

# La seguridad física en el transporte de materiales radiactivos



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica

## COLECCIÓN DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR DEL OIEA

Las cuestiones de seguridad física nuclear relativas a la prevención y detección de robos, sabotajes, accesos no autorizados y transferencias ilegales u otros actos dolosos relacionados con los materiales nucleares, otras sustancias radiactivas y sus instalaciones conexas, y para dar respuesta a tales actos, se abordan en las publicaciones de la **Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA**. Estas publicaciones son coherentes con los instrumentos internacionales de seguridad física nuclear como la Convención enmendada sobre la protección física de los materiales nucleares, el Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, las resoluciones 1373 y 1540 del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, y la Convención Internacional para la supresión de los actos de terrorismo nuclear, y los complementa.

### CATEGORÍAS DE LA COLECCIÓN DE SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR DEL OIEA

Las publicaciones de la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA se clasifican en las categorías siguientes:

- Las **Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear** recogen los objetivos, conceptos y principios de la seguridad física nuclear y constituyen la base de las recomendaciones sobre seguridad física.
- Las **Recomendaciones** exponen las prácticas óptimas que deberían adoptar los Estados Miembros al aplicar las Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear.
- Las **Guías de Aplicación** exponen con detalle la información que figura en las Recomendaciones en esferas amplias y proponen medidas para su aplicación.
- Las publicaciones de **Orientaciones Técnicas** incluyen: **Manuales de Referencia**, con medidas y/u orientaciones detalladas sobre cómo poner en práctica la información de las Guías de Aplicación en ámbitos o actividades específicos; las **Guías de Capacitación**, que abarcan los programas y/o los manuales para los cursos de capacitación del OIEA en la esfera de la seguridad física nuclear; y las **Guías de Servicio**, que dan orientaciones sobre la realización y el alcance de las misiones de asesoramiento sobre seguridad física nuclear del Organismo.

### REDACCIÓN Y REVISIÓN

La Secretaría del OIEA recibe la ayuda de expertos internacionales para redactar estas publicaciones. En el caso de las Nociones Fundamentales de Seguridad Física Nuclear, de las Recomendaciones y de las Guías de Aplicación, el OIEA celebra reuniones técnicas de composición abierta para dar a los Estados Miembros interesados y a las organizaciones internacionales competentes la oportunidad de examinar el proyecto de texto. Además, a fin de garantizar un alto grado de análisis y consenso internacionales, la Secretaría presenta los proyectos de texto a todos los Estados Miembros para su examen oficial durante un período de 120 días. De este modo, los Estados Miembros tienen la oportunidad de expresar plenamente sus opiniones antes de que se publique el texto.

Las Orientaciones Técnicas se elaboran en estrecha consulta con expertos internacionales. Aunque no es necesario convocar reuniones técnicas, éstas se pueden celebrar, si se considera necesario, para recabar una amplia gama de opiniones.

En el proceso de redacción y revisión de las publicaciones de la Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA se tienen en cuenta factores de confidencialidad y se reconoce que la seguridad física nuclear va inseparablemente unida a preocupaciones sobre la seguridad física nacional generales y específicas. Un elemento subyacente es que en el contenido técnico de las publicaciones se deben tener en cuenta las normas de seguridad y las actividades de salvaguardias del OIEA.

LA SEGURIDAD FÍSICA  
EN EL TRANSPORTE DE  
MATERIALES RADIATIVOS

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

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

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

COLECCIÓN DE  
SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR DEL OIEA N° 9

LA SEGURIDAD FÍSICA  
EN EL TRANSPORTE DE  
MATERIALES RADIATIVOS

GUÍA DE APLICACIÓN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA, 2013

## DERECHOS DE AUTOR

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

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

© OIEA, 2013

Impreso por el OIEA en Austria  
Septiembre de 2013  
STI/PUB/1348

LA SEGURIDAD FÍSICA  
EN EL TRANSPORTE DE  
MATERIALES RADIATIVOS  
OIEA, VIENA, 2013  
STI/PUB/1348  
ISBN 978-92-0-344410-1  
ISSN 1816-9317

## PREFACIO

En respuesta a una resolución de la Conferencia General del OIEA de septiembre de 2002, el OIEA adoptó un enfoque integrado para la protección contra el terrorismo nuclear. Este enfoque permite la coordinación de las actividades del OIEA en materia de protección física de los materiales y las instalaciones nucleares, la contabilidad de los materiales nucleares, la detección del tráfico de materiales nucleares y otros materiales radiactivos y la respuesta al respecto, la seguridad física de las fuentes radiactivas, la seguridad física en el transporte de materiales nucleares y otros materiales radiactivos, la respuesta y preparación para casos de emergencia en los Estados Miembros y en el OIEA, y la promoción de la adhesión de los Estados a instrumentos internacionales pertinentes. El OIEA ayuda también a detectar las amenazas y la vulnerabilidad en relación con la seguridad física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos. Sin embargo, incumbe a los Estados velar por la protección física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos y las instalaciones conexas, a fin de garantizar su seguridad física en el transporte y luchar contra el tráfico ilícito y el desplazamiento involuntario de materiales radiactivos.

