
	Circunstancias especiales (3.7) .....	20
	Verificación del cumplimiento de los límites de dosis (3.8–3.20) .....	20
4.	PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA .....	27
	Consideraciones generales (4.1–4.3) .....	27
	Expertos cualificados (4.4–4.11) .....	29
	Monitorización radiológica y evaluación de dosis (4.12–4.35) .....	31
5.	MEDIDAS DE PROTECCIÓN TECNOLÓGICAS Y ADMINISTRATIVAS .....	38
	Consideraciones generales (5.1–5.2) .....	38
	Ventilación (5.3–5.10) .....	39
	Control del polvo (5.11–5.12) .....	40

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

Consideraciones relacionadas con el control en el tratamiento de las materias primas (5.13–5.20) . . . . .	41
Limpieza de derrames (5.21–5.22) . . . . .	42
Liberación de requisitos impuestos a materiales y equipos de las minas e instalaciones de tratamiento (5.23–5.25) . .	43
Equipo protector individual (5.26–5.34) . . . . .	43
Higiene personal (5.35–5.38) . . . . .	45
Primeros auxilios (5.39–5.41) . . . . .	46
Rotación en el trabajo (5.42) . . . . .	46
6. VIGILANCIA DE LA SALUD (6.1–6.4) . . . . .	46
APÉNDICE I: RESPONSABILIDADES DE LOS EMPLEADORES Y LOS TRABAJADORES . . . . .	49
APÉNDICE II: COEFICIENTES DE DOSIS CORRESPONDIENTES A RADIONUCLEIDOS DE DISTINTOS TIPOS DE ABSORCIÓN PULMONAR . . . . .	55
APÉNDICE III: ORIENTACIÓN GENÉRICA SOBRE EL PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA . . . . .	57
APÉNDICE IV: TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN RADIOLÓGICA . . . . .	70
APÉNDICE V: EQUIPO PROTECTOR RESPIRATORIO . . . . .	77
APÉNDICE VI: ORIENTACIÓN GENÉRICA SOBRE LA VIGILANCIA DE LA SALUD . . . . .	79
REFERENCIAS . . . . .	85
ANEXO: RELACIONES ENTRE LA ACTIVIDAD ALFA TOTAL Y LA DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA EN CASO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MINERAL QUE CONTENGA URANIO O TORIO . . . . .	89
GLOSARIO . . . . .	97
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN . . . . .	105
ENTIDADES ENCARGADAS DE LA APROBACIÓN DE LAS NORMAS DE SEGURIDAD . . . . .	107

## 1. INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

1.1. En buen número de Estados Miembros se lleva a cabo la extracción y el tratamiento de mineral de uranio, de mineral de torio y de otras materias primas<sup>1</sup> que contienen radionucleidos naturales. Existe una necesidad clara de actualizar las directrices sobre la protección radiológica de los trabajadores y en esta Guía de Seguridad se presenta dicha actualización. Se han adaptado textos procedentes de dos publicaciones previas para incluirlos en ella. Estas publicaciones anteriores — “Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores” (Colección Seguridad N° 95) y “Protección radiológica de los trabajadores en la minería y tratamiento de minerales radiactivos” (Colección Seguridad N° 26, reemplazada por la presente) — trataban principalmente de las actividades relacionadas con los minerales de uranio y de torio. En otros depósitos minerales, tales como las arenas de minerales pesados y las rocas fosfáticas, las concentraciones de actividad de radionucleidos naturales son elevadas. Además, se pueden encontrar niveles de radón elevados en las minas, con independencia de las concentraciones de actividad de los radionucleidos naturales existentes en las materias primas que se extraigan. Reconociendo estas circunstancias, la presente Guía se destina también a su aplicación en la minería y tratamiento de cualquier materia prima para la que sea necesario tener en cuenta medidas de protección radiológica.

1.2. La publicación de Nociones fundamentales de seguridad del OIEA titulada “Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources” [1] expone los principios, conceptos y objetivos de la protección y la seguridad. Los requisitos de seguridad basados en los objetivos y principios que se especifican en esas Nociones fundamentales, incluso los requisitos para la protección de los trabajadores expuestos a la radiación ionizante, están establecidos en las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación (Normas Básicas de Seguridad o NBS) [2]. Estos requisitos, además, responden a las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) [3–6].

---

<sup>1</sup> El término “materia prima” designa en esta publicación los materiales naturales extraídos de la tierra. Esto no incluye las tierras que hayan sido contaminadas con material radiactivo como resultado de actividades humanas anteriores.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

1.3. Las guías de seguridad ofrecen recomendaciones en varias áreas importantes, basadas en la experiencia internacional relativa al cumplimiento de los requisitos. Tres de esas guías, mutuamente relacionadas [7–9], tratan de la protección radiológica ocupacional. La primera presenta directrices para satisfacer los requisitos de protección radiológica ocupacional establecidos en las NBS; las otras dos tratan de la monitorización radiológica de la exposición ocupacional a las fuentes de radiación externas y de las incorporaciones de radionucleidos, respectivamente, así como de la evaluación de las dosis. La presente Guía de Seguridad, basada en las Refs. [7–9], ofrece recomendaciones y orientación para satisfacer los requisitos del establecimiento de programas de protección radiológica ocupacional en la minería y el tratamiento de las materias primas.

1.4. La edición de 1983 de la publicación “Protección radiológica de los trabajadores en la minería y tratamiento de minerales radiactivos” (Colección Seguridad N° 26), se refería únicamente a los aspectos administrativos y prácticos de la protección radiológica, atañendo principalmente a las instalaciones para la minería y el tratamiento de uranio y torio. La presente Guía de Seguridad incluye disposiciones acerca de la autorización de las actividades de minería y tratamiento, la inspección y el cumplimiento de las condiciones de la autorización, y las medidas necesarias en caso de incumplimiento. Además, se ofrece más orientación para las instalaciones de minería y tratamiento que no sean de explotación de uranio o torio.

### OBJETIVO

1.5. El fin principal de esta guía de seguridad es dar orientación práctica a los órganos reguladores para satisfacer los requisitos relativos a la protección radiológica de quienes trabajen en la extracción y tratamiento de las materias primas. La guía también será útil a los empleadores, los titulares de las licencias, los titulares registrados, los órganos de administración y sus especialistas consultores y a los comités de salud y seguridad que tengan que ver con la protección radiológica ocupacional. Los trabajadores y sus representantes pueden utilizarla también como respaldo de prácticas laborales seguras. Esta guía de seguridad tiene asimismo la finalidad de facilitar la preparación y adopción de reglamentos nacionales y locales, así como de normas y procedimientos de trabajo para la protección radiológica en la minería y el tratamiento de las materias primas.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

1.6. Como en el caso de las NBS, las orientaciones de la presente guía se deberían interpretar teniendo en cuenta la dimensión y complejidad de las instalaciones (en esta guía las instalaciones de minería y tratamiento) además de otros factores como la actividad del cuerpo mineralizado y los minerales específicos extraídos. El alcance del programa de protección radiológica debería estar en proporción con la naturaleza y la magnitud de los riesgos radiológicos.

### ÁMBITO DE APLICACIÓN

1.7. Esta Guía de Seguridad contempla los aspectos reglamentarios, técnicos, de organización y tecnología del control de las exposiciones ocupacionales en las instalaciones dedicadas a la minería y tratamiento de las materias primas en situaciones de exposición normal y potencial. Su propósito es ofrecer un enfoque integral del control de las exposiciones debidas a la irradiación externa e interna proveniente de las fuentes de radiación artificiales y naturales que se encuentren en tales instalaciones. En otras guías de seguridad del OIEA [7–9], se presenta una exposición más completa de la protección radiológica ocupacional en general.

1.8. Las disposiciones de esta Guía de Seguridad se aplican en primer lugar a la minería y el tratamiento de los minerales de uranio y torio, a la exploración subterránea en busca de uranio y torio y a las actividades del desarrollo<sup>2</sup> de la mina. Las disposiciones de la guía también se aplican, según corresponda, a otras operaciones de minería y tratamiento de minerales y materias primas en cuyo caso las exposiciones ocupacionales a la radiación externa, a los descendientes del radón o del torón, o al polvo, tengan que ser controladas.

1.9. Las disposiciones de esta guía de seguridad se aplican específicamente a los riesgos de radiación ocupacional derivados de operaciones tales como: la exploración, la extracción y la retirada del mineral, el emplazamiento, la construcción y explotación de una mina o de una instalación de tratamiento físico y químico del mineral y la clausura o el cierre de una mina o de una instalación de tratamiento. También son aplicables a las instalaciones

---

<sup>2</sup> El término “desarrollo” designa en esta guía todo trabajo subterráneo o en superficie que se lleve a cabo con el propósito de alcanzar y hacer accesible un depósito mineral. Esto incluye la apertura de pozos o de túneles y las operaciones de elevación así como los trabajos preparatorios para la explotación en minas a cielo abierto.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

secundarias de tratamiento en las que se considere que las concentraciones del uranio y torio y sus descendientes en el mineral, los productos o los residuos, darán lugar, probablemente, a exposiciones ocupacionales que hayan de ser controladas.

1.10. La exposición del público no entra en el ámbito de esta guía. En otra Guía de Seguridad del OIEA [10], se formulan recomendaciones y orientaciones sobre la gestión de los desechos procedentes de la minería y el tratamiento de minerales.

### ESTRUCTURA

1.11. La Sección 2 de esta guía ofrece orientación sobre los tipos de actividades de minería y tratamiento a las que se aplican sus recomendaciones, sobre el cumplimiento de los requisitos relativos a la autorización de los trabajos y al desempeño de las responsabilidades que incumben a los empleadores y los trabajadores. La Sección 3 se refiere al cumplimiento de los requisitos de protección radiológica y en particular de los límites de dosis para su aplicación práctica en las minas y el tratamiento de materias primas, incluyendo los métodos para verificar la observancia de esos límites. La Sección 4 se ocupa de los programas de protección radiológica en las minas y las instalaciones de tratamiento de las materias primas, haciendo particular hincapié en la prestación de servicios de expertos en áreas tales como la ventilación, así como en la monitorización radiológica con fines de control operacional y de evaluación de las dosis. La Sección 5 ofrece orientación sobre las medidas tecnológicas de protección, entre ellas la ventilación, el control del polvo, el diseño y operación de las plantas de tratamiento y el equipo de protección individual, así como sobre las medidas administrativas de protección, en particular la higiene personal, los primeros auxilios, la limpieza de derrames y la rotación en el trabajo. La Sección 6 trata de la vigilancia de la salud de los trabajadores sobre la base de los principios generales de la salud ocupacional.

## **2. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS Y DESEMPEÑO DE RESPONSABILIDADES**

### **CAMPO DE APLICACIÓN DE LOS REQUISITOS Y LAS RECOMENDACIONES**

2.1. Esta Guía de Seguridad se aplica a todas las operaciones de minería y tratamiento de materias primas en cuyo caso se requiere adoptar medidas de protección radiológica y seguridad ocupacional. La gama de actividades de minería y tratamiento incluidas en este ámbito la determinan los requisitos de las NBS referentes a la exposición ocupacional causada por los radionucleidos de procedencia natural [2]. Concretamente, los requisitos de las NBS se interpretan en la guía de seguridad titulada “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párrs. 2.1–2.30), y esta sección es coherente con dicha interpretación.

2.2. A los fines de esta guía, las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas se dividen en cuatro categorías que comprenden las actividades en que se opere con:

- 1) Minerales de uranio y de torio (es decir, los minerales que se extraen por su contenido de uranio o de torio) (Ref. [7], párr. 2.18).
- 2) Otras materias primas que contengan niveles elevados de radionucleidos naturales (p. ej. las arenas minerales y los materiales fosfáticos), o los materiales en los que las concentraciones de actividad de los radionucleidos naturales se hayan incrementado durante el tratamiento (p. ej. los depósitos o las incrustaciones generados a veces al tratar minerales), en cuyo caso sean precisas medidas de protección radiológica ocupacional para la protección contra las exposiciones a la radiación gamma externa, al polvo y/o al radón.
- 3) Materias primas que no contengan niveles elevados de radionucleidos naturales, pero que requieran medidas de protección radiológica ocupacional contra las exposiciones al radón que aparece ocasionalmente en el ambiente del lugar de trabajo. En esas operaciones se incluyen las minas subterráneas donde los niveles de radón son elevados.
- 4) Otras materias primas.



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

2.3. El rigor del control que requiere la protección radiológica en las operaciones de la minería y tratamiento disminuye desde la primera a la última de estas categorías:

- Las operaciones propias de la minería y el tratamiento de minerales de uranio y torio (Categoría 1) están sujetas a los requisitos aplicables a las prácticas conforme a los párrs. 2.1 b) y 2.2 b) de las NBS [2] y requieren una licencia (Ref. [2], párr. 2.12).
- Las operaciones de las Categorías 2 y 3 están sometidas a los requisitos aplicables a las prácticas conforme al párr. 2.5 b) de las NBS [2], y el grado de control debe ajustarse al nivel de exposición o de riesgo. En cuanto a las operaciones de la Categoría 2 que conlleven exposiciones al polvo y a la radiación gamma externa, el párr. 2.27 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7] establece que: “El control, si se considerara necesario, incluiría el uso de métodos para suprimir o contener el polvo suspendido en el aire, así como la [monitorización] radiológica general”. La autorización en forma de inscripción en registro puede ser suficiente para las operaciones de las Categorías 2 y 3 pero, si los niveles de exposición son altos, puede ser necesaria la obtención de una licencia para asegurar el grado de control requerido.
- La minería y el tratamiento de las materias primas de la Categoría 4 no están sujetos a los requisitos aplicables a las prácticas y ni requieren ninguna autorización.

### **Fuentes naturales de radiación: niveles de actuación**

2.4. El órgano regulador debería especificar y declarar qué operaciones de minería y tratamiento están sometidas a las recomendaciones presentadas en esta guía de seguridad, para cuidar de que todas las notificaciones y solicitudes de autorización necesarias se presenten al órgano regulador a su debido tiempo, evitando al mismo tiempo solicitudes innecesarias. Los principios para determinar las operaciones pertenecientes a las Categorías 2 y 3, incluso la aplicación de niveles de actuación, se exponen en la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7].

2.5. Con respecto a las operaciones comprendidas en la Categoría 2, los párrafos 2.24–2.26 de la Ref. [7], establecen que:

“El párr. 2.5 b) iii) de las NBS prevé lo necesario para que [el órgano regulador] especifique otras situaciones que impliquen una exposición a

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

fuentes naturales de radiación para que sean sometidas a los requisitos de las prácticas. Las otras situaciones en las cuales podría ser necesario tomar en cuenta las exposiciones a fuentes naturales de radiación en el trabajo incluyen:

- a) La minería, el tratamiento, la manipulación y el uso de materiales que contienen elevados niveles de radionucleidos naturales (además de otros minerales de los cuales se extraen uranio y torio);
- b) La presencia de materiales en que la concentración de la actividad de los radionucleidos naturales se ha incrementado durante el procesamiento...”

“[El órgano regulador] debería, en primer lugar, llevar a cabo una investigación de estas situaciones para determinar la magnitud de las exposiciones. En los lugares donde las exposiciones sean consideradas de tal magnitud como para prestarles atención, [el órgano regulador] debería decidir si éstas deberían estar sujetas a los requisitos establecidos para las prácticas.”

“... sería pertinente... definir niveles de dosis anuales o de alguna otra magnitud por encima de la cual se aplicarían los requisitos. ... la concentración de la actividad constituiría una magnitud apropiada aplicable a estos niveles...”

El párr. 2.27 de la Ref. [7] establece que una concentración de actividad en el rango de 1 a 10 Bq/g (del radionucleido padre) puede ser adecuada en estas situaciones. Cuando las operaciones también conlleven una exposición al radón, se debería utilizar el nivel de actuación relativo al radón como base para determinar si tal exposición está sometida a los requisitos aplicables a las prácticas (véase el párr. 2.6).

2.6. Con respecto a las operaciones comprendidas en la Categoría 3, los párrs. 2.19–2.22 de la Ref. [7], establecen que<sup>3</sup>:

“...la exposición al gas radón en puestos de trabajo diferentes de los contemplados en el párr. 2.5 b)i) [de las NBS] debe ajustarse a los requisitos establecidos para la exposición ocupacional si la concentración de ese gas supera el nivel de actuación...”

“...Los niveles de actuación se aplican a las situaciones de exposición crónica que se describen en el Apéndice VI de las NBS. El objetivo principal de un nivel de actuación es definir las circunstancias en las cuales debe

---

<sup>3</sup> En la cita de este párrafo de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7], la Ref. [11] es la Publicación 65 de la CIPR, la misma que aparece como Ref. [11] en la presente Guía de Seguridad.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

emprenderse la acción reparadora o protectora. En el caso de la exposición espontánea al radón, el procedimiento que debe seguir [el órgano regulador] es identificar o determinar, por medio de una inspección o de otra forma, lugares de trabajo con concentraciones de radón por encima del nivel de actuación. En tal caso, se debe tener en cuenta la posibilidad de reducir razonablemente las concentraciones por debajo del nivel de actuación. Se deben aplicar los requisitos para las prácticas en aquellas situaciones en que razonablemente no sea posible alcanzar una reducción suficiente de las concentraciones. En este contexto, el valor numérico del nivel de actuación tiene una significación conceptualmente diferente de la que se le había dado inicialmente, o sea, el valor del nivel de actuación no se empleará como base para la decisión sobre una intervención, sino como base para considerar las exposiciones como parte de una práctica.”

“El nivel de actuación para el radón en el lugar de trabajo se da en las Normas como una concentración media anual de 1 000 Bq/m<sup>3</sup>, la cual normalmente equivaldría a una dosis efectiva anual de alrededor de 6 mSv. Este valor es el punto medio del margen de 500–1 500 Bq/m<sup>3</sup> recomendado por la CIPR [11], y por tanto, [algunos órganos reguladores] pueden desear emplear un nivel inferior al que se especifica en las NBS. Debe señalarse que el margen de valores dado por la CIPR está basado en un supuesto factor de equilibrio de alrededor de 0,4 entre el radón y sus descendientes. Hay una ventaja práctica en tomar un solo valor para el nivel de actuación aplicable a todas las situaciones independientemente del factor de equilibrio de que se trate. Sin embargo, aunque no se indican explícitamente en las NBS, pueden ser apropiados otros niveles de actuación si el factor de equilibrio se diferencia significativamente de éste, lo cual puede ser el caso en algunas minas.”

“En los lugares de trabajo, particularmente en minas subterráneas, puede haber grandes variaciones en espacio y tiempo, de las concentraciones del radón y sus descendientes. Esto debe tenerse en cuenta al decidir si el nivel de actuación es rebasado”.

Al tomar una decisión reguladora sobre el nivel de actuación que proceda aplicar, se debería tener en cuenta, si es conocido, el factor de equilibrio entre el radón y sus descendientes. Por ejemplo, si el factor de equilibrio es 0,8, entonces, al menos en teoría, un valor de 500 Bq/m<sup>3</sup> para el nivel de actuación puede ser más apropiado que un valor de 1 000 Bq/m<sup>3</sup>.

### **Exposición ocupacional**

2.7. El término “exposición ocupacional”, según lo usa la OIT, designa la exposición de un trabajador que origina una dosis recibida o comprometida

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

durante un período de trabajo [12]. Ahora bien, las NBS (Ref. [2], párrs. 1.4 y 2.17) prevén la exclusión de las exposiciones cuya magnitud o probabilidad no sea por esencia susceptible de control y la exención de aquellas prácticas y fuentes adscritas a una práctica que originen riesgos radiológicos suficientemente bajos como para carecer de interés su regulación. Para que las acciones protectoras y preventivas se puedan realizar de forma centrada y efectiva, la definición de exposición ocupacional es más restringida, a saber: “Toda exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo, con la excepción de las exposiciones excluidas [del ámbito a las Normas] y de las exposiciones causadas por las prácticas o fuentes exentas [con arreglo a las Normas]”. Éstas son las “exposiciones ocupacionales” que deberían considerarse como responsabilidad que incumbe a la dirección (Ref. [7], párr. 2.6) — es decir, las exposiciones incluidas en las tres primeras categorías definidas en el párr. 2.2.

## NOTIFICACIÓN Y AUTORIZACIÓN

### **Notificación**

2.8. El párrafo 2.10 de las NBS [2] señala:

“Toda persona jurídica que se proponga realizar alguna de las acciones especificadas en las “Obligaciones generales” en relación con las prácticas objeto de las Normas... deberá presentar [al órgano regulador] una notificación sobre ese propósito<sup>6</sup>...”

---

<sup>6</sup> Basta sólo con la notificación si es improbable que las exposiciones normales inherentes a la práctica o acción excedan de una pequeña fracción, especificada por [el órgano regulador], de los límites correspondientes, y si la probabilidad y la magnitud esperada de la exposición potencial, así como cualquier otra consecuencia perjudicial son insignificantes.”

Las “acciones” a las que se refieren estos requisitos incluyen todas las operaciones de minería y tratamiento comprendidas en las Categorías 1–3 del párr. 2.2.

### **Concesión de la licencia**

2.9. El párrafo 2.12 de las NBS [2] señala: “La persona jurídica responsable de cualquier... mina o instalación de tratamiento de minerales radiactivos... deberá solicitar [al órgano regulador] una autorización que revestirá la forma de una licencia.” Este requisito se aplica a todas las operaciones comprendidas en la Categoría 1 del párr. 2.2. También puede ser necesaria la concesión de una licencia para las operaciones de las Categorías 2 y 3 del párr. 2.2, si los niveles de exposición son altos y es necesario tomar medidas de control específicas para la protección radiológica (véase el párr. 2.3).

2.10. Las licencias para las instalaciones de minería y tratamiento de minerales de uranio o de torio (Categoría 1 del párr. 2.2) deberían contemplar las siguientes actividades:

- a) Las exploraciones que supongan una posible exposición a la radiación;
- b) La retirada de mineral radiactivo desde un emplazamiento (p. ej., para exámenes y evaluaciones metalúrgicas) en una cantidad que supere el criterio de exención especificado por el órgano regulador;
- c) La extracción de mineral radiactivo de un emplazamiento, incluyendo las minas de prueba, para la evaluación o la delineación del cuerpo mineralizado;
- d) La selección del emplazamiento, construcción o explotación de una mina o una instalación de tratamiento;
- e) El transporte del producto de una mina o de una instalación de tratamiento;
- f) El cierre o la clausura de una mina o una instalación de tratamiento;
- g) La gestión de los desechos radiactivos.

Algunas o todas estas actividades se pueden autorizar mediante una única licencia, a criterio del órgano regulador.

2.11. El órgano regulador puede, a petición del titular de la licencia, conceder un permiso, cuya forma dependerá de las disposiciones de la legislación nacional, para la suspensión o cese en la explotación de una instalación de minería y tratamiento de minerales de uranio o de torio (Categoría 1 del párr. 2.2).

2.12. Las licencias relativas a la minería y tratamiento de las materias primas que no sean minerales de uranio o torio, pero que requieran medidas específicas de control para la protección radiológica (Categorías 2 y 3 del

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

párr. 2.2), deberían prever el control de algunas de las actividades mencionadas en el párr. 2.10; en particular conviene considerar a tal fin la selección del emplazamiento, construcción, explotación, gestión de desechos y el cierre o clausura de la mina o la instalación de tratamiento.

2.13. Si en las instalaciones de una mina o planta de tratamiento hay una fuente radiactiva distinta de la materia prima, que el órgano regulador no haya señalado como apta para su inscripción en registro o para su exención, es necesaria una licencia para su posesión y utilización (Ref. [2], párr. 2.12).

### **Inscripción en registro**

2.14. La autorización de operaciones de las Categorías 2 y 3 del párr. 2.2, puede tener la forma de una inscripción en registro, cuando los niveles de las exposiciones sean bajos y cuando dicha inscripción sea suficiente para asegurar el grado de control necesario (véase el párr. 2.3). La inscripción en registro debería prever las condiciones en que se examinará la exposición ocupacional, bien periódicamente o en caso de cambio en el proceso que pudiera influir de forma significativa en las exposiciones.

### SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN

2.15. Una autorización para la retirada o extracción de mineral o para la selección del emplazamiento, construcción, explotación, cierre o clausura de una mina o de una instalación de tratamiento sólo se debería conceder si el órgano regulador se ha cerciorado de que el solicitante tiene capacidad para cumplir con los requisitos de protección y seguridad. Tales requisitos incluyen medidas para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores y del público, así como para mantener la seguridad contra la sustracción o pérdida de material radiactivo y contra la entrada no autorizada a las instalaciones.

2.16. El solicitante de una licencia para una instalación de minería o de tratamiento de uranio o torio (Categoría 1 del párr. 2.2) está obligado a facilitar la información adecuada en respaldo de la solicitud así como a llevar a cabo una evaluación de la naturaleza, magnitud y probabilidad de la exposición atribuida a la fuente (Ref. [2], párr. 2.13 a) y c)). Es necesaria una evaluación de la seguridad como parte de la solicitud, si el potencial de exposición supera el nivel que posiblemente especifique el órgano regulador (Ref. [2], párr. 2.13 d)). La misma debería incluir la información concreta enumerada bajo las categorías pertinentes indicadas en los párrafos 2.17–2.24.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

### *Retirada de minerales de uranio o de torio de un emplazamiento*

2.17. El solicitante de una licencia para la retirada de minerales de uranio o de torio de un emplazamiento debería proporcionar información sobre lo siguiente:

- concesión minera;
- tipos de actividades de trabajo y tipos de equipos implicados;
- cantidades de uranio y/o torio que se retirarán con el mineral;
- transporte del mineral;
- estimaciones de las exposiciones y dosis a los trabajadores;
- medidas de protección radiológica;
- procedimientos para afrontar emisiones accidentales de contaminantes radiactivos o no radiactivos al medio ambiente;
- planes propuestos para la clausura.

### *Extracción de minerales de uranio o de torio de un emplazamiento*

2.18. El solicitante de una licencia para extraer minerales de uranio o de torio de un emplazamiento, debería presentar información sobre lo siguiente:

- actividades de trabajo propuestas;
- concesión minera;
- el emplazamiento, inclusive geología, mineralogía y técnicas de extracción;
- medidas de protección radiológica;
- procedimientos para afrontar emisiones accidentales de contaminantes;
- tratamiento de las aguas;
- pilas de mineral y rocas de desecho;
- sobrecargas;
- estimaciones de las exposiciones en los puestos de trabajo y de las dosis individuales a los trabajadores;
- impactos en la salud y seguridad del público;
- planes propuestos para la clausura.

### *Emplazamiento o construcción de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio*

2.19. El solicitante de una licencia para emplazar o construir una mina o una instalación de tratamiento de uranio o de torio, debería presentar información sobre lo siguiente:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- emplazamiento o construcción (plan general);
- diseño conceptual de la mina o de la instalación de tratamiento;
- ubicación de los residuos y de las instalaciones de almacenamiento de mineral y rocas de desecho (la descripción detallada que el órgano regulador exija);
- medidas de protección radiológica;
- métodos de monitorización de la calidad del aire;
- estimaciones de las exposiciones en los puestos de trabajo y de las dosis individuales a los trabajadores;
- procedimientos para la prevención de accidentes;
- gestión de efluentes;
- impactos en el medio ambiente.

En la fase de puesta en servicio, se debería presentar información sobre la evaluación crítica del equipamiento y las instalaciones proyectada, para confirmar la eficacia de las medidas tecnológicas de control previstas.

### *Explotación de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio*

2.20. El solicitante de una licencia para explotar una mina o una instalación de tratamiento de uranio o de torio debería presentar información sobre lo siguiente:

- la mina o la instalación de tratamiento en sí mismas (la descripción detallada que el órgano regulador exija);
- métodos de extracción y controles tecnológicos para la protección radiológica, incluso métodos de blindaje, ventilación y control de la calidad del aire;
- una descripción de los programas de protección radiológica operacional, incluyendo el equipo y las instalaciones;
- estimaciones de las exposiciones en los puestos de trabajo y de las dosis individuales a los trabajadores;
- planes de actuación en caso de emergencia, según proceda;
- detalles del sistema de gestión de efluentes y del sistema de gestión de desechos;
- el transporte del mineral tratado;
- medidas de seguridad;
- otra información de interés.



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

2.21. En conformidad con los párrs. 2.11 y 5.10 de la Guía de Seguridad titulada “Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores” [10], y según prescriba la legislación nacional (Ref. [13], párr. 2.4 (13)), también se puede exigir al solicitante que demuestre que se dispondrá de recursos financieros para el cierre o la clausura.

### *Cambios en el diseño o en el funcionamiento de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio*

2.22. El párrafo 2.16 de las NBS [2], establece que: “...los titulares [de la licencia] deberán notificar [al órgano regulador] su intención de introducir modificaciones en cualquier práctica o fuente para las que hayan sido autorizados, siempre que las modificaciones pudieran tener repercusiones significativas en la protección o la seguridad, y no deberán realizar ninguna modificación de ese género a no ser que sean expresamente autorizadas por [el órgano regulador]”. Por consiguiente, todo cambio en el diseño o en el funcionamiento de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio, que pueda dar lugar a un aumento significativo de las exposiciones ocupacionales o de las exposiciones del público, según lo definido por el órgano regulador, ha de someterse a dicho órgano con fines de examen, evaluación y modificación oficiales de la autorización (Ref. [13], párrs. 5.6 y 5.11).

2.23. Una solicitud de suspensión o de cese de la explotación de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio, debería exponer las razones de tal suspensión o cese, así como los planes y programas referentes a las medidas de control a corto y largo plazo, con fines de protección radiológica y de seguridad durante el período de la suspensión o posterior al cese.

### *Cierre o clausura de una mina o de una instalación de tratamiento de uranio o de torio*

2.24. El solicitante de una licencia para cerrar o clausurar una mina o una instalación de tratamiento de uranio o de torio, debería presentar información sobre lo siguiente:

- un plan y calendario de todas las actividades de trabajo;
- confirmación de que se dispone de los recursos financieros necesarios;
- una descripción de los posibles efectos sobre la salud y la seguridad de los trabajadores y del público, y de las medidas de protección radiológica que será preciso tomar;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- estimaciones de las exposiciones en los puestos de trabajo y de las dosis individuales a los trabajadores;
- un plan de vigilancia a corto y a largo plazo de los niveles de radiación, que incluya la naturaleza y el alcance de los controles institucionales necesarios.

Se ofrece orientación adicional en la Ref. [10].

2.25. El solicitante de una autorización relativa a una mina o una instalación de tratamiento que opere con materias primas que no sean minerales de uranio o de torio (Categorías 2 y 3 del párr. 2.2) debería presentar información, que se determinará caso por caso, sobre:

- los peligros de radiación y todas las medidas para controlarlos,
- las medidas de supervisión necesarias,
- toda otra información de interés que requiera el órgano regulador.

Se debería examinar la necesidad de cualquier otra información indicada bajo las categorías enumeradas para los minerales de uranio y torio en los párrs 2.17–2.24, y aportar dicha información cuando así proceda.

## RESPONSABILIDADES

2.26. A menos que se establezca otra cosa, la responsabilidad de adoptar y asegurar la observancia de las recomendaciones formuladas en esta guía de seguridad corresponde al titular registrado o de la licencia (la “persona jurídica”, definida en las NBS [2]). En los casos en que el titular registrado o de la licencia no dirija directamente las actividades de trabajo relacionadas con la instalación de minería de tratamiento, la responsabilidad cotidiana puede delegarse en el empleador o en la dirección de la instalación, pero la obligación de dar cuenta sigue recayendo sobre el titular registrado o de la licencia. El término “empleador” se utiliza en esta guía por razones prácticas y designa la dirección organizativa, independientemente de si el empleador es el titular registrado o de la licencia o no.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

2.27. Las responsabilidades de los empleadores y de los trabajadores de las instalaciones de minería y tratamiento a las que se refiere esta guía no difieren en principio de las correspondientes a cualquier otra práctica autorizada, y como tales se exponen en los párrs. I.1–I.14 (Apéndice I) de las NBS [2] y en la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párrs. 2.33–2.39). Se formula orientación adicional en el Apéndice I de la presente Guía.

### INSPECCIÓN E INCUMPLIMIENTO

2.28. Los párrafos. 1.5 y 1.10–1.14 de las NBS [2] establecen que:

“[El órgano regulador] ... deberá ser [el] responsable de asegurar el cumplimiento de las Normas”.

.....

“Las partes principales [es decir, el titular registrado o de la licencia y el empleador] deberán permitir que representantes debidamente autorizados [del órgano regulador] ... inspeccionen los registros de protección y seguridad de dichas partes y efectúen inspecciones adecuadas de las actividades autorizadas a las mismas.”

“En caso de quebrantamiento de cualquier requisito aplicable prescrito por las Normas, las partes principales deberán, según proceda:

- a) investigar el quebrantamiento y sus causas, circunstancias y consecuencias;
- b) tomar medidas apropiadas para enmendar las circunstancias que condujeron al quebrantamiento e impedir que se repitan quebrantamientos parecidos;
- c) comunicar [al órgano regulador] ... las causas del quebrantamiento y las medidas correctoras o preventivas adoptadas o que se hayan de adoptar;
- y
- d) tomar cualesquiera otras medidas necesarias prescritas por las Normas.”

“La comunicación de un quebrantamiento de las Normas deberá ser rápida...”

“El hecho de no adoptar medidas correctoras o preventivas en un plazo de tiempo razonable de conformidad con la reglamentación nacional deberá ser causa de modificación, suspensión o retirada de toda autorización concedida por [el órgano regulador] ...”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

“El quebrantamiento deliberado, la tentativa de quebrantamiento o la conspiración para el quebrantamiento de cualquier requisito prescrito por las Normas deberán estar sujetos a las disposiciones sobre tales infracciones prescritas por la legislación nacional pertinente del Estado, o por [el órgano regulador] ...”

2.29. Los requisitos referidos a las infraestructuras legales y de administración pública encargadas de la inspección reglamentaria y la función coercitiva se establecen en la Ref. [13], párrs. 5.12–5.24. El sistema de coerción debería incluir la designación de inspectores cualificados y la utilización de equipo de monitorización radiológica e instalaciones adecuados.

2.30. Los registros del empleador disponibles para la inspección deberían incluir todos los documentos o registros, incluso sobre las dosis a los trabajadores, que traten de aspectos de la salud y seguridad frente a accidentes, de seguridad física o de protección del medio ambiente y se refieran a la mina o instalación de tratamiento autorizada, con excepción de los registros médicos de los trabajadores cuya confidencialidad se debería preservar (Ref. [7], párrs. 7.9 y 7.12).

2.31. El empleador debería proporcionar al inspector toda la cooperación y asistencia razonables para la ejecución de sus funciones.

2.32. Nadie debería hacer, conscientemente, una declaración falsa o engañosa, ni obstruir o dificultar deliberadamente a un inspector en el desempeño de sus funciones.

2.33. El inspector debería examinar con el empleador las conclusiones de una inspección antes de partir de las instalaciones, y debería aconsejar al empleador y a los trabajadores, por medio de sus representantes cuando así proceda, que se tomen medidas correctoras urgentes en una instalación o en una actividad cuando, a criterio del inspector, sea necesaria tal acción para la salud y la seguridad de los trabajadores o del público o para la protección del medio ambiente.

2.34. Tan pronto como sea factible, el inspector debería presentar por escrito al empleador las conclusiones de la inspección, especificando todas las medidas correctoras que sea necesario tomar en relación con la salud, la seguridad frente a accidentes, la seguridad física o el medio ambiente. Cuando sea pertinente, el órgano regulador ha de publicar una directiva que imponga el acatamiento de tales medidas correctoras por el empleador (Ref. 13, párr. 5.19).

2.35. En el caso de las instalaciones de minería y tratamiento sujetas a inscripción en registro, las inspecciones llevadas a cabo por el órgano regulador deberían adoptar la forma de revisiones periódicas, para demostrar que las condiciones radiológicas no se han deteriorado hasta el punto de que sea necesario un cambio en las condiciones de la inscripción.

### **3. LIMITACIÓN DE DOSIS**

#### **APLICACIÓN DE LOS PRINCIPALES REQUISITOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA**

3.1. Es necesario que las exposiciones a la radiación resultantes de las actividades de minería y tratamiento de las materias primas, a que se refiere esta Guía de Seguridad, se controlen mediante un sistema de protección radiológica basado en tres requisitos principales: la justificación de las prácticas, la limitación de las dosis de radiación a los individuos, y la optimización de la protección y de la seguridad, establecidos en las NBS [2]. Estos requisitos, basados en las recomendaciones de la CIPR [3], se tratan más específicamente en la Guía titulada “Protección radiológica ocupacional” [7].

3.2. El requisito de las NBS para la justificación de una práctica (Ref. [2], párr. 2.20) especifica:

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

Este requisito es aplicable a una actividad industrial tal como la minería o la fabricación. Esta Guía no ofrece ninguna otra orientación sobre la justificación de dichas operaciones, ya que las decisiones sobre la justificación están fuera del ámbito de la misma y se tomarán antes de su aplicación.

3.3. Según establecen los requisitos de las NBS para la limitación de dosis (Ref. [2], párr. 2.23), las exposiciones de los trabajadores se controlan aplicando los límites de dosis ocupacional. Es un requisito que ni la dosis

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

efectiva total ni la dosis equivalente total a los órganos y tejidos de interés, causadas por la posible combinación de exposiciones originadas por cualquier actividad laboral vinculada a la minería o el tratamiento de minerales, exceda cualquier límite de dosis aplicable especificado en los párrs. 3.5 y 3.6, con excepción de las circunstancias especiales previstas en el párr. 3.7.

3.4. El requisito de las NBS para la optimización de la protección y de la seguridad (Ref. [2], párr. 2.24), especifica:

“...la protección y seguridad deberán optimizarse de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de sufrir exposiciones, se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, con la condición de que las dosis causadas en los individuos por la fuente se sometan a restricciones de dosis relacionadas con esa fuente.”

Se puede encontrar información adicional en la Sección 4 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional [7].

### LÍMITES DE DOSIS

3.5. Los límites de dosis efectiva para la exposición ocupacional, que se aplican a la suma de las dosis efectivas procedentes de fuentes externas en un período especificado y de las dosis efectivas comprometidas debidas a las incorporaciones en el mismo período, se especifican en el párr. II-5 (Adenda II) de las NBS [2] como sigue:

- “a) una dosis efectiva de 20 mSv por año como promedio en un período de 5 años consecutivos<sup>38</sup>;
- b) una dosis efectiva de 50 mSv en cualquier año;
- c) una dosis equivalente al cristalino de 150 mSv en un año;
- d) una dosis equivalente a las extremidades (manos y pies) o a la piel<sup>39</sup> de 500 mSv en un año.

---

<sup>38</sup> El comienzo del período de cálculo del promedio deberá coincidir con el primer día del período anual que corresponda tras la entrada en vigor de las Normas, sin promedio retroactivo alguno.

<sup>39</sup> Los límites de dosis equivalente para la piel se refieren a la dosis promedio en 1 cm<sup>2</sup> del área cutánea más intensamente irradiada. La dosis a la piel contribuye a la dosis efectiva, siendo dicha contribución la dosis promedio a toda la piel multiplicada por el factor de ponderación para tejido correspondiente a la piel.”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

3.6. El párrafo II-6 (Adenda II) de las NBS [2], (junto con la nota de pie de página 39 citada), exige que se apliquen los siguientes límites de dosis a los aprendices de 16 a 18 años que se estén formando para un empleo que conlleve exposición a la radiación.

- “a) una dosis efectiva de 6 mSv en un año;
- b) una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año;
- c) una dosis equivalente a las extremidades o la piel<sup>39</sup> de 150 mSv en un año.”

### CIRCUNSTANCIAS ESPECIALES

3.7. Los párrafos 3.10 y 3.11 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7], especifican que:

“A pesar de que una práctica se justifique, se diseñe y se ejecute conforme a lo establecido para una buena práctica y se haya optimizado en ella la protección radiológica, pueden darse circunstancias especiales en las cuales las exposiciones ocupacionales permanezcan aún por encima de los límites de dosis. Por ejemplo, puede presentarse una situación en que de momento exista alguna dificultad para cambiar el límite anterior de 50 mSv en un año y se necesite un período de transición.”

“Las NBS permiten una modificación temporal de las disposiciones para la limitación de las dosis, pero con sujeción a ciertas condiciones, entre las cuales se incluye la aprobación [del órgano regulador]. En los párrs. 1.50–1.54 (Apéndice I) de las NBS se recomiendan los procedimientos para modificar los límites de dosis en circunstancias especiales, y en el párr. II-7 (Adenda II) de las NBS se especifican dos alternativas para una modificación temporal de los requisitos de limitación de dosis.”

### VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LOS LÍMITES DE DOSIS

3.8. Los párrafos II-10–II-12 (Adenda II) de las NBS [2] establecen que:

“Los límites de dosis especificados en la Adenda II son de aplicación a la suma de las dosis pertinentes, causadas por exposición externa en el período especificado, y de las dosis comprometidas pertinentes, causadas por incorporaciones en el mismo período; el período para calcular la dosis

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

comprometida deberá ser normalmente de 50 años, si se trata de incorporaciones en adultos...”

“A los efectos de demostrar el cumplimiento de los límites de dosis, deberá ser de aplicación la suma de la dosis equivalente personal causada por exposición externa a radiación penetrante en el período especificado, y de la dosis equivalente comprometida o la dosis efectiva comprometida, según corresponda, causada por incorporaciones de sustancias radiactivas en el mismo período.”

“El cumplimiento de los precedentes requisitos relativos a la aplicación de los límites de dosis a la dosis efectiva deberá determinarse por uno de los siguientes métodos:

- a) comparando la dosis efectiva total con el límite de dosis correspondiente, en cuyo caso la dosis efectiva total  $E_T$  se calcula con arreglo a la fórmula siguiente:

$$E_T = H_p(d) + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing} + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh}$$

siendo  $H_p(d)$  la dosis equivalente personal causada por la exposición a radiación penetrante durante el año;  $e(g)_{j,ing}$  y  $e(g)_{j,inh}$ , la dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por ingestión y por inhalación del radionucleido  $j$  por el grupo de edad  $g$ ; e  $I_{j,ing}$  e  $I_{j,inh}$ , respectivamente, la incorporación por ingestión o inhalación del radionucleido  $j$  durante el mismo período; o bien

- b) satisfaciendo la condición siguiente:

$$\frac{H_p(d)}{DL} + \sum_j \frac{I_{j,ing}}{I_{j,ing,L}} + \sum_j \frac{I_{j,inh}}{I_{j,inh,L}} \leq 1$$

siendo  $DL$  el límite aplicable de dosis efectiva, e  $I_{j,ing,L}$  e  $I_{j,inh,L}$  los límites anuales de incorporación (LAI) por ingestión o por inhalación del radionucleido  $j$  (es decir, la incorporación, por la vía de que se trate, del radionucleido  $j$  que conduce al límite aplicable de dosis efectiva); o bien

- c) por cualquier otro método aprobado”.

3.9. En los métodos descritos en el párr. 3.8 para determinar el cumplimiento de los límites de dosis se consideran las incorporaciones por inhalación y por ingestión de radionucleidos. Si bien se deberían tener en cuenta todas las



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

incorporaciones significativas, la probabilidad de incorporaciones problemáticas por ingestión es menor en la minería y el tratamiento de materias primas por lo que se prescinde de ellas en las orientaciones más detalladas que siguen.

3.10. En las fórmulas dadas en el párr. 3.8, las incorporaciones por inhalación de descendientes de vida corta del radón ( $^{222}\text{Rn}$ ) y del torón ( $^{220}\text{Rn}$ )<sup>4</sup> y sus respectivos límites se pueden expresar en forma de energía alfa potencial<sup>5</sup>. La incorporación de energía alfa potencial se puede determinar a partir de mediciones de la concentración de energía alfa potencial en aire (CEAP), y del volumen de aire inhalado. De forma alternativa, las incorporaciones y los límites de incorporación de fórmulas indicadas en el párr. 3.8, se pueden sustituir por las exposiciones a la energía alfa potencial y los límites de exposición (unidad del SI:  $\text{mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ ), en cuyo caso, si se utiliza el primer método señalado en el párr. 3.8, el término  $e(g)_{j,\text{inh}}$  se convierte en la dosis efectiva comprometida por unidad de exposición en lugar de por unidad de incorporación. Las exposiciones a la energía alfa potencial de los descendientes del radón y del torón se pueden determinar integrando CEAP con respecto al tiempo de exposición; también se pueden determinar a partir de las concentraciones de los gases radón y torón presentes en el aire, utilizando las siguientes fórmulas derivadas a partir del cuadro A.1 de la Publicación 47 de la CIPR [14], y del párr. 15 de la Publicación 65 de la CIPR [11]:

$$P_{\text{RnP}} = 5,56 \times 10^{-6} \times t \times F_{\text{RnP}} \times C_{\text{Rn}}$$

$$P_{\text{TnP}} = 7,57 \times 10^{-5} \times t \times F_{\text{TnP}} \times C_{\text{Tn}}$$

donde

$P_{\text{RnP}}$ ,  $P_{\text{TnP}}$  son respectivamente las exposiciones a la energía alfa potencial de los descendientes del radón y del torón ( $\text{mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ ),

$t$  es el tiempo de exposición (h),

---

<sup>4</sup> Los descendientes del radón importantes al respecto son el  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  y  $^{214}\text{Po}$ , y los del torón son el  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Po}$  y  $^{208}\text{Tl}$ .

<sup>5</sup> La energía alfa potencial de los descendientes del radón y del torón es la energía alfa total emitida finalmente en la desintegración de los descendientes del radón y del torón a lo largo de la cadena de desintegración, hasta el  $^{210}\text{Pb}$ , pero sin incluirlo, para los descendientes del  $^{222}\text{Rn}$ , y hasta el  $^{208}\text{Pb}$  estable, en el caso de los descendientes del  $^{220}\text{Rn}$  (véase la nota de pie de página anterior). La unidad del Sistema Internacional (SI) para la energía alfa potencial es el joule (J).

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

$F_{RnP}$	es el factor de equilibrio para los descendientes del radón (se suele adoptar el valor 0,4),
$C_{Rn}$	es la concentración del gas radón ( $Bq/m^3$ ),
$F_{TnP}$	es el factor de equilibrio para los descendientes del torón,
$C_{Tn}$	es la concentración del gas torón ( $Bq/m^3$ ),

Las variaciones temporales de las concentraciones del radón o del torón se pueden tener en cuenta expresándolas como medias ponderadas en el tiempo.

3.11. Las incorporaciones por inhalación de polvo que contenga uranio o torio se determinan generalmente a partir de mediciones de la actividad alfa asociada a las partículas de polvo suspendidas en el aire. Los detalles relativos a las correspondientes técnicas de monitorización radiológica y de análisis del polvo se presentan en el Apéndice IV.

3.12. Al aplicar el primer método de verificación indicado en el párr. 3.8 para la minería y el tratamiento de los minerales de uranio y torio, y teniendo en cuenta las consideraciones de los párrs. 3.9–3.11, la dosis efectiva total anual  $E_T$  recibida o comprometida, se puede estimar a partir de la siguiente fórmula:

$$E_T = H_p(d) + H_{RnP}P_{RnP} + H_{TnP}P_{TnP} + H_{ODU}I_{ODU} + H_{ODTh}I_{ODTh} + H_{CU}I_{CU} + H_{CTh}I_{CTh}$$

donde

$H_p(d)$  es la dosis equivalente personal recibida por exposición a radiación penetrante durante el año (mSv) — para determinar la dosis efectiva recibida por un trabajador en una instalación minera o de tratamiento, es adecuada una profundidad de referencia  $d = 10$  mm en tejido blando (véase la Ref. [7], párrs. 2.44 y 2.46; también la Ref. [8], párrs 2.7 y 3.11).