En el plan de actividades sobre seguridad física nuclear para 2006–2009 del OIEA, aprobado por su Junta de Gobernadores en septiembre de 2005, se enuncia claramente la necesidad de un enfoque integral de la seguridad física en el transporte de materiales radiactivos.

La destrucción que puede causar un dispositivo nuclear improvisado o la perturbación económica y social que puede darse debido a un dispositivo de dispersión radiactiva podrían ser enormes. Desde el 11 de septiembre de 2001 se ha cobrado conciencia de la posibilidad de que se cometan actos dolosos mediante la utilización de materiales nucleares. Las evaluaciones recientes de las posibles consecuencias derivadas del uso de un dispositivo de dispersión radiactiva han determinado la necesidad de mejorar la seguridad física de los materiales radiactivos.

El examen de la cadena de suministro de fuentes radiactivas de actividad alta (aquellas que pueden dar lugar a graves consecuencias si se utilizan de forma dolosa) muestra que, en determinadas circunstancias, esas fuentes pueden ser objeto de sabotaje o desviación, como por ejemplo cuando: a) se utilizan en instalaciones fijas insuficientemente protegidas y b) se transportan como importación, en transporte nacional, en uso (en aplicaciones móviles) y como exportación.

Si bien se ha prestado gran atención y se han asignado considerables recursos al mejoramiento de la seguridad física de las fuentes en las instalaciones, se han dedicado menos esfuerzos a la seguridad física de los materiales radiactivos, distintos de los materiales nucleares, durante el transporte; los materiales radiactivos son muy vulnerables durante el transporte. El transporte de fuentes radiactivas de actividad alta suele ser una actividad internacional que

supone desplazamientos en el dominio público con una protección física mínima. La vulnerabilidad de un bulto durante el transporte vuelve absolutamente necesario contar con una seguridad física en el transporte adecuada. Además, ha cambiado la percepción del riesgo que entraña el transporte de materiales radiactivos. Históricamente, se ha hecho hincapié en la seguridad tecnológica en el transporte, pero hoy día se reconoce la necesidad de tratar de forma prioritaria la seguridad física. La preocupación que existe ahora sobre la seguridad física del transporte puede deberse a que, si bien el historial de seguridad del transporte de materiales radiactivos ha sido muy bueno, en la actualidad se reconoce más ampliamente la amenaza de actos dolosos, comprendido el sabotaje.

Esta guía puede ser utilizada por los órganos reguladores de los Estados Miembros como fuente de orientación al establecer reglamentos nacionales para la seguridad física en el transporte de materiales radiactivos. En ella hay aportaciones de los participantes en reuniones y aportaciones individuales. Se tuvieron en cuenta las normas nacionales e internacionales pertinentes. Se agradece la labor de los participantes en reuniones y de otros colaboradores.

#### NOTA EDITORIAL

*Este informe no aborda cuestiones de responsabilidad, jurídica o de otra índole, por actos u omisiones por parte de persona alguna.*

*Aunque se ha puesto gran cuidado en mantener la exactitud de la información contenida en esta publicación, ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse de su uso.*

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

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



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Relación con otras publicaciones.....	2
1.3.	Objetivo.....	3
1.4.	Alcance.....	4
1.5.	Estructura.....	4
2.	ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA.....	6
2.1.	Enfoque general.....	6
2.2.	Consideraciones básicas sobre seguridad física.....	7
2.3.	Consideraciones sobre la seguridad física en el transporte.....	8
2.4.	Funciones.....	10
2.5.	Determinación de las medidas de seguridad física.....	12
3.	ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE SEGURIDAD FÍSICA PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS.....	14
4.	ORIENTACIONES SOBRE MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS.....	17
4.1.	Prácticas de gestión prudentes.....	18
4.2.	Nivel de seguridad física básica.....	18
4.3.	Nivel de seguridad física reforzada.....	21
4.4.	Medidas de seguridad física adicionales.....	24
4.5.	Expediciones internacionales.....	26
	APÉNDICE CONSIDERACIONES DETALLADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE SEGURIDAD FÍSICA.....	27
A.1.	Uso doloso de materiales radiactivos.....	27
A.2.	Establecimiento de los niveles de seguridad física.....	28
A.3.	Definición del umbral de radiactividad.....	31
A.4.	Parámetros para un escenario relacionado con un DDR.....	32
A.5.	Método de modelización.....	33
A.6.	Modelo radiológico.....	34