$H_{RnP}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de exposición a los descendientes del radón — 1,4 mSv por  $mJ \cdot h \cdot m^{-3}$  (véase el cuadro II-II (Adenda II) de las NBS [2]).

$H_{TnP}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de exposición a los descendientes del torón — 0,48 mSv por  $mJ \cdot h \cdot m^{-3}$  (véase el cuadro II-II (Adenda II) de las NBS [2]).

$H_{ODU}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación de actividad alfa, causada por la inhalación de polvo de mineral de uranio — 0,0035 mSv/Bq (véase el párr. 3.13 y el cuadro A-II del Anexo).

$H_{ODTh}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación de actividad alfa, causada por la inhalación de polvo de mineral de torio — 0,0080 mSv/Bq (véase el párr. 3.13 y el cuadro A-IV del Anexo).

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- $H_{CU}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación de actividad alfa, causada por la inhalación de concentrado de uranio. El valor numérico depende fuertemente de los procesos de extracción y postextracción, los cuales determinan la proporción del componente de absorción pulmonar tipo S (lento); se presenta orientación adicional en el apéndice II.
- $H_{CTh}$  es la dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación de actividad alfa, causada por la inhalación de concentrado de torio; en el caso del concentrado de torio separado por vía química, el valor dependerá de la forma química (véase el apéndice II). Cuando se trate de concentrado de torio separado por vía física (caso en que cabe suponer que se retienen los productos de desintegración del  $^{232}\text{Th}$ ) el valor será el mismo que para el polvo de mineral de Th ( $H_{PMTh}$ ).
- $P_{RnP}$  es la exposición anual a los descendientes del radón, definida en el párr. 3.10 ( $\text{mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
- $P_{ThP}$  es la exposición anual a los descendientes del torón, definida en el párr. 3.10 ( $\text{mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$ ).
- $I_{ODU}$  es la incorporación anual de actividad alfa causada por la inhalación de polvo de mineral de uranio (Bq).
- $I_{ODTh}$  es la incorporación anual de actividad alfa causada por la inhalación de polvo de mineral de torio (Bq).
- $I_{CU}$  es la incorporación anual de actividad alfa causada por la inhalación de concentrado de uranio (Bq).
- $I_{CTh}$  es la incorporación anual de actividad alfa causada por la inhalación de concentrado de torio (Bq).

3.13. La dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación de actividad alfa, en el caso de la inhalación de polvo de mineral, depende de las características físicas y químicas del polvo y de su contenido en radionucleidos. Por ejemplo, depende fuertemente de los tipos de absorción pulmonar para los distintos nucleidos. Los valores de  $H_{ODU}$  y  $H_{ODTh}$  indicados en el párr. 3.12 se han calculado aplicando los siguientes supuestos simplificadores:

- El diámetro aerodinámico de la mediana de actividad de las partículas de polvo (DAMA) tiene un valor por defecto de  $5\ \mu\text{m}$  [16];
- Los radionucleidos se presentan en la forma menos soluble indicada en el cuadro II-V (Adenda II) de las NBS [2];
- El cuerpo mineralizado, y por lo tanto el polvo en el momento de la exposición, está en equilibrio radiactivo.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

Al establecer un programa de monitorización y evaluación para verificar el cumplimiento (véase el párr. 4.26), se debería examinar la validez de estos supuestos. Si las circunstancias o la investigación hacen pensar que alguno de ellos no es válido o aceptable, se deberían estudiar cuidadosamente las modificaciones o alternativas adecuadas para una evaluación más exacta.

3.14. Al aplicar el segundo método de verificación indicado en el párr. 3.8 para la minería y el tratamiento de los minerales de uranio y de torio, y de nuevo teniendo en cuenta las consideraciones de los párrs. 3.9–3.11, se debería satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{H_p(d)}{DL} + \frac{P_{RnP}}{P_{RnP,L}} + \frac{P_{ThP}}{P_{ThP,L}} + \frac{I_{ODU}}{I_{ODU,L}} + \frac{I_{ODTh}}{I_{ODTh,L}} + \frac{I_{CU}}{I_{CU,L}} + \frac{I_{CTh}}{I_{CTh,L}} \leq 1$$

Donde  $H_p(d)$  es la dosis equivalente personal (mSv) ocasionada por la exposición a la radiación penetrante durante el año, estimada tomando una profundidad de referencia  $d = 10$  mm (véase el párr. 3.12);  $DL$  es el límite anual de dosis efectiva pertinente;  $P_{RnP,L}$ ,  $P_{ThP,L}$  son los límites correspondientes de exposición a los descendientes del radón y del torón, respectivamente;  $I_{ODU,L}$ ,  $I_{ODTh,L}$  son los LAI correspondientes para la inhalación de polvo de mineral que contenga uranio y torio, respectivamente; e  $I_{CU,L}$  e  $I_{CTh,L}$  son los correspondientes LAI para la inhalación de concentrados de uranio o de torio, respectivamente. Estos límites de exposición e incorporación vienen dados por la siguiente fórmula general:

$$P_{x,L}, I_{x,L} = \frac{DL}{H_x}$$

donde  $DL$  es 20 o 50 mSv (véase el párr. 3.5) y los distintos valores de  $H_x$  son los indicados en el párr. 3.12. Los valores numéricos de los límites de exposición y de incorporación derivados de esta manera figuran en los párrs. 3.15 y 3.17.

3.15. Para la exposición a los descendientes del radón y del torón, el cuadro II-I (Adenda II) de las NBS [2] especifica los siguientes límites anuales de la exposición a la energía alfa potencial que corresponden a los límites de dosis efectiva enumerados en el párr. 3.5:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- descendientes del radón: 20 mSv, correspondiente a  $14 \text{ mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$   
50 mSv, correspondiente a  $35 \text{ mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$
- descendientes del torón: 20 mSv, correspondiente a  $42 \text{ mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$   
50 mSv, correspondiente a  $105 \text{ mJ}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-3}$

3.16. Para la exposición a los descendientes del radón y del torón, en la fórmula que figura en el párr. 3.14 se pueden utilizar las incorporaciones de energía alfa potencial en vez de las exposiciones a la energía alfa potencial (véase el párr. 3.10). El cuadro II-I (Adenda II) de las NBS [2] especifica los siguientes límites anuales para la incorporación de energía alfa potencial que corresponden a los límites de dosis efectiva enumerados en el párr. 3.5:

- descendientes del radón: 20 mSv, correspondiente a 17 mJ  
50 mSv, correspondiente a 42 mJ
- descendientes del torón: 20 mSv, correspondiente a 51 mJ  
50 mSv, correspondiente a 127 mJ

3.17. Para la inhalación de polvo de mineral, los LAI que se indican a continuación se han derivado adoptando los supuestos simplificadores del párr. 3.13 (véase el anexo con respecto a la derivación):

- polvo de mineral de uranio: 20 mSv, correspondiente a una incorporación de actividad alfa de 5 700 Bq  
50 mSv, correspondiente a una incorporación de actividad alfa de 14 000 Bq;
- polvo de mineral de torio: 20 mSv, correspondiente a una incorporación de actividad alfa de 2 500 Bq  
50 mSv, correspondiente a una incorporación de actividad alfa de 6 300 Bq

Si el cuerpo mineralizado (y por lo tanto el polvo de mineral en el momento de la exposición), dista mucho del equilibrio radiactivo, los LAI se deberían calcular aplicando las proporciones reales de radionucleidos. De forma similar, si las investigaciones demuestran que cualquier otro supuesto del párr. 3.13 no es válido, se debería considerar la realización de un cálculo más detallado.

3.18. Las fórmulas que figuran en los párrs. 3.12 y 3.14, omitiendo los términos que no vengan al caso, se pueden utilizar al aplicar los métodos de verificación en la minería y el tratamiento de materias primas distintas de los minerales de uranio o de torio.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

3.19. Si el torio se concentra a partir de un mineral que contenga torio y uranio, puede ser necesario modificar los límites de incorporación relativos al torio para tener en cuenta la presencia del uranio, y viceversa. Los límites de incorporación para los concentrados mixtos de uranio y torio se deberían calcular basándose en los factores derivados de conversión a dosis, conforme al método descrito en el Apéndice II. Si la relación U/Th es desconocida, un enfoque prudente es suponer que el material sólo contiene torio.

3.20. Recientemente se ha examinado en la Publicación 78 [15] del CIPR la cuestión de la toxicidad química frente a la radiotoxicidad del uranio. En el caso de los compuestos de uranio moderadamente solubles (tipos F y M), el daño a los riñones causado por la toxicidad química es más importante que los efectos radiológicos

## 4. PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

### CONSIDERACIONES GENERALES

4.1. La protección radiológica es sólo un elemento a la hora de garantizar globalmente la salud y seguridad de los trabajadores en las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas. El programa de protección radiológica (PPR) se debería establecer y gestionar en estrecha cooperación con los responsables de otras esferas de salud y seguridad, como son la higiene industrial, la seguridad en el trabajo y la seguridad contra incendios.

4.2. El ámbito, estructura y contenido del PPR relativo a las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas se deberían basar en las directrices generales formuladas en la Sección 5 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7]. Los detalles referentes al PPR para las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas, figuran en el apéndice III. En el apéndice IV se presenta información específica sobre las técnicas de monitorización radiológica.

4.3. La Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párr. 5.3) establece que: “Las características de las situaciones de exposición pueden variar considerablemente según el tipo de instalación de que se trate... Es importante garantizar que el PPR se adapte bien a la situación”. Respecto

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

de las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas, entre las consideraciones específicas que puede ser conveniente tener en cuenta en el PPR figuran las siguientes:

- a) Las medidas organizativas para seleccionar expertos cualificados y asegurar su disponibilidad (véase el apéndice III, párr. III.3), deberían ser conformes al tipo de operación de minería o tratamiento. Por ejemplo, en las minas subterráneas, puede ser necesario hacer una referencia especial al cometido del oficial responsable de la ventilación así como a la necesidad de una colaboración estrecha entre ese oficial y el oficial responsable de la protección radiológica, cuando ambos no sean la misma persona. Se ofrecen más detalles en los párrs. 4.4–4.11.
- b) En las situaciones en que así proceda, por ejemplo en las minas subterráneas, las instrucciones de operación locales (véase el apéndice III, párrs. III.11–III.15), deberían hacer referencia especial al mantenimiento de una calidad y volumen adecuados del aire de ventilación así como del control de esta ventilación, previendo incluso la utilización de medios alternativos si falla el sistema de ventilación.
- c) A la hora de clasificar zonas como controladas o supervisadas (véase el apéndice III, párrs. III.6–III.10), a efectos prácticos, puede resultar adecuado en algunas minas subterráneas designar la zona entera como controlada.
- d) Cuando se trate de especificar los controles de acceso a las zonas controladas, sean subterráneas o a cielo abierto (véase el apéndice III, párr. III.9), la opción más práctica puede consistir en medios de control de acceso normales como tarjetas, placas de identidad y supervisión; en las instalaciones o fábricas situadas en la superficie pueden ser apropiados controles más exhaustivos, como los que se establecen para la seguridad física – éstos podrían consistir en barreras físicas, con inclusión de cerraduras y enclavamientos.
- e) Las disposiciones para la monitorización radiológica de los trabajadores y del lugar de trabajo (véase el apéndice III, párrs. III.16–III.20), incluso la adquisición y el mantenimiento de instrumentos de protección radiológica, deberían centrarse en las fuentes importantes de exposición, constatadas en la evaluación radiológica previa de las operaciones de minería o tratamiento (p. ej. el radón, el torón y sus descendientes, el polvo que contenga uranio y torio) y en la adopción de estrategias de monitorización radiológica adecuadas y factibles; se ofrecen más detalles en los párrs. 4.12–4.35).

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- f) El programa educativo y de capacitación (véase el apéndice III, párrs. III.23–III.28) debería incluir temas específicos de protección radiológica en las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas; según el tipo de operación de minería o tratamiento, estos temas pueden ser algunos de los siguientes o todos ellos:
- i) Las características del uranio y el torio, el radón, el torón y sus descendientes y los peligros que comportan así como el polvo que contenga uranio y torio.
  - ii) La medición de las concentraciones de polvo que contenga uranio o torio, las concentraciones de radón, torón y sus descendientes, los niveles de radiación beta y gamma así como todas las directrices y criterios aplicables.
  - iii) El efecto de fumar en cuanto a los riesgos asociados a la exposición al radón y, por esta razón, la necesidad de aconsejar a los trabajadores contra ese hábito.
  - iv) El funcionamiento y finalidad del sistema de ventilación, la importancia de seguir las recomendaciones del oficial de ventilación y la necesidad de que este sistema funcione.
  - v) La necesidad de informar inmediatamente al supervisor o al oficial de ventilación, sobre cualquier avería del sistema de ventilación.
  - vi) La finalidad y los métodos de control y eliminación del polvo radiactivo en la instalación de minería o tratamiento.
  - vii) La localización de las vías de escape y los planes de evacuación de la instalación de minería o tratamiento en caso de emergencia.

### EXPERTOS CUALIFICADOS

4.4. El PPR de una instalación de minería o de tratamiento provista de licencia, debería especificar las necesidades de servicios de expertos cualificados en las esferas de:

- a) Protección radiológica y dosimetría (véase el apéndice III, párr. III.4);
- b) Ventilación (cuando corresponda, p. ej., en las minas subterráneas);
- c) Medicina ocupacional (véase la Sección 6 y el apéndice VI);
- d) Seguridad industrial.

4.5. El empleador debería asegurarse de que se presten los servicios pertinentes de expertos cualificados y de que las personas que se encarguen de tales servicios relacionados con la protección radiológica trabajen en estrecha



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

colaboración y mantengan íntimo contacto de trabajo con los responsables del control de los riesgos no radiológicos. Los expertos cualificados en protección radiológica y en ventilación normalmente, aunque no siempre, son empleados directos. En cualquier caso, el empleador debería designar adecuadamente a tales expertos. En esta Guía de Seguridad los dos tipos de expertos reciben la denominación de “oficial de protección radiológica” y “oficial de ventilación”. El empleador debería designar igualmente al experto cualificado en medicina ocupacional.

4.6. Las funciones del oficial de protección radiológica y del oficial de ventilación, están muy relacionadas entre sí y, para la explotación de algunas plantas o instalaciones, se pueden combinar en una sola. Cuando los cometidos se dividan entre dos responsables, éstos deberían mantener una estrecha relación.

4.7. Los oficiales de protección radiológica y de ventilación deberían depender directamente del representante jerárquico superior del empleador en la instalación de minería o de tratamiento, que asuma la responsabilidad general de las actividades.

4.8. Se debería dotar a los oficiales de protección radiológica y de ventilación, del equipo y personal adecuados para llevar a cabo sus funciones, reseñadas en el párr. III.4 (apéndice III) y el párr. 4.11, respectivamente.

4.9. La dirección superior debería evaluar periódicamente la eficacia de las medidas de control aplicadas por los oficiales de protección radiológica y de ventilación.

### **El oficial de ventilación**

4.10. El oficial de ventilación debería ser un experto cualificado que, en virtud de la certificación otorgada por un organismo o una sociedad competente de una licencia profesional, o de sus títulos académicos y experiencia, goce del debido reconocimiento como experto en el diseño y funcionamiento de sistemas de ventilación en minas e industrias.

4.11. El oficial de ventilación debería:

- a) Asesorar a la dirección sobre todas las cuestiones referentes a los sistemas de ventilación y a los sistemas de purificación del aire;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- b) Asegurar el correcto funcionamiento del sistema de ventilación conforme al diseño y promover las modificaciones que requiera la evolución de las necesidades de la mina;
- c) Cuidar de que las mediciones de caudales y velocidades del aire se realicen en conformidad con una buena práctica de ventilación;
- d) Cuidar de que se utilicen instrumentos correctamente calibrados;
- e) Llevar a cabo programas de muestreo y control del polvo, en colaboración con el oficial de protección radiológica (véase el apéndice III, párr. III.4 d));
- f) Participar en programas de capacitación y elaborar o aprobar todo el material didáctico relacionado con la ventilación y el control del polvo;
- g) Conocer a fondo las características del radón y del torón y sus descendientes, cuando corresponda.

## MONITORIZACIÓN RADIOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE DOSIS

### **Monitorización para el control operacional**

4.12. La medición física de los parámetros importantes para la protección radiológica, por ejemplo, las concentraciones del radón en una mina subterránea, proporciona la información de diagnóstico necesaria para garantizar la seguridad radiológica. Supone un método para detectar con rapidez las desviaciones respecto de las condiciones normales de trabajo, indicando así que se deberían tomar medidas correctoras. El PPR debería incluir las disposiciones para monitorizar el funcionamiento del equipo de control, por ejemplo los componentes del sistema de ventilación, así como para detectar deficiencias en el diseño o en las operaciones normales.

4.13. El PPR debería facilitar también el pronóstico y explicación de las tendencias así como de los términos fuente significativos conforme se desarrollen las operaciones. Esto es importante para planificar medidas de mitigación a largo plazo. Particularmente en la minería es una parte esencial de la optimización de la protección radiológica.

4.14. Durante las actividades iniciales se deberían llevar a cabo exploraciones exhaustivas sobre la radiación gamma externa, el polvo radiactivo suspendido en el aire, el radón y sus descendientes, así como los niveles de contaminación superficial.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

4.15. Las situaciones de estancamiento de la atmósfera, causadas por las inversiones térmicas, en las minas a cielo abierto, pueden influir negativamente en la exposición a la radiación del personal. Dichas condiciones deberían ser vigiladas.

4.16. Al decidir la frecuencia y magnitud de la monitorización radiológica en una zona controlada o supervisada concreta, se deberían tener en cuenta las tasas de dosis y las concentraciones de los contaminantes y sus fluctuaciones en el tiempo. Es importante que los oficiales de protección radiológica y de ventilación colaboren estrechamente en la ejecución del programa de monitorización. Se presenta información adicional en tres Guías de Seguridad del OIEA [7–9] y en las Publicaciones 75 y 78 de la CIPR [6, 15].

### *Mediciones de las tasas de dosis gamma externa*

4.17. En lo que respecta al control tecnológico y en las situaciones de altas tasas de dosis que especifique el órgano regulador, al llevar a cabo exploraciones sobre la radiación gamma externa en las zonas de trabajo de las minas, las instalaciones de tratamiento y sus respectivas zonas de gestión de desechos:

- a) Se debería especificar en las instrucciones de operación locales la frecuencia de las mediciones, frecuencia que se debería determinar a la luz de los resultados históricos así como de las tasas de dosis esperadas y su variabilidad;
- b) Se debería explorar cada zona de trabajo, prestando especial atención a los puestos fijos y a otras zonas en las que los trabajadores posiblemente permanezcan durante una gran parte del día;
- c) Se deberían consignar en un registro los detalles relativos a los puestos de trabajo explorados y las tasas de dosis determinadas.

### *Mediciones de las concentraciones del radón y sus descendientes*

4.18. La monitorización radiológica de los puestos de trabajo con fines de control tecnológico de las concentraciones del radón y sus descendientes se debería llevar a cabo con arreglo a los intervalos fijados en las instrucciones locales de operación. Al establecer la frecuencia de las mediciones, se deberían considerar los resultados históricos, las variaciones esperadas de dichas mediciones y el nivel de riesgo. La frecuencia se debería incrementar si:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) Las concentraciones medidas sobrepasan el rango habitual en el puesto de trabajo particular;
- b) Se realizan cambios importantes en el sistema de ventilación, el trazado de la mina o el método de extracción;
- c) Se superan los niveles de referencia (véase el apéndice III, párrs. III.11 b) y III.14);
- d) Se tiene que evaluar la eficacia de una acción correctora (véase el apéndice III, párr. III.14);
- e) Se sospecha que ha aumentado la entrada de radón.

### *Mediciones de la concentración del polvo radiactivo*

4.19. Se debería llevar a cabo la monitorización periódica del polvo radiactivo suspendido en el aire, en las instalaciones de minería y de tratamiento en las que exista una posibilidad de recibir dosis significativas por inhalación de polvo radiactivo. Al decidir la frecuencia de esta monitorización, se deberían tener en cuenta las concentraciones del polvo radiactivo, su distribución de tamaños y el potencial existente para su inhalación o ingestión. El programa de monitorización radiológica del polvo radiactivo se debería consignar en las instrucciones locales de operación. Los niveles que se pronostiquen de las exposiciones debidas a las concentraciones del polvo radiactivo, serán un factor fundamental al decidir la naturaleza y alcance de cualquier programa necesario de monitorización individual.

### *Mediciones de la contaminación superficial.*

4.20. A fin de evaluar la eficacia del sistema de control del polvo y de las medidas para evitar incorporaciones en los trabajadores, se deberían realizar mediciones de la contaminación superficial radiactiva desprendible existente en las estructuras y el equipo en la zona de molienda y la zona de producción final de la instalación de tratamiento. Tales mediciones también se deberían llevar a cabo en las zonas de una instalación minera en las que las concentraciones del polvo sean significativas. Las mediciones de la contaminación superficial son asimismo necesarias para levantar las restricciones impuestas al equipo y los materiales de desecho (véase el párr. 5.25).

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

### *Comprobación del funcionamiento de los sistemas de ventilación*

4.21. Además de la monitorización radiológica descrita en los párrafos anteriores, se debería vigilar atentamente, mediante la instrumentación apropiada, el funcionamiento de los sistemas de ventilación de la mina o de la planta de tratamiento.

4.22. Los valores de los caudales de aire en la mina se deberían comprobar, actualizar y registrar periódicamente conforme ésta se desarrolle y amplíe. Estos valores también se deberían comprobar y registrar después de cualquier cambio apreciable en la red o el equipo de ventilación.

4.23. Las concentraciones del radón en el aire en los puestos de trabajo subterráneos se deberían medir conforme a los intervalos especificados en las instrucciones locales de operación. Los valores se deberían comparar con los esperados en base a las modelizaciones de los términos fuente y de la acumulación de contaminantes. Se deberían determinar las causas de anomalías, por ejemplo la recirculación del aire de laboreos antiguos, y subsanar esas anomalías.

4.24. En las minas se puede deteriorar rápidamente el control de la ventilación auxiliar si el mantenimiento del equipo es insuficiente o si surgen malas prácticas de operación (véanse los párrs. 5.4 y 5.5). En las exposiciones a los descendientes del radón, pueden ser graves las consecuencias de una ventilación que se deteriora. Por lo tanto, se deberían instalar sistemas para la rápida detección de deficiencias, de forma que se puedan tomar inmediatamente las medidas correctoras.

4.25. Se deberían realizar mediciones de las tasas de caudal en la entrada y la salida del conducto de ventilación auxiliar para comprobar que las fugas de aire están bajo control. Se debería vigilar y registrar con regularidad el suministro de aire, para asegurarse de que se mantiene como se diseñó.

### **Monitorización radiológica para la evaluación de las exposiciones y las dosis ocupacionales**

4.26. A fin de cumplir los requisitos de limitación de los riesgos radiológicos prescritos en las NBS [2] y resumidos en la Sección 3 de esta Guía de Seguridad, el empleador debería establecer un programa de evaluación individual de las exposiciones y las dosis ocupacionales. El programa de evaluación de dosis debería demostrar el cumplimiento de los límites de dosis

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

de radiación a los individuos; asimismo debería demostrar que las dosis son las más bajas que pueda razonablemente alcanzarse, cuenta habida de los factores económicos y sociales, así como proporcionar información para los registros de dosis individuales.

4.27. Con el fin de determinar los niveles de exposición para la evaluación de las dosis individuales se pueden seguir dos métodos (alternativos o combinados cuando así convenga): la monitorización radiológica personal y la de los puestos de trabajo. La monitorización radiológica individual es un requisito en ciertas circunstancias (véase la Ref. [2], párr. I.33). En la Publicación 78 [15] de la CIPR y en las Guías de Seguridad sobre la evaluación de dosis [8, 9], figura un examen detallado de la monitorización radiológica individual y su interpretación. El apéndice III contiene información adicional sobre las estrategias de monitorización y la elección del método para llevarla a cabo.