A.7. Resultados del modelo radiológico. ....	36
A.8. Mezclas de radionucleidos . . . . .	37
A.9. Especificación del umbral de seguridad física en el transporte . . . . .	37
REFERENCIAS . . . . .	39

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

Históricamente, las publicaciones del OIEA sobre el transporte de materiales radiactivos se han centrado en la seguridad tecnológica. La Colección de Normas de Seguridad del OIEA comprende el Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, TS-R-1 (en adelante denominado el Reglamento de Transporte), cuya versión más reciente se publicó en 2005 [1], los Principios fundamentales de seguridad, publicados en 2006 [2] y las Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación [3], todos los cuales se refieren a la seguridad tecnológica del transporte y tratan además, aunque de manera limitada, de la seguridad física<sup>1</sup>.

En 2002 el OIEA empezó a impartir orientación suplementaria sobre la seguridad física en el transporte de materiales radiactivos, basándose en los nuevos requisitos de seguridad física enunciados en las Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas (la Reglamentación Modelo) [4]. La elaboración de esta reglamentación modelo corrió a cargo del Comité de las Naciones Unidas de Expertos en Transporte de Mercaderías Peligrosas y en el Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos. En la Reglamentación Modelo de las Naciones Unidas (denominada en adelante la Reglamentación Modelo) se recomienda un nivel de seguridad física básica con las correspondientes disposiciones para el transporte de todas las mercancías peligrosas, y un nivel de seguridad física reforzada con disposiciones adicionales para las mercancías peligrosas definidas como “de alto riesgo”. Estas disposiciones se incorporaron a la Reglamentación Modelo a fines de 2003.

A tales efectos, el OIEA convocó una serie de reuniones para elaborar una base técnica justificable a fin de establecer niveles de seguridad física para la protección de materiales radiactivos durante el transporte y medidas de seguridad física apropiadas proporcionales a las posibles consecuencias radiológicas que podrían resultar del uso doloso de materiales radiactivos. La presente guía es el resultado de esos esfuerzos.

El régimen de seguridad física para el transporte de materiales radiactivos definido en esta guía se refiere a las preocupaciones radiológicas y los

---

<sup>1</sup> Por “seguridad física (nuclear)” se entiende la prevención y detección del robo, el sabotaje, el acceso no autorizado, la transferencia ilegal u otros actos dolosos relacionados con materiales nucleares, otras sustancias radiactivas o sus instalaciones conexas, y la respuesta a tales actos.

peligros relacionados con la retirada no autorizada, el sabotaje y otros actos dolosos relacionados con materiales radiactivos (por oposición a los peligros planteados por materiales nucleares utilizables para la fabricación de armas). Está destinado a complementar el régimen de seguridad física establecido en virtud de la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares (CPFMN) [5], en la que se trata el transporte internacional de materiales nucleares, y su correspondiente Enmienda que abarca además, entre otras cosas, el transporte en el territorio nacional.

## 1.2. RELACIÓN CON OTRAS PUBLICACIONES

La Reglamentación Modelo sienta las bases de los requisitos de seguridad física para el transporte de mercancías peligrosas exigidos por los Estados y las organizaciones internacionales que se ocupan de las modalidades de transporte. Los requisitos de seguridad física para el transporte de mercancías peligrosas figuran en las subsecciones 1.4 y 7.2 de la Reglamentación Modelo.

Los instrumentos internacionales existentes, las recomendaciones y orientaciones para la protección física de los materiales nucleares y la seguridad física de las fuentes radiactivas, incluso durante su transporte, pueden encontrarse en:

- la CPMFN y la Enmienda del 8 de julio de 2005 [5, 6] y la Protección física de los materiales y las instalaciones nucleares INFCIRC/225/Rev.4 [7];
- el Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas (denominado en adelante el Código de Conducta) [8], la Clasificación de las fuentes radiactivas [9] y otras orientaciones.

Otros organismos especializados y programas de las Naciones Unidas, como la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE), y también otras organizaciones intergubernamentales como la Organización Intergubernamental de Transportes Internacionales Ferroviarios (OTIF), han adoptado medidas análogas para mejorar la seguridad física en el transporte de todas las mercancías peligrosas. La OMI, la OACI y la CEPE han enmendado también sus respectivos instrumentos internacionales – el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas, las Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea, el Acuerdo europeo relativo al transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera, el Reglamento relativo al transporte internacional por ferrocarril de mercancías peligrosas, el Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de

mercancías peligrosas por vía navegable – para tener en cuenta las disposiciones relativas a la seguridad física de la Reglamentación Modelo, que pasaron a ser obligatorias en el transporte internacional en 2005.