### *Monitorización radiológica individual*

4.28. En las situaciones de exposición externa a la radiación gamma, si las tasas de dosis pueden dar lugar a dosis que representen una fracción significativa del límite especificado en el párr. 3.5 a), se deberían proporcionar dosímetros individuales a los trabajadores (véase el apéndice IV). El período para el cambio de dosímetros se debería determinar teniendo en cuenta los niveles de las exposiciones en los puestos de trabajo y las características particulares del dosímetro. Son habituales períodos de cambio de uno a tres meses. Se ofrecen más detalles en la Guía de Seguridad “Evaluación de la exposición ocupacional debida a fuentes externas de radiación” [8].

4.29. En las situaciones de exposición a radionucleidos que se incorporen al organismo, al considerarse la necesidad de evaluaciones dosimétricas en los individuos se deberían tener en cuenta las condiciones de trabajo, las características de los trabajos y tareas individuales, las dosis probables y todo nivel de actuación especificado por el órgano regulador.

4.30. Existen dispositivos de monitorización personal para situaciones de exposición interna, como los dosímetros alfa para las mediciones relativas al radón o sus descendientes y los muestreadores personales de aire para las mediciones referentes al polvo radiactivo, (véase el apéndice IV y las Refs. [9, 17]). Sin embargo, resultan generalmente más caros que un sistema de vigilancia de los puestos de trabajo y puede ser impracticable su uso en el ambiente minero. Las concentraciones del polvo en las minas, se pueden mantener a menudo lo suficientemente bajas como para evitar la necesidad de

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

una monitorización individual con muestreadores personales, pero tal necesidad se debería examinar más detenidamente en las zonas polvorizadas en las que haya productos de uranio y de torio (p. ej. las zonas de secado y de empaquetado de torta amarilla), en particular durante las operaciones de mantenimiento, en las que las exposiciones pueden ser inusualmente altas.

4.31. En el caso de grupos de trabajadores de minas cuyas tareas tengan características similares (por ejemplo los perforadores, los electricistas y otras profesiones), y sea poco probable que reciban dosis cercanas al límite especificado en el párr. 3.5 a), tal vez sea posible determinar las exposiciones y tasas de dosis promedio mediante monitorización individual de un subconjunto seleccionado del grupo. Esta información se puede combinar luego con los registros de presencia para estimar las dosis individuales de todos los miembros del grupo.

4.32. En la minería y el tratamiento de materias primas se deberían considerar para determinadas aplicaciones de la monitorización radiológica las mediciones mediante bioensayos tales como análisis de orina, análisis de heces, mediciones respiratorias y monitorización in vivo. Éste puede ser el caso si se teme que el muestreo personal del aire (cuando se practique) sea poco fiable o inexacto para evaluar las dosis ocasionadas por incorporaciones de radionucleidos, particularmente en las situaciones en que los trabajadores estén en zonas en las que las concentraciones ambientales de radionucleidos suspendidos en el aire pudieran ser inusualmente altas. Al elegir el método, o la combinación de métodos, se deberían tener en cuenta el fin de la monitorización (es decir, si es habitual o especial), el entorno de trabajo, las formas física y química de los materiales radiactivos y la practicabilidad de la medición. Por ejemplo:

- El análisis de orina es el principal procedimiento de bioensayo para la monitorización habitual de incorporaciones de uranio, pero generalmente no es lo suficientemente sensible para tal monitorización cuando se trata de incorporaciones de torio;
- El análisis de heces es inadecuado para la monitorización radiológica habitual en las actividades de minería y tratamiento de materias primas, pero se puede utilizar en la monitorización especial para detectar el paso a través del tracto gastrointestinal del uranio no absorbido o para determinar las incorporaciones de torio;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- El recuento pulmonar se puede utilizar para detectar la posible inhalación y retención en el pulmón de uranio en las formas químicas de baja solubilidad (véase el anexo VIII de la Ref. [18]), y para determinar las incorporaciones de torio mediante el recuento de los fotones del  $^{228}\text{Ac}$ , el  $^{212}\text{Pb}$  y el  $^{208}\text{Tl}$ ; ahora bien, dicho recuento se tiene que realizar en lugares fuera de la instalación, con equipos especializados y personal altamente cualificado y por lo tanto sólo se debería considerar con fines de monitorización especial, por ejemplo, cuando los resultados de la monitorización habitual indiquen una exposición considerable y crónica;
- La medición del torón presente en la respiración puede ser útil como método de criba in situ, en las industrias que explotan monacita y torio, para detectar a los trabajadores que tengan cargas de torio elevadas en el pulmón y que posiblemente necesiten una monitorización especial por recuento pulmonar.

4.33. En la Publicación 78 [15] de la CIPR y en la Guía de Seguridad “Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos” [9], figura información adicional sobre la monitorización radiológica individual en caso de exposición interna de los trabajadores, incluidas las ventajas y limitaciones de las principales técnicas de medición.

### *Monitorización radiológica de los puestos de trabajo*

4.34. Cuando la monitorización radiológica de los puestos de trabajo, combinada con el conocimiento de los tiempos de ocupación, se utilice para evaluar las dosis individuales (véase el apéndice III, párr. III.17):

- a) Los lugares donde se sitúen los monitores en dichos puestos para medir las concentraciones de contaminantes en aire, se deberían seleccionar de forma que sean representativos del aire respirado por los trabajadores, en particular cuando éstos se muevan en zonas con tasas de exposición diferentes;
- b) La instrumentación utilizada para medir las tasas de dosis y las concentraciones de contaminantes se debería calibrar y someter regularmente a un programa de garantía de calidad, especificado en las instrucciones locales de operación;
- c) Las condiciones ambientales de humedad y temperatura se deberían supervisar, cuando sea conveniente, para poder estimar su influencia en los resultados de la evaluación de dosis;



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- d) En los casos en que el muestreo sea puntual, se debería demostrar que las muestras son representativas de las condiciones ambientales promedio — este método sólo es apropiado en los ambientes cuyas condiciones se sepa que son generalmente estables;
- e) Se deberían mantener registros del período de tiempo pasado en cada lugar de trabajo, con el grado de detalle que se especifique en las instrucciones locales de operación;
- f) Puede ser conveniente realizar monitorizaciones radiológicas individuales ocasionales para verificar que los resultados obtenidos son representativos.

4.35. La dosis total recibida por un individuo se puede evaluar a partir de los resultados de la monitorización del puesto de trabajo, evaluando y sumando por separado los componentes internos y externos de la dosis. La exposición interna (que sirve para evaluar la componente interna de la dosis), se puede determinar utilizando la suma de los productos del tiempo pasado en cada lugar y las concentraciones de contaminantes medidas en estos lugares. La componente externa de la dosis se puede evaluar a partir de la suma de los productos del tiempo pasado en cada lugar, por las tasas de dosis existentes en los lugares.

## **5. MEDIDAS DE PROTECCIÓN TECNOLÓGICAS Y ADMINISTRATIVAS**

### CONSIDERACIONES GENERALES

5.1. Para la seguridad y protección de los trabajadores, antes de recurrir a equipo de protección individual, se deberían aplicar al máximo posible medidas de control como la calidad del diseño, la instalación, el mantenimiento, la explotación, las disposiciones administrativas y la instrucción del personal. En las situaciones en que no sean suficientes las medidas de control para conseguir unas condiciones de trabajo seguras, o cuando se tenga que llevar a cabo trabajos de emergencia, se debería proporcionar equipo protector para restringir las exposiciones de los trabajadores.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

5.2. Los medios más efectivos para minimizar la exposición a las sustancias radiactivas suspendidas en el aire en las minas subterráneas y las plantas de tratamiento son los sistemas de ventilación adecuadamente diseñados y debidamente controlados. Para restringir la exposición al radón y sus descendientes en las minas subterráneas también pueden ser efectivos revestimientos de superficies y/o barreras.

### VENTILACIÓN

5.3. En una mina, el sistema primario de ventilación lleva aire fresco a los puestos de trabajo, diluyendo los contaminantes derivados de las operaciones de minería. El diseño de la red de ventilación, incluido el cálculo de los valores de caudales de aire en todos los pozos, túneles y galerías, es una responsabilidad primordial que incumbe a la dirección de la mina y al oficial de ventilación.

5.4. En algunos casos, el aire fresco que suministra el sistema de ventilación primario, no es suficiente para ventilar determinados puestos de trabajo. En esas circunstancias, se suele dotar de ventilación auxiliar a los puestos afectados mediante conductos flexibles. La situación de los conductos de ventilación auxiliares debería ser tal que evite remolinos de recirculación de aire contaminado.

5.5. Como se señala en los párrs. 4.21–4.25, se debería asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de ventilación primario y auxiliares conforme se desarrolle y amplíe la mina. El empleador debería poner en práctica un programa de inspección y mantenimiento del equipo de ventilación, incluidos los ventiladores principales, los ventiladores auxiliares y los sistemas de calefacción o refrigeración. Este programa debería contar con su documentación y registros.

5.6. El diseño del sistema de ventilación debería ser parte integrante de la planificación de la mina y del proceso de desarrollo con el objetivo de alcanzar, cuando sea factible, un sistema de ventilación de “paso único” o en paralelo que asegure una buena calidad del aire y minimice la acumulación de radón.

5.7. Para el funcionamiento eficaz de los sistemas de ventilación principales y auxiliares en las minas:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) Se deberían separar todo lo posible las tomas y las salidas de aire.
- b) Para la salud y seguridad de los trabajadores, se debería suministrar a cada puesto de trabajo aire en cantidad y calidad suficientes, que aseguren una exposición mínima al polvo así como al radón y sus descendientes.
- c) Los sistemas principales para la ventilación de la mina y el control del polvo deberían funcionar preferiblemente de forma continua; si no es factible su funcionamiento continuo, el órgano regulador podrá autorizar la operación intermitente con sujeción al apartado d) siguiente.
- d) Cuando el sistema de ventilación se haya modificado, o se haya averiado o parado, se debería permitir que los trabajadores regresen a sus puestos de trabajo sólo después de que el sistema se haya vuelto a poner en marcha y se haya realizado una monitorización adecuada para asegurarse de que las concentraciones de los contaminantes suspendidos en el aire se han reducido hasta niveles aceptables.

Siempre que se satisfagan los apartados a)–c), puede haber algún margen para optimizar el factor de equilibrio de los descendientes del radón.

5.8. El empleador debería tomar medidas para evitar entradas no autorizadas a cualquier área subterránea de una mina que no esté ventilada. En caso de que el sistema de ventilación no funcione, se pueden llevar a cabo los servicios esenciales de mantenimiento necesarios para asegurar el funcionamiento del equipo o la maquinaria, siempre que se hayan tomado todas las medidas viables a fin de limitar las dosis de radiación recibidas por los trabajadores que participen en la operación de mantenimiento.

5.9. Las instrucciones locales de operación deberían especificar las disposiciones que hayan de tomarse en caso de cualquier forma de avería de un sistema de ventilación subterráneo o de una planta de tratamiento.

5.10. Se debería evitar la ubicación de lugares fijos de trabajo en las rutas de retorno del aire, o en áreas de alta radiación externa. Cuando sea adecuado, se pueden usar en estas circunstancias cabinas de operador con suministro de aire filtrado para proporcionar la protección necesaria.

## CONTROL DEL POLVO

5.11. En la mayoría de las operaciones de minería y tratamiento de las materias primas, se toman medidas para controlar el polvo y así proteger a los

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

trabajadores frente a los peligros que supone el polvo no radiactivo. Generalmente, estas medidas restringen las concentraciones de polvo radiactivo suspendido en el aire lo suficiente para satisfacer los requisitos de restricción de dosis establecidos en la Sección 3.

5.12. A fin de asegurarse de que en las minas y las instalaciones de tratamiento se han establecido métodos de control del polvo y de que son adecuados, se deberían adoptar formalmente programas de muestreo y control del polvo. Se deberían tomar las siguientes medidas:

- a) Minimizar la generación de polvo en las operaciones, utilizando las técnicas de minería apropiadas, por ejemplo adoptando modalidades y periodicidades de voladura adecuadas, empleando agua y otros medios para suprimir el polvo y usando equipo apropiado.
- b) Cuando se genere polvo se debería eliminar en el origen. Cuando sea necesario y factible, se debería encerrar ese origen bajo presión de aire negativa. Puede que haya que filtrar el aire antes de descargarlo al medio ambiente.
- c) El polvo que no se haya eliminado en el origen se puede diluir hasta niveles aceptables mediante cambios de aire frecuentes en la zona de trabajo. También en este caso puede que haya que filtrar el aire de salida antes de descargarlo al medio ambiente.
- d) Se debería tener cuidado de evitar la resuspensión de polvo causada por altas velocidades del aire.
- e) Cuando los métodos de control del polvo no alcancen una calidad del aire aceptable en las áreas de trabajo, se deberían proporcionar a los trabajadores cabinas de operación cerradas con suministro de aire filtrado.

### CONSIDERACIONES RELACIONADAS CON EL CONTROL EN EL TRATAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS

5.13. La consideración primordial en el diseño de las instalaciones de tratamiento de las materias primas debería ser la contención de los materiales radiactivos. Los materiales de este tipo que no se puedan contener de forma efectiva durante el proceso se deberían controlar mediante ventilación, para prevenir así la liberación de contaminantes y minimizar la exposición ocupacional.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

5.14. El diseño y funcionamiento de las plantas de molienda y tamizado debería ser tal que el escape de contaminantes se reduzca en la mayor medida posible.

5.15. El diseño del concentrador debería ser tal que minimice la generación de contaminantes líquidos o suspendidos en el aire.

5.16. En el diseño de las plantas de tratamiento, se deberían considerar los aspectos que prevengan la acumulación de contaminación. El diseño debería facilitar el trabajo de mantenimiento para eliminar la acumulación de cualquier contaminante.

5.17. Durante las operaciones de mantenimiento, se debería prestar especial atención al control de las exposiciones de los individuos originadas por la acumulación de material radiactivo en las tuberías y vasija de la planta, originada por la formación de sedimentos y de incrustaciones.

5.18. Hasta donde sea realizable, los materiales tóxicos y radiactivos concentrados se deberían manejar con equipos automáticos, en recintos donde se mantenga una presión de aire negativa.

5.19. Se debería procurar siempre una buena gestión y limpieza. El uso en las paredes, barandas, equipos, mobiliario y otros objetos, de pinturas de colores claramente distintos de los colores de los materiales y productos que se procesen, contribuye a la buena gestión y limpieza.

5.20. Los desechos sólidos, líquidos y gaseosos de la operación de tratamiento se deberían gestionar conforme a procedimientos para la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente aprobados por el órgano regulador.

### LIMPIEZA DE DERRAMES

5.21. El empleador debería establecer procedimientos escritos, inclusive procedimientos de limpieza de derrames, que se seguirán en caso de cualquier riesgo radiológico significativo que provenga de la pérdida, escape o vertido de materias primas:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- de la instalación de minería,
- durante el transporte desde la mina hasta una instalación de tratamiento o
- de las instalaciones de tratamiento y gestión de desechos.

5.22. Todo derrame de material radiactivo en una instalación de tratamiento se debería limpiar lo antes posible para minimizar la dispersión de la contaminación. La zona se debería descontaminar eliminando todo el material disgregado cuando sea factible.

### LIBERACIÓN DE REQUISITOS IMPUESTOS A MATERIALES Y EQUIPOS DE LAS MINAS E INSTALACIONES DE TRATAMIENTO

5.23. Las medidas de protección radiológica ocupacional que se han de adoptar para la disposición final, reciclado o reparación de los equipos y materiales contaminados deberían ser congruentes con las prescritas en la Ref. [7] y estar en conformidad con los procedimientos aprobados por el órgano regulador.

5.24. El diseño inicial de la instalación y las modificaciones posteriores deberían incorporar características que minimicen la contaminación, para facilitar una eventual clausura.

5.25. Los materiales y equipos se deberían descontaminar en la mayor medida posible y en conformidad con cualquier requisito aplicable para el levantamiento o la liberación autorizada de las restricciones a que estén sometidos antes de salir de la instalación de minería o tratamiento. Los métodos sin complicaciones como el lavado o la limpieza con aspirador suelen ser efectivos.

### EQUIPO PROTECTOR INDIVIDUAL

#### **Consideraciones generales**

5.26. El equipo protector individual se debería seleccionar teniendo adecuadamente en cuenta los riesgos existentes. El equipo no sólo debería proporcionar protección suficiente, sino también ser apropiado y cómodo para su uso.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

5.27. Son ejemplos de equipo de protector individual las ropas reforzadas, los trajes ventilados y las máscaras de respiración. Los trabajadores que posiblemente tengan que usar dicho equipo deberían recibir instrucción adecuada sobre su uso, manera de funcionar, mantenimiento y limitaciones.

### **Protección respiratoria**

5.28. Los empleadores no deberían recurrir al uso de equipo de protección respiratoria para cumplir con los límites de dosis de radiación aplicables a individuos excepto en circunstancias temporales e imprevistas. Como se indica en los párrs. 5.1 y 5.12, el radón y el polvo se deberían controlar generalmente de forma que no sea necesario dicho equipo para las tareas habituales. No obstante, se puede necesitar equipo respiratorio en caso de emergencia para trabajos de reparación y mantenimiento y en circunstancias especiales de corta duración. El equipo de protección respiratoria se debería utilizar sólo durante un período de tiempo especificado y limitado.

5.29. Si los niveles de contaminantes presentes en el aire superan los niveles de referencia correspondientes (véase el apéndice III, párrs. III.11(b) y III.14), las personas que realicen las acciones correctoras deberían llevar equipo adecuado de protección respiratoria. Mientras que se estén realizando esas medidas, la zona debería monitorizarse para estimar las posibles exposiciones a la radiación. Los empleadores deberían retirar a los trabajadores de las áreas afectadas, si las exposiciones continuadas son tales que se sobrepasen probablemente los niveles o los límites de dosis recomendados para un trabajo seguro.

5.30. El equipo respiratorio y su uso deberían ajustarse a los principios estipulados en el apéndice V.

### **Otros equipos de protección individual**

5.31. El empleador debería proporcionar buzos, cascos, guantes, monos y calzado impermeable así como mandiles, en consonancia con los riesgos de contaminación y según sea necesario y adecuado para las condiciones de trabajo. Se deberían proporcionar ropas de trabajo, incluso guantes y calzado, a cada trabajador cuya indumentaria personal sea susceptible de ser contaminada en la instalación de minería o tratamiento.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

5.32. La indumentaria personal y la ropa de trabajo se deberían cambiar en vestuarios apropiados, con lavabos intermedios adecuados, para controlar la dispersión de contaminación radiactiva. Las personas se deberían duchar y cambiar de ropa cuando salgan de puestos de trabajo contaminados.

5.33. Cuando las prendas de trabajo contaminadas se almacenen, se laven o se descontaminen de otro modo, o bien se desechen, el empleador debería adoptar medidas para prevenir la propagación de la contaminación a otras personas o puestos de trabajo, así como para minimizar las exposiciones de individuos y la emisión de contaminantes al medio ambiente.

5.34. El empleador debería proporcionar las instalaciones de lavado de ropa, lavado de botas y sistemas de aspiración u otros medios de descontaminación adecuados que sean necesarios.

### HIGIENE PERSONAL

5.35. Se deberían poner a disposición de todos los trabajadores lavabos idóneos para el lugar de trabajo.

5.36. Se debería dejar a cada trabajador tiempo suficiente para el uso de los lavabos antes de las pausas para el descanso y la comida así como al final de su turno.

5.37. Nadie debería comer, beber, masticar chicle o tabaco, fumar o aspirar rapé en las zonas de trabajo en las que se pudiera ingerir material radiactivo.

5.38. El empleador debería dotar las instalaciones de minería o de tratamiento — en ubicaciones razonablemente accesibles para cada trabajador — de áreas limpias donde comer, que tengan suministro de agua, aire de buena calidad así como instalaciones de lavado de las manos para prevenir la incorporación de material radiactivo. Estas instalaciones se deberían diseñar, monitorizar y mantener de forma aceptable para el órgano regulador. Se debería instruir a los trabajadores que utilicen estas instalaciones sobre cómo prevenir la contaminación.



## PRIMEROS AUXILIOS

5.39. Se deberían tomar precauciones especiales para la limpieza de las heridas sufridas en zonas donde exista material radiactivo concentrado, y de las causadas por equipo contaminado.

5.40. Antes de entrar en las zonas de trabajo se deberían vendar adecuadamente con material impermeable los cortes y heridas, en particular los de las manos.

5.41. El empleador debería cuidar de que los trabajadores reciban instrucción para prestar primeros auxilios relacionados específicamente con su labor.

## ROTACIÓN EN EL TRABAJO

5.42. En las minas en las que existan zonas con niveles de exposición a la radiación altos, y cuando no haya otros medios de control viables, cabe considerar la posibilidad de una rotación en el trabajo para restringir la exposición individual de los trabajadores. Sin embargo, el recurso a este método debería ser mínimo, y dicha rotación no debería servir nunca como sustitutivo del establecimiento y aplicación de métodos de control radiológico apropiados.

# 6. VIGILANCIA DE LA SALUD

6.1. Los párrafos I.41 y I.43 (apéndice I) de las NBS [2] especifican que:

“Los empleadores... deberán adoptar disposiciones para realizar una vigilancia de la salud adecuada en conformidad con los reglamentos establecidos por el órgano regulador. “Los programas de vigilancia de la salud deberán:

- a) basarse en los principios generales de la salud ocupacional y
- b) tener por objetivo la evaluación de la aptitud inicial y permanente de los trabajadores para las tareas a que se les destine.”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

6.2. Los elementos principales de un programa de vigilancia de la salud deberían ser:

- a) La evaluación de la salud de los trabajadores a fin de asegurarse de su aptitud para llevar a cabo las tareas que se les asignen;
- b) El establecimiento y mantenimiento de registros médicos confidenciales;
- c) Las disposiciones para atender los casos de exposición accidental y sobreexposición;
- d) La prestación de asesoramiento médico tanto a la dirección como a los trabajadores.

6.3. El médico ocupacional responsable de la vigilancia de la salud del personal debería conocer a fondo los efectos biológicos de la exposición a la radiación, los medios de control de la exposición y la interpretación de los datos de exposición y las evaluaciones dosimétricas. Dicha persona también debería conocer detalladamente las tareas así como las condiciones de los puestos de trabajo, para estar en situación de juzgar la aptitud de los trabajadores para su cometido; tanto en las actividades de minería como en las de tratamiento de materias primas, el médico ocupacional debería visitar los puestos de trabajo periódicamente para estar al corriente de las condiciones concretas de trabajo y ambientales. Los “Principios directivos técnicos y éticos relativos a la vigilancia de la salud de los trabajadores”, de la OIT [19], ofrecen orientación detallada de utilidad a los responsables del diseño, establecimiento, aplicación y gestión de los programas de vigilancia en esa materia.

6.4. Los programas de vigilancia de la salud en las actividades de minería y tratamiento de las materias primas, no tienen porqué ser, en principio, distintos de los referentes a las actividades industriales generales que conlleven exposición ocupacional a la radiación, acerca de las cuales se presenta orientación en:

- El apéndice VI de esta Guía de Seguridad;
- La Sección 7 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7];
- El informe de seguridad “Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation”[20].

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## Apéndice I

### RESPONSABILIDADES DE LOS EMPLEADORES Y LOS TRABAJADORES

#### RESPONSABILIDADES DE LOS EMPLEADORES

I.1. El empleador es el responsable de controlar la exposición de los trabajadores a la radiación y las sustancias radiactivas. Está obligado a cuidar de que las exposiciones a la radiación externa e interna de cada trabajador se mantengan controladas y sujetas a los límites individuales aplicables, así como a celebrar consultas con los trabajadores, por medio de sus representantes cuando así proceda, sobre los niveles de exposición a la radiación (Ref. [2], párrs. I.4 (a) y (j)).

I.2. El empleador debería tener en cuenta la salud y seguridad de los trabajadores en todas las etapas del diseño y planificación de la instalación, y debería presentar al órgano regulador antes de dar comienzo a las operaciones, información sobre los peligros de radiación probables y los métodos que se han de adoptar para controlar la exposición a la radiación y las sustancias radiactivas. Es un requisito llevar a cabo una evaluación radiológica previa de todos los aspectos de las operaciones para determinar las fuentes potenciales de exposición, realizar estimaciones realistas de las dosis y concretar las medidas de protección radiológica necesarias (Ref. [2], párr. 2.13(c)).

I.3. Como se especifica en el párr. I.4(b) de las NBS [2], los empleadores “...deberán cuidar, en el caso de todos los trabajadores dedicados a actividades que impliquen o pudieran implicar exposición ocupacional, de que ... la protección y la seguridad ocupacionales se optimicen conforme a los requisitos principales aplicables prescritos por las Normas”; dicho de otra forma, el empleador ha de mantener las dosis individuales y colectivas de los trabajadores reducidas al valor bajo que pueda alcanzarse razonablemente, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales.

I.4. El empleador debería establecer un programa de protección radiológica para optimizar la protección de los trabajadores y asegurar la administración eficaz de cualquier medida de control que se requiera. El empleador debería:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) Cuidar de que estén disponibles las máquinas y equipo, aparatos de monitorización, equipos protectores individuales y las instalaciones de primeros auxilios y de lavado que sean necesarios;
- b) Mantener e inspeccionar con regularidad las instalaciones, las máquinas y el equipo y organizar el trabajo de forma que garantice que no se sobrepasen los límites de dosis aplicables;
- c) Cuidar de que todo trabajador y supervisor expuesto a causa de su ocupación reciba capacitación adecuada en las prácticas de protección radiológica convenientes para las operaciones y de que se les informe sobre la naturaleza, fuentes y efectos potenciales en la salud que tiene la exposición a la radiación y a las sustancias radiactivas, así como sobre el control de los mismos mediante el mantenimiento de sistemas apropiados de ventilación y blindaje, una higiene personal correcta y el uso de equipo protector individual cuando corresponda;
- d) Asegurarse, mediante la función supervisora de que los trabajadores realizan su trabajo conforme a lo dispuesto en las instrucciones locales de operación;
- e) Establecer los niveles de referencia que sean necesarios, teniendo en cuenta las condiciones reales existentes in situ y los requisitos del órgano regulador y de las NBS [2];
- f) Facilitar a todo trabajador el acceso a la información consignada en su registro de dosis;
- g) Instaurar y mantener un sistema que:
  - i) promueva una actitud indagadora y deseosa de aprender en lo que respecta a la protección y la seguridad;
  - ii) desincentive la complacencia en asuntos tales como la actuación conforme a los principios y los procedimientos;
  - iii) sirva para detectar los problemas que afecten a la protección y la seguridad de los trabajadores y del público o a la protección del medio ambiente;
  - iv) especifique claramente las responsabilidades de los individuos;
  - v) garantice la adecuada capacitación y cualificación de los individuos;
  - vi) establezca cadenas jerárquicas precisas para la toma de decisiones;
  - vii) facilite la consulta y cooperación con los trabajadores, mediante sus representantes cuando así proceda;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- h) Establecer programas de garantía de calidad que proporcionen, según corresponda, una seguridad suficiente de que se satisfacen los requisitos relativos a la protección y la seguridad, así como de que se han instaurado mecanismos de control de calidad y procedimientos para el examen y evaluación de la efectividad global de las medidas de protección y seguridad;
- i) Comunicar al órgano regulador competente cualquier emisión accidental o no programada de material radiactivo al exterior de la instalación o en su interior, así como cualquier información que indique una degradación anormal, un debilitamiento o un fallo incipiente de cualquier estructura, sistema o componente, cuando tal emisión, degradación, debilitamiento o fallo pudiera constituir o contribuir a un riesgo radiológico significativo para la salud y seguridad de los trabajadores, o pudiera tener un impacto radiológico significativo en el medio ambiente;
- j) Facilitar la transmisión al nuevo empleador de los datos del registro de dosis del trabajador en caso de que éste cambie de empleo;
- k) Al ser liberado de sus obligaciones a efectos de regulación al finalizar las operaciones, transferir al órgano regulador todos los registros relacionados con la exposición a la radiación.

I.5. Para cumplir con los requisitos y recomendaciones especificados en los párrafos I.1 a I.4, el empleador debería establecer medidas de control detalladas. En particular debería:

- a) Realizar un estudio o examen detallado de puesta en servicio de los equipos e instalaciones, nuevos o notablemente modificados, antes de que empiecen a funcionar; uno de los propósitos principales de tal acción es asegurarse de que se proporciona la protección física adecuada y de que todos los sistemas de alarma y seguridad funcionan correctamente;
- b) Evaluar la eficacia de los controles tecnológicos y verificarlos de nuevo después de llevar a cabo cualquier modificación;
- c) Cerciorarse de la asignación por escrito de responsabilidades a los distintos niveles de gestión, así como de las correspondientes disposiciones organizativas;
- d) Asegurarse de que todos los trabajadores reciben la capacitación adecuada de repaso a intervalos regulares;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- e) Cuando realice el trabajo de forma conjunta cierto número de trabajadores, asegurarse de que todos ellos comprenden sus responsabilidades, sean individuales o conjuntas, para controlar la exposición a la radiación y las sustancias radiactivas tanto de los demás como de la suya propia, así como de que están sujetos a la supervisión adecuada;
- f) Con respecto a cada tipo de puesto de trabajo y empleo, asegurarse que los trabajadores tengan fácil acceso a ejemplares con las instrucciones de funcionamiento relativas a cualquier control adoptado en dicho puesto de trabajo y empleo, así como de que los ejemplares estén disponibles en los idiomas necesarios para que los comprendan todos los usuarios presentes en la instalación (usando pictogramas cuando sea preciso) y de que se mantengan legibles y en buen estado;
- g) Realizar valoraciones de los programas de protección radiológica operacional periódicamente para detectar las deficiencias y redundancias innecesarias que se deberían subsanar — el intervalo entre cada valoración se debería determinar en función de las operaciones, la magnitud de las dosis habituales, el riesgo de exposición y otros parámetros operacionales;
- h) Mantener bajo examen los resultados de las valoraciones mencionadas en g) para detectar tendencias y determinar cualquier acción adecuada que deba efectuarse;
- i) Mantener bajo examen los puestos de trabajo y los empleos con el propósito de reducir las dosis al valor más bajo que se pueda alcanzar razonablemente, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales;
- j) Estimular a los trabajadores para que encuentren maneras de reducir las dosis;
- k) Cerciorarse de que los trabajadores están sujetos a la supervisión sanitaria adecuada;
- l) Presentar al órgano regulador, a los intervalos que éste exija y sobre los períodos de tiempo que especifique:
  - i) Resúmenes de los registros de la exposición de los trabajadores a la radiación,
  - ii) Registros de las mediciones de las concentraciones de sustancias radiactivas,
  - iii) Otros registros que requiera el órgano regulador.

I.6. El empleador debería designar a una persona dotada de la autoridad de detener inmediatamente las prácticas de trabajo que se compruebe son radiológicamente inseguras.

## RESPONSABILIDADES DE LOS TRABAJADORES

I.7. Las NBS (Ref. [2], párr. I.10) establecen que:

“Los trabajadores deberán:

- a) observar todas las reglas y procedimientos aplicables de protección y seguridad especificados por el empleador, el titular registrado o el titular [de la licencia];
- b) usar correctamente los dispositivos de [monitorización] radiológica así como el equipo y la ropa de protección que se les hayan suministrado;
- c) cooperar con el empleador, el titular registrado o el titular [de la licencia] en lo que atañe a la protección y seguridad, así como a la ejecución de los programas de [monitorización] radiológica de la salud y de evaluación de dosis;
- d) facilitar al empleador, al titular registrado o al titular [de la licencia] toda información sobre sus actividades laborales pasadas y presentes que sea de interés para garantizar la protección y seguridad efectivas y completas de ellos mismos y de terceros;
- e) abstenerse de todo acto deliberado que pudiera originar, para ellos mismos o para terceros, situaciones de infracción de los requisitos prescritos por las Normas;
- f) aceptar toda la información, instrucción y capacitación en materia de protección y seguridad que les permita realizar su trabajo de conformidad con los requisitos prescritos por las Normas.”

I.8. Los trabajadores tienen responsabilidades genéricas en lo que respecta a la protección radiológica. Para satisfacer los requisitos establecidos en el párrafo I.7, los trabajadores deberían:

- a) Abstenerse, a menos que se haya autorizado oportunamente, de desplazar, retirar, alterar o interferir en cualquier dispositivo de seguridad u otro equipo (p. ej. de ventilación), suministrado para la protección de ellos mismos o de otras personas, o en cualquier método o proceso adoptado para controlar la exposición a la radiación y las sustancias radiactivas, así como tomar todas las precauciones razonables para evitar daños a ese equipo y mantenerlo en buenas condiciones;
- b) Seguir las prácticas y procedimientos cuya finalidad sea eliminar la generación y desprendimiento de polvo, controlar los niveles y las dosis de radiación y evitar emisiones accidentales o no programadas de sustancias radiactivas al exterior o en el interior de la instalación;



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- c) Informar de cualquier sospecha de incorporación accidental de sustancias radiactivas;
- d) Actuar conforme a todos los avisos o señales de advertencia colocados al efecto;
- e) Adoptar buenas prácticas de higiene personal, tales como lavarse antes de comer, llevar ropas de trabajo limpias y ducharse al final de la jornada de trabajo;
- f) Lavarse a conciencia las manos antes de fumar en las zonas donde esté permitido, si éstas existieran;
- g) Facilitar la monitorización radiológica de la contaminación interna mediante bioensayos, tal y como se requiera;
- h) En el caso de las trabajadoras, informar a los empleadores en caso de embarazo o de estar amamantando.

I.9. Los trabajadores deberían considerar la protección radiológica como parte integrante de un programa general de salud y seguridad ocupacional en cuyo marco tienen ciertas obligaciones y responsabilidades para su propia protección y la de los demás.

I.10. Los trabajadores deberían tener una obligación, en consonancia con su capacitación e instrucción, de informar inmediatamente a su supervisor de cualquier situación resultante del trabajo y a la que no puedan hacer frente por sus propios medios, que piensen que podría suponer un riesgo para su salud y seguridad o las de otras personas.

I.11. En conformidad con las leyes y reglamentaciones nacionales, los trabajadores, por medio de sus representantes en su caso, deberían tener el derecho de alejarse de cualquier peligro dimanante de su trabajo si tienen razones fundadas para pensar que puede existir un riesgo radiológico serio para su salud y su seguridad. En tales circunstancias los trabajadores deberían informar inmediatamente a sus supervisores.

## Apéndice II

### COEFICIENTES DE DOSIS CORRESPONDIENTES A RADIONUCLEIDOS DE DISTINTOS TIPOS DE ABSORCIÓN PULMONAR

II.1. Las tasas de absorción de los radionucleidos inhalados de distintos tipos de absorción pulmonar se pueden expresar en forma de semiperíodos biológicos aproximados y de las fracciones correspondientes del material, depositadas en cada región del tracto respiratorio, que llegan a los fluidos corporales. El depósito de las partículas inhaladas se calcula para cada región del tracto respiratorio, teniendo en cuenta tanto la inhalación como la exhalación. Los cálculos se realizan en función del tamaño de las partículas, de los parámetros de respiración y/o del volumen de trabajo y se supone que el depósito es independiente de la forma química. Los coeficientes de dosis por inhalación correspondientes a los distintos radionucleidos se indican en el cuadro II-III (Adenda II) de las NBS [2] para un diámetro aerodinámico de la mediana de actividad (DAMA) de 5  $\mu\text{m}$ , valor que actualmente se considera que representa la distribución por defecto más adecuada del tamaño de partículas de los aerosoles presentes en el puesto de trabajo [16].

II.2. Cuando se conocen las fracciones de los componentes de los tipos de absorción pulmonar rápida, moderada o lenta (F, M o S según sus siglas en inglés) de un determinado material, se puede calcular un coeficiente de dosis combinado en la forma:

$$h = f_F h_F + f_M h_M + f_S h_S$$

Donde  $f_F$ ,  $f_M$  y  $f_S$  son las fracciones de componentes rápida, moderada y lenta respectivamente, y  $h_F$ ,  $h_M$  y  $h_S$  son los coeficientes de dosis correspondientes.

II.3. La dosis por unidad de incorporación de concentrado de uranio (“torta amarilla”), calculada para un DAMA de 5  $\mu\text{m}$ , varía en un orden de magnitud entre los tipos de absorción pulmonar F y S. La composición de los concentrados de uranio depende fuertemente de las condiciones específicas de extracción y de postextracción. En particular, las altas temperaturas de calcinación dan lugar a un aumento de la fracción de compuestos de uranio que se disuelven en los pulmones de forma relativamente lenta (Tipo S).

II.4. Los coeficientes de dosis globales para los concentrados de uranio y torio separados químicamente (denotados por  $H_{CU}$  y  $H_{CTh}$  respectivamente en el párr. 3.12), son los promedios de los coeficientes de dosis correspondientes a los distintos nucleidos componentes (indicados en las NBS), ponderados con respecto a la concentración de actividad del nucleido. Se puede suponer que un concentrado de uranio separado por vía química contiene una mezcla de  $^{238}U$  y  $^{234}U$  con la misma concentración de actividad y de  $^{235}U$  con una concentración de actividad correspondiente a su abundancia natural (es decir, una relación de actividad  $^{235}U/^{238}U$  de 0,046). Asimismo cabe suponer que los concentrados de torio separado químicamente contienen una mezcla de  $^{232}Th$  y  $^{228}Th$  con igual concentración de actividad. Los coeficientes de dosis globales, calculados en base a estas suposiciones, se presentan en el cuadro II.I para los tipos de absorción pulmonar F, M y S y un DAMA de  $5 \mu m$ . Se puede suponer que los concentrados de torio fabricados únicamente por separación física contienen la cadena de desintegración del  $^{232}Th$  completa y se pueden evaluar del mismo modo que el polvo de mineral de torio (véase la definición del término  $H_{PMTTh}$  en el párr. 3.12).

II.5. Cuando exista poca o ninguna información disponible sobre el comportamiento de disolución en el pulmón más probable de los concentrados de uranio inhalados, se pueden utilizar técnicas relacionadas con la tasa de disolución in vitro para determinar las características de disolución del concentrado de uranio recogido en el puesto de trabajo. Tales procedimientos se pueden aplicar entonces para estimar las fracciones de los tipos de absorción pulmonar F, M y S presentes en el concentrado de uranio y calcular un coeficiente de dosis adecuado.

II.6. Se pueden utilizar técnicas similares para determinar los coeficientes de dosis correspondientes a los radionucleidos inhalados de tipos de absorción pulmonar mixtos F, M y S presentes en polvos de mineral de uranio y polvos de mineral de torio.

CUADRO II.I. COEFICIENTES DE DOSIS POR INHALACIÓN PARA EL URANIO Y EL TORIO SEPARADOS QUÍMICAMENTE (DAMA =  $5 \mu m$ )

Tipo de concentrado	Coeficiente de dosis (Sv/Bq)		
	F	M	S
Uranio ( $^{238}U$ , $^{234}U$ y $^{235}U$ )	$6,1 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$6,2 \times 10^{-6}$
Torio ( $^{232}Th$ y $^{228}Th$ )	—	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$

### Apéndice III

## ORIENTACIÓN GENÉRICA SOBRE EL PROGRAMA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

### ÁMBITO Y ESTRUCTURA

III.1. La Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párrs. 5.10 y 5.11) establece que<sup>6</sup>:

“El [programa de protección radiológica (PPR)] abarca los principales elementos que contribuyen a la protección y la seguridad y es, por tanto, un factor clave para el desarrollo de la cultura de la seguridad, “para estimular, ante la protección y la seguridad, una actitud interrogante y deseosa de aprender y desincentivar la complacencia” (Ref. [2], párr. 2.28). El desarrollo de una cultura de seguridad depende del compromiso de la dirección.”

“Cualquiera que sea la situación, en la estructura básica del PPR se deberá documentar con un nivel adecuado de detalle:

- a) La asignación de responsabilidades para la seguridad y la protección radiológica ocupacional a los diferentes niveles de dirección, incluidas las correspondientes disposiciones de carácter organizativo, y si procede (por ejemplo en el caso de los trabajadores itinerantes), la distribución de las respectivas responsabilidades entre los empleadores y el titular registrado o el titular [de la licencia];
- b) La designación de zonas controladas o supervisadas;
- c) Las reglas locales que deben seguir los trabajadores y la supervisión del trabajo;
- d) Las disposiciones para la [monitorización] radiológica de los trabajadores y de los puestos de trabajo, inclusive la adquisición y el mantenimiento de los instrumentos de protección radiológica;
- e) El sistema para registrar y notificar toda la información pertinente relacionada con el control de las exposiciones, las decisiones referentes a las medidas para la protección radiológica ocupacional y la seguridad, así como la [monitorización] radiológica individual;

---

<sup>6</sup> En las citas de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7] que figuran en este apéndice, la Ref [2], es decir las NBS (Colección Seguridad N° 115) es la misma que la enumerada como Ref [2] en la presente Guía de Seguridad.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- f) El programa de enseñanza y capacitación sobre la naturaleza de los riesgos, la protección y la seguridad;
- g) Los métodos para auditar y revisar periódicamente la ejecución del PPR;
- h) Los planes a aplicar en caso de intervención...;
- i) El programa de vigilancia de la salud...;
- j) Los requisitos para garantizar la calidad y la mejora de los procesos...”.

III.2. Como norma general se debería aceptar el hecho de que los principios de la protección radiológica posiblemente se desarrollen en el futuro más a fondo, así como hacer hincapié en la importancia de la optimización de la protección y la seguridad.

### ASIGNACIÓN DE RESPONSABILIDADES

III.3. La Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párrs. 5.12–5.15) establece que:

“Para cumplir sus responsabilidades en cuanto al establecimiento y la implantación de las medidas técnicas y organizativas necesarias para garantizar la protección y la seguridad, los titulares [de las licencias] y los titulares registrados [es decir, los empleadores] “podrán nombrar a otras personas que ejecuten acciones y tareas relacionadas con esa responsabilidad, pero deberán seguir siendo ellos mismos los responsables de esas acciones y tareas. Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] deberán indicar concretamente las personas encargadas de velar por el cumplimiento de las Normas” (Ref. [2], párr. 2.15). Así, la dirección deberá asignar al personal, según convenga, la responsabilidad de la implantación del PPR dentro de la organización. Las responsabilidades de cada nivel jerárquico, desde la dirección superior hasta los trabajadores, en cada aspecto del PPR, deberán estar claramente delineadas y documentadas en declaraciones normativas para asegurar que todos las conozcan. Cuando lo exija [el órgano regulador], deberían ser designados oficiales de protección radiológica para supervisar la aplicación de los requisitos reglamentarios.”

“Las estructuras organizativas deberían comprender la asignación de responsabilidades y el compromiso de la organización con respecto a la protección y la seguridad. La estructura de la dirección debería facilitar la cooperación entre las diversas personas involucradas. El PPR debería diseñarse de forma tal que se brinde la información pertinente a las personas encargadas de los diversos aspectos del trabajo.”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

“Con el fin de coordinar la toma de decisiones acerca de la elección de medidas de protección, quizás sea conveniente, según el tamaño de la organización, crear un comité específico con representantes de los departamentos relacionados con la exposición ocupacional. La función principal de este comité sería asesorar a la dirección superior sobre el PPR. Entre sus miembros, por consiguiente, deberían estar los funcionarios directivos de los departamentos correspondientes y los trabajadores con experiencia en la materia. El comité debería delinear los principales objetivos del PPR, en general, y de la protección radiológica operacional, en particular; validar los objetivos de protección; formular propuestas en cuanto a la elección de las medidas de protección y dar recomendaciones a la dirección con relación a los recursos, métodos e instrumentos que se asignen para el cumplimiento del PPR.”

“En el párr. 2.31 de las NBS (Ref. [2]) se indica que “se deberá designar expertos cualificados y disponer de sus servicios para que presten asesoramiento sobre la observancia de las Normas.” En particular, se deberán seleccionar expertos cualificados en protección radiológica que estén disponibles para brindar asesoramiento en una gama de temas, incluida la optimización de la protección y la seguridad.”

### **El oficial de protección radiológica**

III.4. El oficial de protección radiológica debería poseer la cualificación y experiencia adecuadas. Tal aptitud se puede acreditar mediante la certificación de organismos o sociedades calificadores competentes, licencias profesionales, títulos académicos o experiencia. Los órganos reguladores pueden ofrecer orientación sobre lo que se puede considerar cualificación y experiencia adecuadas. El oficial de protección radiológica debería aplicar el PPR, y en particular:

- a) Asesorar a la dirección en todas las materias relacionadas con la protección radiológica, incluida la monitorización radiológica de los puestos de trabajo, la monitorización individual, el equipo de protección y los procedimientos administrativos;
- b) Identificar las fuentes de radiación y sustancias radiactivas principales presentes en el entorno de trabajo;
- c) Dirigir los programas habituales de monitorización de los puestos de trabajo y de monitorización individual, así como cualquier programa de monitorización radiológica especial;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- d) Llevar a cabo programas de control y muestreo del polvo<sup>7</sup>;
- e) Dirigir el programa de calibración de todos los dosímetros e instrumentos utilizados para la monitorización radiológica individual y de los puestos de trabajo;
- f) Participar en los programas de capacitación de los trabajadores y desarrollar, o examinar para su aprobación, los materiales didácticos relacionados con la protección radiológica;
- g) Cuidar de que se realicen las evaluaciones de dosis pertinentes;
- h) Cuidar de que los registros de dosis se mantengan adecuadamente y de que se envían periódicamente resúmenes a la dirección y a los trabajadores (por medio de sus representantes, en su caso);
- i) Examinar los registros de dosis en busca de resultados inusuales o anómalos, investigar esos resultados y presentar informes escritos así como formular las recomendaciones pertinentes sobre los mismos;
- j) Participar en las investigaciones sobre las exposiciones inusuales o accidentales y las dosis que superen el nivel de referencia, así como tomar parte en la preparación de los informes sobre esas investigaciones a la dirección;
- k) Asesorar al médico ocupacional, cuando proceda, sobre las condiciones existentes en el entorno laboral;
- l) Cuidar de que los medios de protección respiratoria se utilicen, cuando sean necesarios, conforme a los procedimientos recomendados (véase el apéndice V);
- m) Realizar regularmente evaluaciones del PPR y presentar a la dirección informes sobre ellas;
- n) Dar orientación sobre los temas de todo programa de monitorización radiológica ambiental relacionados con la protección radiológica;
- o) Definir los escenarios relativos a exposición potencial y condiciones de emergencia y elaborar un plan adecuado de respuesta a emergencias así como cuidar de su eficacia si se pone en práctica.

---

<sup>7</sup> En las operaciones de minería y tratamiento de materias primas, los programas de muestreo y control del polvo se deberían realizar juntamente con el oficial encargado de la ventilación, cuando se designe para este cargo a otra persona, pudiendo pasar a ser competencia de esta última.

### **Contabilidad de las fuentes radiactivas**

III.5. El apéndice IV de las NBS (Ref. [2], párr. IV.17) establece que:

“Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] [es decir, los empleadores] deberán mantener un sistema de contabilidad en el que consten, en particular:

- a) la ubicación y descripción de cada fuente de la que sean responsables;
- b) la actividad y forma de cada sustancia radiactiva de la que sean responsables”.

La Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párr. 5.16) establece que “Además, debería considerarse la posibilidad de llevar registros de instrucciones especiales recibidas en relación con cada sustancia radiactiva y de detalles de la disposición final de cualquier fuente.”

### **CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS**

III.6. Para controlar más efectiva y consecuentemente la exposición ocupacional a la radiación, los lugares de trabajo se deberían definir formalmente como “zonas controladas” o “zonas supervisadas” conforme se especifica en los párrs. III.8 y III.10.

III.7. La distinción entre zonas controladas y supervisadas se debería efectuar basándose en la experiencia y en criterios operacionales, y se podría establecer teniendo en cuenta factores tales como el potencial de variabilidad de las tasas de dosis externas y de dosis internas y el potencial de dispersión de la contaminación.

#### **Zonas controladas**

III.8. El apéndice I de las NBS (Ref. [2], párrs. I.21–I.23) establece que:

“Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] deberán definir como zona controlada toda zona en la que se prescriban o pudieran prescribirse medidas protectoras o disposiciones de seguridad específicas para:



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) controlar las exposiciones normales o impedir la dispersión de la contaminación en condiciones normales de trabajo;
- b) prevenir las exposiciones potenciales o limitar su magnitud.”

“Al determinar los límites de toda zona controlada, los titulares registrados y los titulares [de las licencias] deberán tener en cuenta la magnitud de las exposiciones normales previstas, la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, y la naturaleza y alcance de los procedimientos de protección y seguridad requeridos.”

“Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] deberán:

- a) delimitar por medios físicos las zonas controladas o, cuando esto no sea razonablemente factible, por otros medios adecuados;  
.....
- c) colocar un símbolo de advertencia... y las instrucciones apropiadas en los puntos de acceso y otros lugares adecuados del interior de las zonas controladas;
- d) establecer medidas de protección y seguridad ocupacional inclusive reglas y procedimientos locales apropiados para las zonas controladas;
- e) restringir el acceso a las zonas controladas por medio de procedimientos administrativos... y mediante barreras físicas,... siendo el grado de restricción proporcionado a la magnitud y probabilidad de las exposiciones previstas;
- f) proporcionar, en los puntos de entrada en las zonas controladas, según proceda:
  - i) ropa y equipo de protección;
  - ii) equipo de [monitorización] radiológica;
  - iii) un lugar adecuado para guardar la ropa personal;
- g) proporcionar, en los puntos de salida de las zonas controladas, según proceda:
  - i) equipo de [monitorización] radiológica de la contaminación de la piel y la ropa;
  - ii) equipo de [monitorización] radiológica de la contaminación de todo objeto o sustancia que se saque de la zona;
  - iii) instalaciones de lavado o ducha;
  - iv) un lugar adecuado para guardar la ropa y el equipo de protección contaminados;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- h) examinar periódicamente las condiciones para determinar la posible necesidad de revisar las medidas de protección o las disposiciones de seguridad, o bien los límites de las zonas controladas.”

III.9. Se debería restringir el acceso a las zonas controladas y cuidar así de que los trabajadores sólo entren a los lugares de trabajo que les han sido asignados. De este modo la dirección puede controlar las exposiciones normales de los mismos y, cuando sea procedente, asignar las dosis en base a la monitorización radiológica de los puestos de trabajo.

### **Zonas supervisadas**

III.10. El apéndice I de las NBS (Ref. [2], párrs. I.24 y I.25) establece que:

“Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] [es decir, los empleadores] deberán definir como zona supervisada toda zona que no haya sido ya definida como zona controlada, pero en la que sea preciso mantener bajo examen las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas de protección ni disposiciones de seguridad específicas.”

“Los titulares registrados y los titulares [de las licencias] [es decir, los empleadores] deberán, teniendo en cuenta la naturaleza y magnitud de los riesgos de radiación existentes en las zonas supervisadas:

- a) delimitar las zonas supervisadas por medios apropiados;
- b) colocar señales aprobadas en los puntos adecuados de acceso a las zonas supervisadas;
- c) examinar periódicamente las condiciones para determinar toda necesidad de medidas protectoras y disposiciones de seguridad, o de modificación de los límites de las zonas supervisadas.”

### INSTRUCCIONES LOCALES DE OPERACIÓN

III.11. El párrafo I.26 (apéndice I) de las NBS [2] establece que:

“Los empleadores... deberán, en consulta con los trabajadores, por medio de sus representantes si procede:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) establecer por escrito las reglas y procedimientos locales necesarios para garantizar niveles suficientes de protección y seguridad a los trabajadores y demás personas;
- b) indicar en las reglas y procedimientos locales los valores correspondientes a todo nivel de investigación o nivel autorizado aplicable, y el procedimiento a seguir en caso de que se rebase cualquiera de esos valores;
- c) poner las reglas y procedimientos locales así como las medidas protectoras y las disposiciones de seguridad en conocimiento de los trabajadores a los que sean aplicables y de las demás personas a las que puedan afectar;
- d) velar por que todo trabajo que implique exposición ocupacional sea supervisado adecuadamente y hacer todo lo que sea razonable para garantizar la observancia de las reglas, procedimientos, medidas protectoras y disposiciones de seguridad.”

III.12. Las instrucciones locales de operación deberían guardar correspondencia con el diseño y objetivos de cada instalación y se deberían concebir de forma que contribuyan a optimizar la protección y seguridad.

III.13. Los trabajadores deberían recibir adiestramiento adecuado para que puedan cumplir con las instrucciones locales de operación.

III.14. Normalmente, los niveles de referencia deberían guardar correspondencia con las medidas de investigación o correctoras que se hayan de tomar cuando se excedan dichos niveles. Estas medidas se deberían ejecutar en un período de tiempo especificado.

III.15. Las instrucciones locales de operación pueden incluir algunas o todas las estipulaciones relativas a los diversos componentes del programa de protección radiológica, por ejemplo:

- monitorización de las exposiciones y de la contaminación;
- medidas protectoras tecnológicas, por ejemplo los sistemas de ventilación;
- uso de ropa protectora;
- higiene personal;
- vigilancia de la salud;
- gestión de desechos radiactivos;
- monitorización radiológica ambiental;
- control de calidad;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- capacitación;
- desarrollo de una cultura de la seguridad;
- mantenimiento de registros;
- presentación de informes.

### MONITORIZACIÓN RADIOLÓGICA Y EVALUACIÓN DE DOSIS

III.16. El párrafo 2.38 de las NBS [2] establece que “se deberán realizar actividades de [monitorización] radiológica y medición de los parámetros necesarios para verificar el cumplimiento de los requisitos prescritos por las Normas”. La Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párr. 5.39) amplía este principio como sigue:

“El término general “[monitorización] radiológica” describe las mediciones relacionadas con la evaluación o el control de la exposición a la radiación y a los materiales radiactivos. Aunque las mediciones desempeñen un papel importante en cualquier PPR, la [monitorización] radiológica es más que una medición simple; requiere interpretación y evaluación. La justificación principal para realizar una medición debe, por lo tanto, encontrarse en la manera en que ayude a lograr y demostrar una protección adecuada, incluida la implantación de la optimización de la protección.”

III.17. La monitorización radiológica que se lleva a cabo para evaluar la dosis individual, está supeditada a los siguientes requisitos (véanse los párrs. I.33–I.35 (apéndice I) de las NBS [2]):

“Cuando un trabajador realice normalmente sus actividades en una zona controlada, o trabaje ocasionalmente en una zona controlada y pueda sufrir una exposición ocupacional significativa, deberá ser objeto de [monitorización] radiológica individual siempre que ello sea procedente, adecuado y factible. En los casos en que la [monitorización] radiológica individual no sea procedente, adecuada ni factible, la exposición ocupacional del trabajador deberá evaluarse en base a los resultados de la [monitorización] radiológica del puesto de trabajo y a la información sobre los lugares y la duración de la exposición del trabajador.”

“Cuando un trabajador realice habitualmente su actividad profesional en una zona supervisada, o entre sólo ocasionalmente en una zona controlada, no deberá ser necesaria su [monitorización] radiológica individual, pero deberá evaluarse su exposición ocupacional...”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

“La naturaleza, frecuencia y precisión de la [monitorización] radiológica individual deberán determinarse atendiendo a la magnitud y las posibles fluctuaciones de los niveles de exposición, así como a la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.”

III.18. Con respecto a la evaluación de la dosis interna, los párrs. 5.55 y 5.66 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7] establecen que:

“La [monitorización] radiológica individual para la evaluación de la dosis interna debería llevarse a cabo cuando la dosis interna pueda ser importante. Cuando sea posible, la incorporación de material radiactivo debería evaluarse utilizando mediciones in vivo o in vitro, o mediante muestras individuales de aire.”

“En general, la exposición radiológica individual de un trabajador debería evaluarse a partir de los resultados de la [monitorización] radiológica individual. Hay ocasiones, particularmente en la evaluación de las dosis internas, cuando esto no puede ser factible y hay que confiar en la [monitorización] radiológica del lugar de trabajo.”

III.19. Es probable que la vigilancia radiológica de los puestos de trabajo sea la opción más simple y barata para evaluar las incorporaciones, pero es posible que ésta no sea capaz de proporcionar la calidad necesaria en la información sobre la exposición cuando las incorporaciones pudieran ser significativas o variables.

III.20. En las Guías de Seguridad sobre la evaluación de la exposición [8, 9] se presenta orientación adicional sobre la [monitorización] radiológica y las mediciones, incluso ejemplos de situaciones en las que la [monitorización] radiológica individual podría ser improcedente o no factible en las zonas controladas.

### **Registros de dosis**

III.21. El empleador debería conservar registros de dosis como se prescribe en los párrs. 5.75–5.85 de la Guía de Seguridad “Protección radiológica ocupacional” [7]. Los párrafos 5.90 y 5.91 de la Ref. [7] establecen que:

“En general, los períodos de conservación [de los registros de dosis] deberían ser especificados por [el órgano regulador]. A falta de tales especificaciones, se sugieren las siguientes:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

<i>Tipo de registro</i>	<i>Período de conservación sugerido</i>
[Monitorización] radiológica del lugar de trabajo, calibración del instrumento de medición	5 años
Exposición ocupacional del trabajador, calibración del equipo de [monitorización] radiológica individual	Hasta que el trabajador alcance “o hubieran alcanzado los 75 años de edad y 30 años después de terminado el trabajo”

“Las recomendaciones anteriores conciernen a los requisitos mínimos que deben ser prescritos por [el órgano regulador] para la conservación del registro. Además, la dirección puede decidir conservar registros más detallados relacionados con las operaciones específicas, que pueden, por ejemplo, ser utilizados en una futura optimización de la protección. Estas operaciones podrían incluir el mantenimiento o actividades de reforma.”

III.22. Los párrafos I.47 y I.48 (apéndice I) de las NBS [2] establecen que:

“Los empleadores... deberán:

- a) facilitar a los trabajadores el acceso a la información contenida en los registros de exposición de estos últimos;
- b) facilitar al supervisor del programa de vigilancia de la salud [y] [al órgano regulador] ... el acceso a los registros de exposición ...;
- c) ... prestar el cuidado y la atención debidos a la preservación de la adecuada confidencialidad de los registros.”

“Si los empleadores... cesan en las actividades que impliquen la exposición ocupacional de los trabajadores, deberán adoptar las disposiciones necesarias para que los registros de exposición de los trabajadores sean guardados por [el órgano regulador], o en un archivo nacional... según proceda.”

### INSTRUCCIÓN DEL PERSONAL

III.23. Además de su capacitación inicial normal en materia de salud y seguridad ocupacionales, los trabajadores que tengan probabilidad de ser expuestos a la radiación deberían recibir instrucción sobre los temas enumerados en los párrs. III.24 y III.25, según proceda y atendiendo a

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

consideraciones como el riesgo de radiación, el tipo de instalación (p. ej. una mina o una planta de tratamiento) y la función de cada trabajador.

### **Salud y seguridad básicas en relación con la radiación**

III.24. La capacitación en materia de salud y seguridad básicas en relación con la radiación puede incluir lo siguiente:

- a) principios de la protección radiológica (límites y optimización);
- b) magnitudes y unidades básicas en protección radiológica;
- c) características de los materiales radiactivos y peligros inherentes;
- d) finalidad y métodos de estimación de las dosis de radiación a los trabajadores, inclusive la aplicación de la monitorización radiológica individual y las mediciones;
- e) prácticas apropiadas para eliminar, limitar o controlar las dosis de radiación a los trabajadores, incluyendo la higiene personal y las técnicas básicas de reducción de dosis, como las basadas en el blindaje, la distancia y el tiempo;
- f) personas con las que contactar en cuestiones de salud y seguridad radiológicas;
- g) obligaciones de los trabajadores sometidos a las reglamentaciones establecidas por el órgano regulador;
- h) efectos de la exposición a la radiación en la salud;
- i) significado de las señales de advertencia.

### **Salud y seguridad en relación con el trabajo**

III.25. Los trabajadores deberían recibir capacitación en el trabajo sobre salud y seguridad, la cual puede incluir, según el caso, lo siguiente:

- a) los peligros potenciales para la salud inherentes al trabajo;
- b) los métodos y técnicas de trabajo seguros — reglas de conducta en la instalación;
- c) medidas que se han de tomar tras un contacto físico accidental con sustancias radiactivas o tras una incorporación aguda de radionucleidos;
- d) el plan de vigilancia de la salud aplicable, las razones para ello y la necesidad de notificar cualesquiera problemas de salud que puedan afectar a la aptitud para el trabajo;
- e) la selección, uso, cuidado y mantenimiento adecuados de los instrumentos y equipo de protección radiológica y los dosímetros individuales;

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- f) la función y finalidad de las medidas protectoras tecnológicas, tales como los sistemas de ventilación y los sistemas de eliminación del polvo, así como la necesidad de informar inmediatamente de cualquier avería a la persona apropiada;
- g) la licencia o la inscripción en registro y las instrucciones locales de operación así como su aplicación para el funcionamiento de la instalación;
- h) los medios de contactar con las personas clave, tales como el oficial de protección radiológica, el médico ocupacional, el representante del órgano regulador y el representante de los trabajadores;
- i) los planes de emergencia;
- j) la localización de las instalaciones de primeros auxilios.

III.26. Los supervisores deberían recibir capacitación adicional que les permita cumplir con sus obligaciones de supervisión, por ejemplo:

- a) capacitación más avanzada en protección radiológica,
- b) capacitación en el examen de las exposiciones y dosis a los trabajadores,
- c) cumplimiento de las prácticas de trabajo.

III.27. El párrafo I.27 (d) (apéndice I) de las NBS [2] estipula que el empleador mantenga registros de la capacitación impartida a cada trabajador. Estos registros deberían incluir las fechas en las que se impartió la capacitación, los tipos de capacitación recibida, la certificación y los programas de repaso.

III.28. El órgano regulador debería evaluar y validar cada cierto tiempo los programas de capacitación, los materiales didácticos y los métodos de instrucción. Los programas y registros de capacitación deberían estar disponibles para su inspección por el órgano regulador.



## Apéndice IV

### TÉCNICAS DE MONITORIZACIÓN RADIOLÓGICA

IV.1. En este apéndice se presenta un resumen y actualización de la información sobre las técnicas de monitorización radiológica que figura en el N° 95 de la Colección Seguridad del OIEA, “Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores” [21]. En las refs. [22–24] se presenta información adicional sobre las técnicas de monitorización.

#### RADIACIÓN EXTERNA

IV.2. Varios radionucleidos de las cadenas de desintegración del uranio y el torio emiten radiación beta y gamma. La radiación beta es insignificante en las minas, pero puede ser importante en cuanto a las dosis en piel en ciertas operaciones del tratamiento de minerales. Los niveles de radiación gamma en las minas generalmente aumentan con la calidad del mineral. Normalmente alcanzan como máximo unas pocas decenas de microsieverts por hora, pero pueden subir hasta 1 mSv/h en los lugares cercanos a los minerales de alta calidad o a los concentrados en las instalaciones de tratamiento del mineral.

IV.3. En el caso de la monitorización radiológica de los puestos de trabajo, la radiación externa se puede medir con una cámara de ionización, un contador Geiger o un detector de centelleo. Ya que las dosis beta en la minería y tratamiento de minerales son menos significativas que las dosis gamma en la mayoría de las zonas, en algunas actividades serán apropiados instrumentos que sólo midan la dosis gamma.

IV.4. En el caso de la monitorización radiológica individual, se pueden usar dosímetros que sólo midan la dosis gamma o bien las dosis gamma más beta. En el ambiente minero, los dosímetros termoluminiscentes o los estimulados ópticamente son preferibles a los dosímetros de película fotográfica, pues duran más y son menos propensos al deterioro.

#### RADÓN ( $^{222}\text{RN}$ ) Y SUS DESCENDIENTES

IV.5. En la mina, el radón es liberado a la atmósfera por un flujo que circula a presión, por difusión y por percolación a través del mineral. Al contrario que el

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

polvo del mineral — cuya generación depende de las actividades de trabajo en la mina — la liberación de radón a la atmósfera de la mina tiene lugar de forma continua. Una fuente frecuente de radón es el agua que se infiltra a través del cuerpo mineralizado, disolviendo el gas radón en una medida considerable, y liberándolo a la atmósfera de la mina al pasar a los espacios abiertos. Debido a los cortos períodos de semidesintegración de los descendientes del radón, se produce un rápido incremento de sus concentraciones cuando está presente una fuente de radón y un rápido decrecimiento cuando los descendientes se separan de la fuente. Por tanto, en las muestras de aire que se recogen en un filtro, los descendientes del radón tienen típicamente un período de semidesintegración efectivo de alrededor de media hora y se deberían analizar inmediatamente después de recogerlas (antes de que su actividad decaiga hasta niveles indetectables).

IV.6. En la atmósfera de las minas, la relación entre las concentraciones de actividad respectivas de los descendientes de vida corta del radón y el propio radón cambia rápidamente con la edad del aire de ventilación según éste fluye a través de la mina. En el aire relativamente fresco la relación es baja, pero se aproxima a la unidad en el aire viejo (estancado). La mayoría de los descendientes del radón, en forma de pequeños iones positivos o de átomos neutros agrupados en moléculas de agua o en otras moléculas presentes en el aire, se adhieren a las partículas de aerosoles existentes en la atmósfera, de un diámetro aproximado de 0,3  $\mu\text{m}$ , y por consiguiente, al igual que los descendientes que no se adhieren, son respirables.

### **Monitorización radiológica del radón y sus descendientes en los puestos de trabajo**

IV.7. En los programas de monitorización de los puestos de trabajo, la consideración primordial son los descendientes del radón, más que el propio radón. Sin embargo, se pueden utilizar las mediciones del radón si se tiene un conocimiento suficientemente fidedigno de los factores de equilibrio. Alternativamente, a efectos de control, pueden ser útiles las mediciones del radón combinadas con las de sus descendientes para determinar los factores de equilibrio y deducir información sobre la edad del aire en determinados lugares.

IV.8. La monitorización radiológica de las concentraciones del radón en los puestos de trabajo se puede realizar por diversos métodos, entre ellos:

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- a) muestreo puntual con células de centelleo alfa (células de Lucas);
- b) muestreo puntual con cámaras de ionización pulsadas;
- c) muestreo puntual por el método de dos filtros;
- d) mediciones integradas en el tiempo con detectores de trazas nucleares (copa de radón);
- e) mediciones integradas en el tiempo con dosímetros termoluminiscentes;
- f) monitorización “continua” (denominada más propiamente muestreo puntual frecuente) utilizando adaptaciones de los métodos de muestreo puntual enumerados *supra*.

IV.9. La monitorización radiológica de las concentraciones de los descendientes del radón en los puestos de trabajo, implica generalmente un muestreo activo de aire, en el que un volumen conocido de aire se hace pasar a través de un filtro. La actividad alfa y/o beta en el filtro se mide durante y/o después del muestreo. En algunos métodos se determinan las actividades totales, mientras que en otros se determinan las concentraciones particulares de los descendientes del radón. A menudo, para la medición de valor alfa total, la detección se lleva a cabo simplemente con un disco centelleador montado sobre un tubo fotomultiplicador y situado a corta distancia del filtro a la presión atmosférica. Para determinar la actividad particular de los descendientes del radón se utiliza la espectroscopia alfa.

IV.10. En el caso ideal, un programa de muestreo para determinar las concentraciones de los descendientes del radón se debería basar en un muestreo aleatorio estratificado. El diseño inicial del programa de muestreo se debería realizar en base a los resultados de una exploración para seleccionar todos los puestos de trabajo que lleven aparejadas mediciones múltiples en cada lugar. Se debería prestar atención especial a la estadística del muestreo para asegurarse de que se alcanza el grado de precisión deseado.

IV.11. Los diversos métodos utilizados para determinar las concentraciones de los descendientes del radón se describen en los párrs. IV.12–IV.16.

### *Métodos de recuento simple*

IV.12. Dos métodos de recuento simple que se utilizan comúnmente son el método de Kusnetz modificado y el método de Rolle, los cuales sólo difieren en la elección del muestreo y en los tiempos de medición. El aire se hace pasar a través de un filtro a una tasa de 2–10 L/min durante un tiempo de muestreo de 5–10 min. Tras un período de espera de hasta 90 min, se integra la actividad alfa

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

total (normalmente con un contador de centelleo) respecto a un tiempo de recuento de 5–10 min.

IV.13. En un método de medición simple desarrollado más recientemente se emplea la espectroscopia alfa combinada con recuento beta total para el que se utiliza un sólo detector de “silicio planar pasivizado implantado ” (sigla en inglés PIPS) [22]. Este método se ha ampliado hasta convertirlo en un método semicontinuo en el que se toman muestras puntuales de 3 min a intervalos de 15 min. El método no requiere los molestos sistemas de vacío de la espectroscopia alfa y, por lo tanto, permite el uso de instrumentación portátil, ligera y adecuada a los entornos mineros.

### *Métodos de recuento doble*

IV.14. Es posible mejorar la precisión de los métodos de recuento simple y reducir el período de tiempo efectuando dos recuentos no correlacionados de la misma muestra. Se utilizan varios tipos de métodos de recuento doble, que conllevan recuento alfa o alfa más beta. Entre ellos figuran los siguientes:

- a) Método de Hill (alfa total);
- b) Método de James-Strong (alfa total);
- c) Método de Shreve (alfa y beta total);
- d) Método 3R/WL y otros métodos de espectroscopia alfa;
- e) Método de Markov (alfa total);

### *Métodos de recuento triple*

IV.15. Los métodos de recuento triple, con tres recuentos no correlacionados durante y/o después del muestreo, están, en principio, libres de la incertidumbre inherente a los métodos de recuento simple y de recuento doble, pero el error aleatorio, debido principalmente a la estadística del recuento puede ser considerable en alguno de ellos. También en este caso se pueden usar tanto métodos de recuento alfa total (el de Tsivoglou y el modificado de Tsivoglou o de Thomas) como de espectroscopia alfa.

### *Monitores integradores y continuos de los descendientes del radón*

IV.16. Con los avances en la instrumentación y en la tecnología de microprocesadores, las técnicas de muestreo y de análisis para la medición de los descendientes del radón se automatizan cada vez más. Esto ha permitido desarrollar varios instrumentos integradores (semicontinuos) y continuos que

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

se pueden utilizar para medir las variaciones en tiempo real de las concentraciones de dichos descendientes [23]. Existen varios instrumentos que llevan a cabo tanto tareas de recuento alfa y beta total como de espectroscopia alfa, y que están disponibles de forma comercial.

### **Monitorización radiológica individual del radón y sus descendientes**

IV.17. Los monitores personales pueden ser dispositivos pasivos o activos. Los dosímetros pasivos se basan en la difusión natural de los contaminantes radiactivos suspendidos en el aire hasta el área sensible del detector, mientras que los dosímetros activos recogen esos contaminantes tomándolos de un volumen conocido de aire que se hace pasar con una bomba a través de un filtro.

#### *Dosímetros individuales pasivos*

IV.18. Los dosímetros individuales pasivos generalmente utilizan detectores de trazas nucleares de estado sólido, que se exponen durante un período determinado y se analizan después mediante ataque químico o electroquímico. Para evaluar el nivel de exposición se puede contar el número de trazas que aparecen en la película. Existen dispositivos para la medición integrada de concentraciones aproximadas del radón o de sus descendientes.

#### *Dosímetros individuales activos*

IV.19. En estos dispositivos se hace pasar un volumen conocido de aire a través de un filtro, mediante una bomba alimentada con pilas. Las partículas alfa emitidas por los descendientes del radón que se depositan en el filtro se registran mediante un disco detector con dosímetro termoluminiscente, un detector de estado sólido de silicio con sus circuitos electrónicos asociados o una película para trazas nucleares. Los dispositivos que incorporan películas para trazas nucleares son capaces de medir los distintos descendientes del radón en lugar de sólo la actividad alfa total.

### **TORÓN ( $^{220}\text{Rn}$ ) Y SUS DESCENDIENTES**

IV.20. En el caso de la monitorización radiológica de los puestos de trabajo, los diversos métodos descritos para el radón y sus descendientes, se pueden adaptar en principio, con ciertas limitaciones, al torón y sus descendientes.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

Algunos instrumentos de monitorización radiológica continua también se pueden utilizar para el torón y sus descendientes.

IV.21. En el caso de la monitorización radiológica individual, un dispositivo integrador, basado en el principio de detección mediante película de trazas nucleares, puede medir los descendientes del torón y por lo tanto la exposición.

### ACTIVIDAD ALFA DEL POLVO

IV.22. La actividad alfa del polvo del aire, generado por las actividades de minería y tratamiento de las materias primas, generalmente se monitoriza utilizando técnicas de muestreo de aire, en las cuales las partículas de polvo se capturan haciendo pasar el aire a través de un filtro. La monitorización con fines de evaluación de dosis se puede llevar a cabo por medio de muestreadores de aire personales o muestreadores de aire de los puestos de trabajo — al elegir la técnica de muestreo se deberían tener en cuenta los requisitos de las NBS (véase el apéndice III, párr. III.17) y las circunstancias locales. Los muestreadores personales consisten en un pequeño portafiltro y una bomba compacta alimentada con pilas. Los caudales nominales se sitúan en el rango de 1 a 3 L/min.

IV.23. Las partículas de polvo captadas en un filtro de muestreo de aire se analizan midiendo las actividades de los radionucleidos emisores alfa de las series del  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  y  $^{232}\text{Th}$ . El recuento alfa total se utiliza ampliamente para los análisis corrientes en los que existe información directa o indirecta sobre la composición probable en radionucleidos:

- En el caso de polvo de mineral, a menos que existan razones para sospechar que el cuerpo mineralizado se encuentra en gran desequilibrio, se puede suponer por regla general que todos los radionucleidos de las series de desintegración que interesan están presentes en equilibrio radiactivo en el instante del muestreo;
- Las composiciones en radionucleidos de los concentrados de uranio y de torio se tratan en el apéndice II, párr. II.4.

IV.24. El análisis radiométrico de los distintos radionucleidos de muestras de polvo, para el que se emplean la separación radioquímica y técnicas de medición de alta sensibilidad, es más preciso que el recuento alfa total y evita tener que hacer conjeturas sobre la composición en radionucleidos del polvo. Debido a que requiere tiempo y es caro, es improbable que resulte rentable

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

para el análisis habitual de los filtros individuales pero, si se adoptan criterios no habituales, es posible guardar y acumular los filtros durante un período más largo y, aplicando esas técnicas analíticas más sensibles, determinar la actividad para obtener la incorporación integrada correspondiente a ese período más largo. Las mediciones de los distintos radionucleidos se pueden realizar también con poca frecuencia, para caracterizar la composición en radionucleidos del polvo de determinado origen cuando se sospeche una desviación del equilibrio radiactivo, permitiendo de esta forma el control habitual del polvo mediante el recuento alfa total.

IV.25. Durante el período que media entre el muestreo y la medición del polvo de mineral, algo de radón y torón escapará de las partículas de polvo recogidas en el filtro, con el resultado de un empobrecimiento del radón o del torón y sus descendientes de período corto presentes en el polvo en el instante de la medida. En una investigación [25] se ha hallado que alrededor del 25% del  $^{222}\text{Rn}$  y del  $^{220}\text{Rn}$  escapa de las partículas de polvo de mineral (es decir, la fracción de retención es de alrededor del 75%), y se han considerado fracciones de retención del 50% y el 100% como valores inferior y superior para el polvo de mineral de uranio y el polvo de mineral de uranio-torio [26]. Por lo tanto, para determinar la incorporación de actividad alfa total, se debería aplicar un factor de corrección apropiado a la actividad alfa total medida, a fin de tener en cuenta la pérdida de radón o de torón y de sus descendientes de período corto. Para una fracción de retención del radón o del torón del 75%, se necesitaría un factor de corrección de aproximadamente 1,1. En el anexo se presentan factores de corrección aplicables a otras fracciones de retención del radón o del torón, así como detalles de los cálculos.

## CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS

IV.26. En todos los métodos de medición, los instrumentos se deberían calibrar con regularidad y ser trazables a patrones nacionales reconocidos. Esto se puede efectuar bien utilizando fuentes de referencia que se hayan calibrado anteriormente con patrones primarios, o bien utilizando instrumentos de referencia previamente calibrados por un laboratorio nacional primario o un laboratorio de referencia reconocido que mantenga patrones adecuados. En la mayoría de las operaciones de minería y tratamiento de minerales, es probable que el primer método de calibración resulte el más factible.

## Apéndice V

### EQUIPO PROTECTOR RESPIRATORIO

V.1. Es necesario supervisar cuidadosamente el uso de las máscaras para asegurarse de que se proporciona la protección deseada (véase el párr. I.28 (apéndice I) de las NBS [2]).

V.2. La dirección ha de cuidar del buen ajuste de las máscaras y de que se usen correctamente (véase el párr. I.28 (apéndice I) de las NBS [2]).

V.3. Se deberían especificar los factores de protección que hayan de aplicarse para evaluar la incorporación real en el trabajador.

V.4. Los períodos de uso de las máscaras no deberían ser tan prolongados como para disuadir de su uso adecuado.

V.5. Los filtros de las máscaras deberían tener una resistencia baja a la respiración y ser eficaces para el tamaño del polvo de que se trate.

V.6. Cuando se utilice equipo de suministro de aire, el aire suministrado debería ser de calidad respirable y su cantidad suficiente para garantizar un funcionamiento libre de fugas en las condiciones de uso.

V.7. Las máscaras con alimentación de aire o los cascos con pantalla facial son preferibles a otros tipos de aparato por la comodidad de los trabajadores que los utilicen, siempre que aseguren una protección respiratoria efectiva.

V.8. Al elegir el equipo para una tarea en particular, se deberían considerar los factores que afectan a la comodidad de los trabajadores (por ejemplo, su peso, la restricción de la visión y los efectos en la temperatura y la movilidad) así como el factor de protección.

V.9. Los aparatos de respiración se deberían limpiar y mantener con regularidad, y ser inspeccionados a intervalos apropiados por personas adecuadamente capacitadas y en instalaciones dotadas del equipo conveniente.

V.10. El equipo de protección respiratoria se debería examinar, ajustar y probar, según corresponda, por una persona competente antes de distribuirlo para su uso, y al menos una vez cada tres meses cuando se esté utilizando. Los



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

resultados de estos exámenes y pruebas así como los detalles de cualquier reparación se deberían consignar en un registro permanente, que debería conservarse durante el período especificado por el órgano regulador.

V.11. La frecuencia de las pruebas de las máscaras de respiración se debería determinar basándose en el tipo de las mismas, el ambiente en el que se utilicen y la forma en que se manejen.

V.12. Las máscaras deberían ser verificadas por los usuarios antes de utilizarlas y también por el personal de mantenimiento de seguridad después de su limpieza; además se deberían probar bajo presión regularmente conforme a su uso.

V.13. El programa de protección respiratoria debería ser aceptable para el órgano regulador.

## Apéndice VI

### ORIENTACIÓN GENÉRICA SOBRE LA VIGILANCIA DE LA SALUD

#### RESPONSABILIDAD

VI.1. Generalmente, la vigilancia de la salud es responsabilidad de los servicios de salud ocupacional, cuyas funciones son:

- a) Evaluar la salud de los trabajadores.
- b) Contribuir a asegurar la compatibilidad inicial y continuada entre la salud de los trabajadores y sus condiciones de trabajo.
- c) Establecer un registro que proporcione la información que sería útil en caso de:
  - i) exposición accidental o enfermedad ocupacional,
  - ii) evaluación estadística de la incidencia de enfermedades que puedan estar relacionadas con las condiciones de trabajo,
  - iii) evaluación de la gestión de la protección radiológica, con fines de sanidad pública, en las instalaciones en las que pueda haber exposición ocupacional,
  - iv) investigaciones medicolegales.
- d) Prestar servicios de asesoramiento y tratamiento en caso de contaminación personal o de sobreexposición.

VI.2. El médico ocupacional debería:

- a) Llevar a cabo reconocimientos médicos de los trabajadores antes de su empleo, periódicamente cuando estén empleados y al terminar el empleo.
- b) Asesorar periódicamente a la dirección acerca de la aptitud de los trabajadores:
  - Si se comprueba que un trabajador no es apto para el trabajo concreto asignado, el médico ocupacional debería indicar si ese estado es temporal o permanente, y podrá recomendar su traslado a otro empleo.
  - Si alguna dolencia pudiera haber sido causada por las condiciones de trabajo existentes, el médico ocupacional debería aconsejar a la dirección la necesidad de tomar medidas correctoras.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- c) Dar el visto bueno para el regreso de los trabajadores que hayan sido trasladados de su entorno de trabajo normal por causas médicas.
- d) Mantenerse al corriente de las condiciones de trabajo y ambientales.
- e) Asesorar según proceda sobre las disposiciones para la higiene en el trabajo y la extracción de los radionucleidos de las heridas.

VI.3. El médico ocupacional debería ser el responsable de la gestión de los casos en que se sospeche que ha habido sobreexposición. Esto debería incluir la presentación de los detalles del caso a los expertos cualificados correspondientes, la orientación personal al trabajador y la información sobre el particular a los representantes de los trabajadores si fuera conveniente. En la Ref. [20] se proporciona orientación técnica adicional en este terreno.

### EXÁMENES MÉDICOS

VI.4. Uno de los fines principales de la vigilancia de la salud es asegurarse de que los trabajadores son aptos para desempeñar las tareas que se les encomienden de conformidad con la descripción de sus funciones especificada por el empleador. Las personas empleadas en zonas en las que puedan estar expuestas a la radiación se deberían someter a un examen médico que pruebe su aptitud antes de empezar tal empleo y a intervalos adecuados mientras permanezcan en él.

VI.5. La Guía de Seguridad sobre “Protección radiológica ocupacional” (Ref. [7], párrs. 7.5 y 7.6) establece que:

“Los exámenes médicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos deberían realizarse conforme a los principios generales de la medicina ocupacional.”

“Sin embargo, sería raro que el componente radiológico del ambiente de trabajo influyera significativamente en la decisión sobre la aptitud de un trabajador para desempeñar una tarea que implique exposición a la radiación...”

Entre las condiciones médicas que se deberían investigar en el examen figuran las que afectarían a la capacidad para usar y llevar ropa y equipo protectores, de oír las alarmas y responder a los peligros de radiación, así como a la capacidad para utilizar herramientas y equipo especiales.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

VI.6. Se debería llevar a cabo un examen médico previo al empleo en el caso de todos los trabajadores que puedan estar expuestos ocupacionalmente a la radiación. Se debería realizar una historia clínica y una evaluación específicas con los siguientes fines:

- a) Determinar la aptitud para la labor concreta a la que se destine al trabajador,
- b) Disponer de una base de referencia para su uso al examinar modificaciones de determinadas prácticas de trabajo,
- c) Disponer de una base de referencia para su uso al evaluar una enfermedad o una sobreexposición ocupacionales.

VI.7. Los datos recopilados a partir de las evaluaciones médicas pueden ser útiles para estudios epidemiológicos.

VI.8. Al terminar un examen, el médico debería comunicar sus conclusiones por escrito tanto al trabajador como al empleador. Estas conclusiones no deberían contener información de naturaleza médica, pero al menos sí clasificar al trabajador en una de las categorías siguientes:

- a) Apto para el trabajo en un empleo u oficio determinado, o
- b) Apto para ese trabajo con ciertas restricciones (por ejemplo, no realizar tareas que precisen protección respiratoria), o
- c) No apto para el trabajo en cuestión.

VI.9. La exposición ocupacional a la radiación puede no ser la única razón para realizar exámenes médicos periódicos de los trabajadores y al finalizar su empleo. Muchos trabajadores expuestos a la radiación también estarán expuestos a otros factores de riesgo, como el ruido, el polvo o los agentes químicos que podrían requerir exámenes médicos a intervalos periódicos y al finalizar su empleo. Por ejemplo, puede ser muy deseable un examen periódico de la función pulmonar de los trabajadores en un ambiente polvoriento, y el médico ocupacional debería considerar la conveniencia de realizar investigaciones especiales, como pruebas de la función pulmonar y reconocimientos torácicos con rayos X. Pueden estar justificadas evaluaciones y pruebas especiales si las exposiciones, ya sea a la radiación o a otros peligros, exceden los límites correspondientes.

VI.10. En un examen médico al finalizar el empleo, se debería hacer constar todo menoscabo relacionado con el trabajo y, de ser necesario, tomar

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

disposiciones para que el médico del trabajador realice exámenes periódicos posteriores y de seguimiento después del cese en el empleo<sup>8</sup>.

VI.11. Conforme a la buena práctica de sanidad laboral, el médico ocupacional debería asegurarse de que el trabajador, al reincorporarse tras una ausencia por lesión o enfermedad, esté en condiciones de reanudar el trabajo.

VI.12. En circunstancias especiales, en las que los trabajadores que fuman hayan experimentado una exposición prolongada a polvo y/o gases y partículas radiactivos, es posible que el médico ocupacional tenga que considerar si procede establecer un programa de citología de esputos.

VI.13. El médico ocupacional debería tener autoridad, basada en fundamentos médicos para:

- a) Declarar a un trabajador temporalmente no apto para su trabajo habitual,
- b) Asesorar al empleador acerca de la reincorporación de ese trabajador a sus funciones normales,
- c) Recomendar el traslado de un trabajador a otro trabajo.

### NOTIFICACIÓN DE DOLENCIAS, EMBARAZO Y SOBREEXPOSICIÓN

VI.14. Se debería animar a los trabajadores a que informen con prontitud de cualquier dolencia significativa al médico ocupacional.

VI.15. El empleador debería cuidar de que toda trabajadora en edad de procrear esté completamente informada sobre los riesgos potenciales para el feto inherentes a la exposición a la radiación durante el embarazo, y de que se cumpla con los límites de dosis al feto prescritos por el órgano regulador (Ref. [7], párr. 2.39). El empleador debería advertir a las trabajadoras en edad de procrear de que informen a la dirección, tan pronto como sea posible, de un

---

<sup>8</sup> El Convenio y Recomendación de la OIT sobre el cáncer profesional, 1974 (Recomendación 147, párr. 12) establece que “la autoridad competente debería velar por que se tomen disposiciones para que los trabajadores continúen siendo objeto de exámenes médicos, de exámenes biológicos y de otros exámenes o investigaciones apropiados después de que hayan cesado en los empleos...”

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

embarazo. También se debería prestar atención al riesgo de exposición de un bebé durante el período de lactancia, y en particular al potencial de contaminación corporal (por contacto superficial o por transferencia a la leche).

VI.16. Todo trabajador o trabajadora debería informar a su supervisor y al oficial de protección radiológica, sobre cualquier sospecha de incorporación accidental de sustancias radiactivas. Se debería informar al médico ocupacional, cuando se sospeche que una incorporación accidental sobrepasa un límite especificado por el órgano regulador, y se le debería notificar el resultado de cualquier investigación para determinar si tal incorporación ha ocurrido realmente.

VI.17. Cuando un trabajador haya recibido una dosis que supere un nivel de referencia (véanse los párrs. III.11(b) y III.14 del apéndice III), el órgano regulador puede exigir una notificación y una investigación sobre las circunstancias de dicha exposición.

### REGISTROS MÉDICOS

VI.18. Los registros médicos deberían incluir registros de todas las evaluaciones médicas — previas al empleo, periódicas, especiales, posteriores a una enfermedad y de cese en el empleo — informes de laboratorio, informes de enfermedades e informes de la historia clínica, pero deberían excluir la información referente a las exposiciones a la radiación. Los registros médicos deberían ser confidenciales y preservarse de forma aprobada por el órgano regulador. Se deberían guardar al menos durante la vida de los trabajadores interesados. Sin embargo, dada la posibilidad de un litigio, puede ser recomendable un período de conservación más prolongado.

### ASESORAMIENTO MÉDICO A LA DIRECCIÓN

VI.19. El asesoramiento médico a la dirección sobre la idoneidad y aptitud de un trabajador determinado, para un trabajo concreto y tareas específicas se debería prestar en base a un conocimiento pleno del estado de salud del trabajador y de los requisitos especificados por el empleador para el trabajo. Si se emplea a médicos ocupacionales privados a tiempo parcial, éstos deberían estar totalmente informados de los efectos biológicos de la radiación. El empleador debería tener disponibles instalaciones adecuadas para los

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

exámenes médicos, próximas al puesto de trabajo, y también debería proporcionar las oportunidades adecuadas para que los médicos ocupacionales examinadores se familiaricen con las actividades de trabajo previstas y con los ambientes de trabajo de las personas objeto de examen.

### ASESORAMIENTO MÉDICO A LOS TRABAJADORES

VI.20. Como en cualquier relación doctor-paciente, el médico ocupacional debería mantener al trabajador totalmente informado de los motivos de los distintos exámenes, así como de cualquier resultado significativo que tenga relación con la salud del trabajador o el ambiente de trabajo específico.

VI.21. Otro objetivo del servicio de salud ocupacional puede ser dar orientación específica a los trabajadores acerca de cualesquiera riesgos radiológicos a los que estén o pudieran estar sometidos.

## REFERENCIAS

- [1] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD y ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Colección Seguridad N<sup>o</sup> 120, 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<sup>o</sup> 115, OIEA, Viena (1997).
- [3] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Recomendaciones de 1990 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, Publicación N<sup>o</sup> 60 de la CIPR, Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) – (EDICOMPLET, S.A. – Madrid (1995).
- [4] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers (Reemplaza a la Publicación N<sup>o</sup> 61 de la CIPR), Publicación N<sup>o</sup> 68, Ann. ICRP 24 1–4, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1994).
- [5] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation, Publicación N<sup>o</sup> 74 de la CIPR, Ann. ICRP 26 3–4, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1995).
- [6] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, General Principles for Radiation Protection of Workers, Publicación N<sup>o</sup> 75 de la CIPR, Ann. ICRP 27 1, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1997).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Protección radiológica ocupacional, Colección de Normas de Seguridad N<sup>o</sup> RS-G-1.1, OIEA, Viena (2004).
- [8] 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 N<sup>o</sup> RS-G-1.3, OIEA, Viena (2004).



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos, Colección de Normas de Seguridad N<sup>o</sup> RS-G-1.2, OIEA, Viena (2004).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Management of Radioactive Waste from the Mining and Milling of Ores, Colección de Normas de Seguridad, N<sup>o</sup> WS-G-1.2, OIEA, Viena (2002).
- [11] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, Publicación N<sup>o</sup> 65 de la CIPR, Ann. ICRP 23 2, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1994).
- [12] OFICINA INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Protección de los trabajadores contra las radiaciones (radiaciones ionizantes), OIT, Ginebra (1987)
- [13] 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 N<sup>o</sup> GS-R-1, OIEA, Viena (2004).
- [14] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Radiation Protection of Workers in Mines, Publicación N<sup>o</sup> 47 de la CIPR, Ann. ICRP 16 1, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1986).
- [15] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Publicación N<sup>o</sup> 78 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1998).
- [16] COMISIÓN INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, Publication N<sup>o</sup> 66 de la CIPR, Ann. ICRP 24 1–3, Pergamon Press, Oxford y Nueva York (1994).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Indirect Methods for Assessing Intakes of Radionuclides Causing Occupational Exposure, Colección Informes de Seguridad N<sup>o</sup> 18, OIEA, Viena (2000).
- [18] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Direct Methods for Measuring Radionuclides in the Human Body, Colección Seguridad N<sup>o</sup> 114, OIEA, Viena (1996).
- [19] ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, Principios directivos técnicos y éticos relativos a la vigilancia de la salud de los trabajadores, Serie seguridad y salud en el trabajo N<sup>o</sup> 72, OIT, Ginebra (1999)
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Health Surveillance of Persons Occupationally Exposed to Ionizing Radiation: Guidance for Occupational Physicians, Colección de Informes de Seguridad N<sup>o</sup> 5, OIEA, Viena (1998).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores, Colección Seguridad N<sup>o</sup> 95, OIEA, Viena (1989).

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

- [22] ROBERTS, D.A., “An alpha–beta spectrometer for estimation of individual radon daughters”, J. Mine Ventilation Soc. Sudáfrica, **48** 11 (1995) 272.
- [23] GEORGE, A.C., “State of the art instruments for measuring radon/thoron and their progeny in dwellings: a review”, Health Phys. **70** 4 (1996).
- [24] NAZAROFF, W.W., NERO, A.V. (Eds), Radon and its Decay Products in Indoor Air, Wiley, Nueva York (1988).
- [25] DUPORT, P., EDWARDSON, E., “Characterization of radioactive long lived dust present in uranium mines and mills atmospheres”, Occupational Radiation Safety in Mining (Proc. Conf. Toronto, 1984) (STOCKER, H., Ed.), Asociación Nuclear Canadiense, Ottawa (1984).
- [26] DUPORT, P., HORVATH, F., Practical aspects of monitoring and dosimetry of long-lived dust in uranium mines and mills — determination of the annual limit on intake for uranium and uranium/thorium ore dust, Radiat. Prot. Dosim. **26** 1/4 (1989) 43–48.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## Anexo

### RELACIONES ENTRE LA ACTIVIDAD ALFA TOTAL Y LA DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA EN CASO DE INHALACIÓN DE POLVO DE MINERAL QUE CONTENGA URANIO O TORIO

#### PREMISAS GENERALES

A-1. Se supone que:

- el polvo de mineral que el trabajador inhala se encuentra en equilibrio radiactivo completo;
- la proporción entre la actividad del  $^{235}\text{U}$  y del  $^{238}\text{U}$  presentes en el polvo de mineral de uranio es la misma que de la abundancia natural (0,046 a 1);
- el DAMA por defecto, que es de 5  $\mu\text{ms}$  representa la distribución del tamaño de partículas del polvo inhalado;
- la forma química de cada radionucleido presente en el polvo inhalado es la que corresponde a la clase de absorción pulmonar más lenta de las especificadas en el cuadro II-V (Adenda II) de las NBS<sup>1</sup>;
- se recoge en un filtro una muestra de polvo del aire, representativa del inhalado por el trabajador, y después de esperar algunos días (durante los cuales escapará algo de radón y de torón), se analiza en un laboratorio por recuento alfa total; la pérdida de radón o de torón de las partículas de polvo contenidas en el filtro lleva aparejada la correspondiente pérdida de descendientes de período corto, debida a la rápida desintegración de los mismos.

#### POLVO DE MINERAL DE URANIO

A-2. El cuadro A-I muestra, para la inhalación de polvo de mineral con un contenido de 1 Bq de  $^{238}\text{U}$ , las cantidades (actividades) de radionucleidos inhaladas y sus correspondientes dosis efectivas comprometidas. Las dosis se calculan utilizando los coeficientes de dosis que se enumeran en el cuadro II-III

---

<sup>1</sup> Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección de Seguridad N° 115, OIEA, Viena (1997).

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

(Adenda II) de las NBS. Aplicando los valores de la actividad alfa total y la dosis efectiva comprometida total calculados en el cuadro A-I, la dosis efectiva comprometida por unidad de actividad alfa incorporada viene dada por:

$$\frac{2,9 \times 10^{-5} \text{ Sv}}{8,322 \text{ Bq}_\alpha} = 3,5 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}_\alpha = 0,0035 \text{ mSv/Bq}_\alpha$$

El LAI que corresponde a un límite de dosis de 20 mSv es:

$$\frac{20 \text{ mSv}}{0,0035 \text{ mSv/Bq}_\alpha} = 5\,700 \text{ Bq}_\alpha$$

y el LAI que corresponde a un límite de dosis de 50 mSv es:

$$\frac{50 \text{ mSv}}{0,0035 \text{ mSv/Bq}_\alpha} = 14\,000 \text{ Bq}_\alpha$$

A-3. Con referencia a la muestra de polvo descrita en el párr. A-1, el cuadro A-II indica las actividades alfa existentes en el filtro de muestreo, correspondientes a las distintas fracciones de radón retenidas en el polvo en el momento de la medición. Este cuadro también ejemplifica cómo, para cualquier fracción de retención de radón dada, comparando la actividad alfa total existente en el filtro con la correspondiente a una retención del radón del 100%, se obtiene el factor de corrección que conviene aplicar a la medición de alfa total para determinar la incorporación de actividad alfa.

### POLVO DE MINERAL DE TORIO

A-4. El cuadro A-III muestra asimismo la situación indicada en el párr. A-2, pero en esta ocasión para polvo de mineral que contiene 1 Bq de  $^{232}\text{Th}$ . Aplicando los valores de la actividad alfa total y la dosis efectiva comprometida total calculados en el cuadro A-III, la dosis efectiva comprometida por unidad de actividad alfa incorporada viene dada por:

CUADRO A-I. ACTIVIDADES DE LOS RADIONUCLEIDOS Y DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA PARA LA INHALACIÓN DE POLVO DE MINERAL DE URANIO

Radionucleido	Desintegración	Clase de absorción pulmonar más lenta	Coeficiente de dosis (Sv/Bq)	Cantidad inhalada (Bq)		Dosis (Sv)
				Alfa	Beta	
<sup>238</sup> U	Alfa	S	$5,7 \times 10^{-6}$	1		$5,7 \times 10^{-6}$
<sup>234</sup> Th	Beta	S	$5,8 \times 10^{-9}$		1	$5,8 \times 10^{-9}$
<sup>234</sup> Pa <sup>m</sup>	Beta	—	—		1	—
<sup>234</sup> U	Alfa	S	$6,8 \times 10^{-6}$	1		$6,8 \times 10^{-6}$
<sup>230</sup> Th	Alfa	S	$7,2 \times 10^{-6}$	1		$7,2 \times 10^{-6}$
<sup>226</sup> Ra	Alfa	M	$2,2 \times 10^{-6}$	1		$2,2 \times 10^{-6}$
<sup>222</sup> Rn <sup>a</sup>	Alfa	—	—	1		—
<sup>218</sup> Po <sup>a</sup>	Alfa	—	—	1		—
<sup>214</sup> Pb <sup>a</sup>	Beta	F	$4,8 \times 10^{-9}$		1	$4,8 \times 10^{-9}$
<sup>214</sup> Bi <sup>a</sup>	Beta	M	$2,1 \times 10^{-8}$		1	$2,1 \times 10^{-8}$
<sup>214</sup> Po <sup>a</sup>	Alfa	—	—	1		—
<sup>210</sup> Pb	Beta	F	$1,1 \times 10^{-6}$		1	$1,1 \times 10^{-6}$
<sup>210</sup> Bi	Beta	M	$6,0 \times 10^{-8}$		1	$6,0 \times 10^{-8}$
<sup>210</sup> Po	Alfa	M	$2,2 \times 10^{-6}$	1		$2,2 \times 10^{-6}$
<sup>235</sup> U	Alfa	S	$6,1 \times 10^{-6}$	0,046		$2,8 \times 10^{-7}$
<sup>231</sup> Th	Beta	S	$4,0 \times 10^{-10}$		0,046	$1,8 \times 10^{-11}$
<sup>231</sup> Pa	Alfa	S	$1,7 \times 10^{-5}$	0,046		$7,8 \times 10^{-7}$
<sup>227</sup> Ac	Beta	S	$4,7 \times 10^{-5}$		0,046	$2,2 \times 10^{-6}$
<sup>227</sup> Th	Alfa	S	$7,6 \times 10^{-6}$	0,046		$3,5 \times 10^{-7}$
<sup>223</sup> Ra	Alfa	M	$5,7 \times 10^{-6}$	0,046		$2,6 \times 10^{-7}$
<sup>219</sup> Rn <sup>a</sup>	Alfa	—	—	0,046		—
<sup>215</sup> Po <sup>a</sup>	Alfa	—	—	0,046		—
<sup>211</sup> Pb <sup>a</sup>	Beta	F	$5,6 \times 10^{-9}$		0,046	$2,6 \times 10^{-10}$
<sup>211</sup> Bi <sup>a</sup>	Alfa	—	—	0,046		—
<sup>207</sup> Tl <sup>a</sup>	Beta	—	—		0,046	—
Total				8,322	6,184	$2,9 \times 10^{-5}$

a <sup>222</sup>Rn, <sup>219</sup>Rn y descendientes de período corto.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

$$\frac{4,8 \times 10^{-5} \text{ sV}}{6 \text{ Bq}_\alpha} = 8,0 \times 10^{-6} \text{ Sv/Bq}_\alpha = 0,0080 \text{ mSv/Bq}_\alpha$$

El LAI que corresponde a un límite de dosis de 20 mSv es:

$$\frac{20 \text{ mSv}}{0,0080 \text{ mSv/Bq}_\alpha} = 2\,500 \text{ Bq}_\alpha$$

y el LAI que corresponde a un límite de dosis de 50 mSv es:

$$\frac{50 \text{ mSv}}{0,0080 \text{ mSv/Bq}_\alpha} = 6\,300 \text{ Bq}_\alpha$$

A-5. Con referencia a la muestra de polvo descrita en el párr. A-1, el cuadro A-IV indica las actividades alfa existentes en el filtro de muestreo, correspondientes a las distintas fracciones de torón retenidas en el polvo en el momento de la medición, así como los factores de corrección aplicables para determinar la incorporación de actividad alfa como se explica en el párr. A-3.

CUADRO A-II. ACTIVIDADES ALFA Y FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL POLVO DE MINERAL DE URANIO EXISTENTE EN UN FILTRO DE MUESTREO DE AIRE

Radionucleido emisor alfa	Actividad alfa existente en el filtro para distintas fracciones de retención del $^{222}\text{Rn}$ y del $^{219}\text{Rn}$ (Bq)			
	Rango realista			Caso extremo hipotético
	100%	75%	50%	0%
$^{238}\text{U}$	1	1	1	1
$^{234}\text{U}$	1	1	1	1
$^{230}\text{Th}$	1	1	1	1
$^{226}\text{Ra}$	1	1	1	1
$^{222}\text{Rn}^a$	1	0,75	0,5	—
$^{218}\text{Po}^a$	1	0,75	0,5	—
$^{214}\text{Po}^a$	1	0,75	0,5	—
$^{210}\text{Po}$	1	1	1	1
$^{235}\text{U}$	0,046	0,046	0,046	0,046
$^{231}\text{Pa}$	0,046	0,046	0,046	0,046
$^{227}\text{Th}$	0,046	0,046	0,046	0,046
$^{223}\text{Ra}$	0,046	0,046	0,046	0,046
$^{219}\text{Rn}^a$	0,046	0,0345	0,023	—
$^{215}\text{Po}^a$	0,046	0,0345	0,023	—
$^{211}\text{Bi}^a$	0,046	0,0345	0,023	—
Actividad alfa (total) existente en el filtro	8,322	7,5375	6,753	5,184
Factor de corrección para determinar la incorporación de actividad alfa	1	1,10	1,23	1,61

a  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{219}\text{Rn}$  y descendientes de período corto.



CUADRO A-III. ACTIVIDADES DE LOS RADIONUCLEIDOS Y DOSIS EFECTIVA COMPROMETIDA PARA LA INHALACIÓN DE POLVO DE MINERAL DE TORIO

Radionucleido	Desintegración	Clase de absorción pulmonar más lenta	Coeficiente de dosis (Sv/Bq)	Cantidad inhalada (Bq)		Dosis (Sv)
				Alfa	Beta	
<sup>232</sup> Th	Alfa	S	$1,2 \times 10^{-5}$	1		$1,2 \times 10^{-5}$
<sup>228</sup> Ra	Beta	M	$1,7 \times 10^{-6}$		1	$1,7 \times 10^{-6}$
<sup>228</sup> Ac	Beta	S	$1,2 \times 10^{-8}$		1	$1,2 \times 10^{-8}$
<sup>228</sup> Th	Alfa	S	$3,2 \times 10^{-5}$	1		$3,2 \times 10^{-5}$
<sup>224</sup> Ra	Alfa	M	$2,4 \times 10^{-6}$	1		$2,4 \times 10^{-6}$
<sup>220</sup> Rn <sup>b</sup>	Alfa	—	—	1		—
<sup>216</sup> Po <sup>b</sup>	Alfa	—	—	1		—
<sup>212</sup> Pb <sup>b</sup>	Beta	F	$3,3 \times 10^{-8}$		1	$3,3 \times 10^{-8}$
<sup>212</sup> Bi <sup>b</sup>	64,1% beta, 35,9% alfa	M	$3,9 \times 10^{-8}$	0,359	0,641	$3,9 \times 10^{-8}$
<sup>212</sup> Po <sup>b</sup>	Alfa	—	—	0,641		—
<sup>208</sup> Tl <sup>b</sup>	Beta	—	—		0,349	—
Total				6	4	$4,8 \times 10^{-5}$

b <sup>220</sup>Rn y descendientes de período corto.

CUADRO A-IV. ACTIVIDADES ALFA Y FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL POLVO DE MINERAL DE TORIO EXISTENTE EN UN FILTRO DE MUESTREO DE AIRE

Radionucleido emisor alfa	Actividad alfa existente en el filtro para distintas fracciones de retención del $^{220}\text{Rn}$ (Bq)			
	Rango realista			Caso extremo hipotético
	100%	75%	50%	0%
$^{232}\text{Th}$	1	1	1	1
$^{228}\text{Th}$	1	1	1	1
$^{224}\text{Ra}$	1	1	1	1
$^{220}\text{Rn}^b$	1	0,75	0,5	—
$^{216}\text{Po}^b$	1	0,75	0,5	—
$^{212}\text{Bi}^b$	0,359	0,269	0,1795	—
$^{212}\text{Po}^b$	0,641	0,481	0,3205	—
Actividad alfa (total) existente en el filtro	6	5,25	4,5	3
Factor de corrección para determinar la incorporación de actividad alfa	1	1,14	1,33	2

b  $^{220}\text{Rn}$  y descendientes de período corto.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## GLOSARIO

**autorización.** Concesión por parte de un órgano regulador o de otro organismo gubernamental de un permiso escrito para que un explotador realice las actividades especificadas.

**Becquerel (Bq).** Nombre que recibe la unidad de actividad del SI, que es igual a una transformación por segundo.

**bioensayo.** Cualquier procedimiento utilizado para determinar la naturaleza, actividad, localización o retención de los radionucleidos en el organismo mediante mediciones directas (in vivo) o mediante el análisis in vitro de materias excretadas o extraídas del organismo de otro modo.

**concentración equivalente en equilibrio.** Concentración de la actividad del radón en equilibrio radiactivo con sus descendientes que tendría la misma concentración de energía alfa potencial que la mezcla real (en desequilibrio).

**DAMA (diámetro aerodinámico de la mediana de actividad).** Valor del diámetro aerodinámico<sup>1</sup> para el cual el 50% de la actividad suspendida en el aire en un aerosol determinado está vinculada a partículas menores que el DAMA, y el 50% de la actividad a partículas mayores que el DAMA.

**dispensa.** Liberación de materias u objetos radiactivos, adscritos a prácticas autorizadas, de la aplicación de todo control reglamentario por parte del organismo regulador.

**Dosis absorbida.** Magnitud dosimétrica fundamental D, definida por la expresión:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

---

<sup>1</sup> El diámetro aerodinámico de una partícula suspendida en el aire es el diámetro que tendría que tener una esfera de densidad unitaria para que su velocidad final al asentarse en el aire fuera la misma que la de la partícula de interés.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

donde  $d\bar{\epsilon}$  es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen y  $dm$  es la masa de la materia existente en ese elemento de volumen.

**dosis efectiva.** Magnitud  $E$  definida por la sumatoria de las dosis equivalentes en tejidos, multiplicada cada una por el factor de ponderación para tejido correspondiente:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

donde  $H_T$  es la dosis equivalente en el tejido T y  $w_T$  es el factor de ponderación para el tejido correspondiente al tejido T. De la definición de dosis equivalente se desprende que:

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

donde  $w_R$  es el factor de ponderación de la radiación correspondiente a la radiación R y  $D_{T,R}$  es la dosis absorbida promedio en el órgano o tejido T.

**dosis efectiva comprometida.** Magnitud  $E(\tau)$  definida por:

$$E(\tau) = \sum_T w_T \cdot H_T(\tau)$$

donde  $H_T(\tau)$  es la dosis equivalente comprometida al tejido T a lo largo del período de integración  $\tau$  y  $w_T$  es el factor de ponderación correspondiente al tejido T. Cuando no se especifique  $\tau$  se considerará que su valor es de 50 años para los adultos y hasta la edad de 70 años para las incorporaciones en niños.

**dosis equivalente.** Magnitud  $H_{T,R}$ , definida por la expresión:

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R}$$

donde  $D_{T,R}$  es la dosis absorbida debida a la radiación tipo R promediada sobre un tejido u órgano T y  $w_R$  es el factor de ponderación de la

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

radiación correspondiente a la radiación tipo R. Cuando el campo de radiación está compuesto por diferentes tipos de radiación con diferentes valores de  $w_R$  la dosis equivalente es:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

**dosis equivalente comprometida.** Magnitud  $H_T(t)$ , definida por:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} \dot{H}_T(t) dt$$

donde  $t_0$  es el tiempo de la incorporación,  $\dot{H}_T(t)$  es la tasa de dosis equivalente en el tiempo  $t$  en el órgano o tejido T y  $\tau$  es el tiempo transcurrido desde la incorporación de las sustancias radiactivas. Cuando no se especifica  $\tau$  se considera que su valor es de 50 años para los adultos y hasta la edad de 70 años para las incorporaciones en niños.

**dosis equivalente personal.** Dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad adecuada  $d$ , a partir de un punto especificado sobre el cuerpo humano. Se utiliza en las NBS (con  $d = 10$  mm) como valor representativo directamente mensurable de la dosis efectiva en la monitorización radiológica individual de la exposición externa.

**empleador.** Persona jurídica que tiene responsabilidades, compromisos y deberes reconocidos con respecto a un trabajador que es empleado suyo en virtud de una relación aceptada de mutuo acuerdo. (Se considera que una persona empleada por cuenta propia es a la vez un empleador y un trabajador).

**equilibrio radiactivo.** Estado de una cadena de desintegración radiactiva (o parte de la misma) en que la actividad de cada radionucleido de la cadena (o parte de ella) es la misma.

**exclusión.** Exclusión deliberada de una categoría concreta de exposición del ámbito de un instrumento de control reglamentario, basada en la razón de que no se considera susceptible de control mediante el instrumento reglamentario en cuestión. Dicha exposición se denomina exposición excluida.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

**exención.** Decisión por parte de un órgano regulador en el sentido de que no es necesario someter una fuente o práctica a alguno o a todos los aspectos del control reglamentario, basada en que la exposición (incluida la exposición potencial) debida a dicha fuente o práctica es demasiado pequeña como para justificar la aplicación de esos aspectos.

**exposición del público.** Exposición sufrida por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluidas cualquier exposición ocupacional o médica y la radiación natural local de fondo normal, pero incluida la exposición causada por las fuentes y prácticas autorizadas y las situaciones de intervención.

**exposición normal.** Exposición que se prevé tendrá lugar en las condiciones normales de trabajo en una instalación o una actividad, incluso en el caso de los posibles percances menores que se puedan mantener bajo control, es decir, durante el funcionamiento normal y durante los incidentes operacionales previstos.

**exposición ocupacional.** Toda exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas y de las exposiciones causadas por las prácticas o las fuentes exentas.

**exposición potencial.** Exposición que no se prevé se produzca con certeza, pero que puede ser resultado de un accidente ocurrido en una fuente o deberse a un suceso o a una serie de sucesos de carácter probabilista, por ejemplo a fallos de equipo y errores de operación.

**factor de equilibrio.** Relación entre la concentración de radón equivalente en equilibrio y la concentración real del radón.

**factor de ponderación del tejido.** Factor utilizado con fines de protección radiológica, por el que se multiplica la dosis equivalente recibida por un órgano o un tejido, para tener en cuenta la diferente sensibilidad de los distintos órganos y tejidos en cuanto a la inducción de efectos estocásticos de la radiación.

**fuentes.** Cualquier cosa que pueda causar exposición a la radiación, bien emitiendo radiación ionizante o bien liberando sustancias o materiales radiactivos, y que pueda ser tratada como objeto unitario con fines de protección y seguridad.

## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

**fuerza natural:** fuente de radiación existente en la naturaleza, por ejemplo el sol y las estrellas (fuentes de radiación cósmica) y las rocas y el suelo (fuentes de radiación terrestre).

**fuerza natural:** Véase fuerza.

**incorporación.** 1. Acto o proceso de entrada de radionucleidos en el organismo humano por inhalación, por ingestión o a través de la piel.  
2. Actividad de un radionucleido incorporado al organismo humano en un período de tiempo dado, o como resultado de un determinado suceso.

**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 de las instalaciones y el equipo y la ha presentado al órgano regulador. La práctica o uso se autoriza con las condiciones o limitaciones aplicables. Los requisitos de evaluación de la seguridad y las condiciones o limitaciones que se apliquen a la práctica deberían ser menos rigurosos que para la concesión de una licencia.

**intervención.** Toda acción que tenga como fin reducir o evitar la exposición, o la probabilidad de exposición, a fuentes que no formen parte de una práctica controlada o que se encuentren sin control como consecuencia de un accidente.

**licencia.** Documento legal emitido por el órgano regulador que otorga la autorización para realizar las actividades especificadas en relación con una instalación o actividad.

**límite.** Valor de una magnitud, aplicado en ciertas actividades o circunstancias especificadas, que no ha de ser rebasado.

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

**monitorización radiológica.** 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.



## La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

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

**nivel de investigación.** Valor de una magnitud como la dosis efectiva, la incorporación o la contaminación por unidad de área o de volumen, al alcanzarse o rebasarse el cual debería llevarse a cabo una investigación.

**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 las personas, o el número de las personas expuestas.

**radón.** Radón-222.

**restricción de dosis.** Restricción prospectiva, relativa a la fuente, aplicada a la dosis individual causada por una fuente, que sirve como confín para optimizar la protección y la seguridad de la fuente. En el caso de las exposiciones ocupacionales, la restricción de dosis es un valor de la dosis individual, relacionado con la fuente, que sirve para limitar la gama de opciones consideradas en el proceso de optimación.

**torón.** Radón-220.

**trabajador.** Toda persona que trabaja, ya sea en jornada completa, jornada parcial o temporalmente, por cuenta de un empleador y que tiene derechos y deberes reconocidos en lo que atañe a la protección radiológica ocupacional. (Se considera que una persona empleada por cuenta propia tiene a la vez los deberes de un empleador y un trabajador.)

**zona controlada.** Zona definida en la que son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposiciones de seguridad específicas para controlar las exposiciones normales o prevenir la dispersión de contaminación en las condiciones normales de trabajo, así como para prevenir las exposiciones potenciales, o limitar su magnitud.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

**zona supervisada.** Zona definida no señalada como zona controlada pero en la que se mantienen bajo examen las condiciones de exposición ocupacional aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas.

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

## COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

*(Los nombres de las instituciones son aquéllos al momento de la reunión)*

Ahmed, J.U.	Consultor, Bangladesh
Akhmetov, M.	Centro Nuclear Nacional, Kazajstán
Brummett, E.	Comisión Reguladora Nuclear, Estados Unidos de América
Burrows, S.A.	Comisión Reguladora Nuclear, Estados Unidos de América
de Beer, G.P.	Comisión de Energía Atómica, Sudáfrica
Diamantstein, T.	Comisión de Control de la Energía Atómica, Canadá
Elo, S.	Autoridad de Energía Atómica de Hungría, Hungría
Foster, P.	Institución de Profesionales, Directivos y Especialistas, Reino Unido
Kendall, G.M.	Junta Nacional de Protección Radiológica, Reino Unido
Khan, A.H.	Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas, India
Lokan, K.	Laboratorio Australiano de Radiaciones, Australia
Markkanen, M.	Organismo de Seguridad Radiológica y Nuclear, Finlandia
Mason, G.C.	Agencia Australiana de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, Australia
McLaughlin, J.P.	Colegio Universitario de Dublín, Irlanda
Na, S.H.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Niu, S.	Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra

La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

Owen, D.	British Nuclear Fuels Limited, Reino Unido
Poppitz, R.	Comité sobre el uso de la energía atómica con fines pacíficos, Bulgaria
Sgrilli, E.	Agencia Nacional de Protección del Medio Ambiente, Italia
Thomas, J.	Centro Nacional de Salud Pública, República Checa
Viljoen, J.	Comisión de Control de la Energía Atómica, Canadá
Wymer, D.G.	Cámara de Minas, Sudáfrica
Zettwoog, P.	Certac SA, Francia

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

*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:* Renneberg, W.; *Argentina:* Oliveira, A.; *Brasil:* Caubit da Silva, A.; *Canadá:* Pereira, J.K.; *Corea, República de:* Eun, S.; *España:* Azuara, J.A.; *Santoma, L.;* *Estados Unidos de América:* Travers, W.D.; *Federación de Rusia:* Malyshev, A.B.; Vishnevskiy, Y.G.; *Francia:* Gauvain, J.; Lacoste, A.-C.; *India:* Sukhatme, S.P.; *Japón:* Tobioka, T.; Suda, N.; *Reino Unido:* Hall, A.; Williams, L.G. (Presidente); *Suecia:* Holm, L.-E.; *Suiza:* Schmocker, U.; *Ucrania:* Gryschenko, V.; *Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE:* Shimomura, K.; *Comisión Internacional de Protección Radiológica:* Clarke, R.H.; *OIEA:* Karbassioun, A. (Coordinador).

### 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.; *Finlandia:* Reiman, L. (Presidente); *Francia:* Saint Raymond, P.; *Hungría:* Vöröss, L.; *India:* Kushwaha, H.S.; *Irlanda:* Hone, C.; *Israel:* Hirshfeld, H.; *Japón:* Yamamoto, T.; *Corea, República de:* Lee, J.-I.; *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.; *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. (Coordinador); *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.; *Corea, República de:* Kim, C.W.; *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. (Presidente); *República Checa:* Drabova, D.; *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. (Coordinador); *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.; *Corea, República de:* Kwon, S.-G.; *\*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. (Presidente); *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 para Europa de las Naciones Unidas:* Kervella, O.; *Comisión Europea:* Rossi, L.; *Federación Internacional de Asociaciones de Pilotos de Líneas Aéreas:* Tisdall, A.; *Instituto*

*Mundial de Transporte Nuclear*: Lesage, M.; *Organización de Aviación Civil Internacional*: Rooney, K.; *OIEA*: Wangler, M.E. (Coordinador); *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. (Presidente); *Brasil*: Xavier, A.; *\*Bulgaria*: Simeonov, G.; *Canadá*: Ferch, R.; *China*: Fan, Z.; *Corea, República de*: Song, W.; *Cuba*: Benítez, J.; *\*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.; *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.; *OIEA*: Hioki, K. (Coordinador); *Comisión Internacional de Protección Radiológica*: Valentin, J.; *Organización Internacional de Normalización*: Hutson, G.



La publicación GSG-7 sustituye a la presente publicación.

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA  
ISBN 978-92-0-307509-1  
ISSN 1020-5837