La presente guía se basa en las obligaciones y orientaciones enunciadas en las publicaciones relativas a la seguridad física antes señaladas [5 a 8] y en los Objetivos y principios fundamentales [10] en materia de protección física establecidos por el OIEA para la protección física de los materiales y las instalaciones nucleares.

El transporte de materiales nucleares se rige por la CPFMN y está sometido a las medidas de seguridad física recomendadas que se enuncian en el documento INFCIRC/225/Rev.4 [7]. Este documento trata de la seguridad física del transporte con respecto a la clasificación de los materiales nucleares, con inclusión de detalles sobre umbrales de masa, enriquecimiento, los nucleidos abarcados y aspectos relativos a la no proliferación. Las medidas de seguridad física en el transporte que figuran en esta guía se entienden sin perjuicio de las disposiciones enunciadas en el documento INFCIRC/225/Rev.4, en particular en su sección VIII. Sin embargo, en relación con algunos materiales nucleares de la categoría III pueden darse casos en que las posibles consecuencias radiológicas de los materiales justifiquen medidas de seguridad física más estrictas que las enunciadas en el documento INFCIRC/225/Rev.4. Por ejemplo, debido a su radiactividad, algunos bultos de materiales nucleares de la categoría III pueden requerir las medidas de seguridad física reforzada preconizadas en esta guía, que son más rigurosas que las contempladas en el documento INFCIRC/225/Rev.4. Con respecto a estos casos particulares, en esta guía se proponen medidas suplementarias a las que figuran en dicho documento.

Las medidas de seguridad física enunciadas en esta guía complementan también las disposiciones del Código de Conducta [8] y su publicación suplementaria titulada Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas [11]. Se está preparando la publicación en la Colección de Seguridad Física Nuclear de documentos conexos sobre la seguridad física de las fuentes radiactivas y la seguridad física los desechos radiactivos.

### 1.3. OBJETIVO

Puesto que el transporte tiene lugar en el dominio público y supone con frecuencia transbordos intermodales, es una fase potencialmente vulnerable del comercio nacional e internacional. La finalidad de esta guía es proponer un enfoque uniforme y coherente de la seguridad física.

El objetivo de esta guía es facilitar a los Estados orientaciones para el establecimiento, mantenimiento o refuerzo de un régimen de seguridad física

nuclear de los materiales radiactivos (comprendidos los materiales nucleares) a fin de protegerlos durante su transporte contra el robo, el sabotaje u otros actos dolosos que podrían tener, si se logran, consecuencias radiológicas inaceptables. Desde el punto de vista de la seguridad física, se define un umbral para determinar qué bultos o tipos de materiales radiactivos es necesario proteger aplicando otras medidas además de las prácticas de gestión prudente. A fin de reducir al mínimo la probabilidad de robo o sabotaje de materiales radiactivos durante su transporte es necesario aplicar una combinación de medidas para impedir, detectar o demorar tales actos y responder a ellos. Estas medidas se complementan con otras destinadas a recuperar los materiales robados y mitigar las posibles consecuencias, a fin de reducir aún más los riesgos.

#### 1.4. ALCANCE

Estas orientaciones se aplican a la seguridad física del transporte internacional y nacional de todos los bultos que contengan materiales nucleares, tal como se los define en la CPFMN y publicaciones conexas, y de los materiales radiactivos que puedan entrañar un peligro radiológico importante para las personas, la sociedad y el medio ambiente a consecuencia de un acto doloso.

#### 1.5. ESTRUCTURA

La finalidad de las orientaciones que figuran en la sección 2, aplicables al transporte de materiales radiactivos, es que un Estado las utilice para crear un sistema de seguridad física nuclear.

En la sección 3 se utiliza el nivel de radiactividad del contenido de un solo bulto como base para definir los niveles de seguridad física:

- para pequeñas cantidades de materiales radiactivos transportados en bultos exceptuados, como se definen en la publicación TS-R-1 [1], con un nivel de actividad que no rebase el nivel autorizado para el radionucleido cuando no esté en forma especial, o para materiales con niveles bajos de concentración de la actividad (materiales BAE-I) u objetos con poca contaminación (materiales OCS-I), no se proponen medidas de seguridad física específicas además de las medidas de control requeridas por los reglamentos de seguridad, las Normas básicas de seguridad [3] y las **prácticas de gestión prudente** ya aplicadas por los remitentes y los transportistas;
- para todo bulto cuyo contenido rebase la cantidad de materiales no en forma especial y materiales distintos de los BAE-I y OCS-I correspondiente a los

bultos exceptuados, se debería aplicar un **nivel de seguridad física básica** que comprenda algunas medidas específicas de seguridad física;

- para materiales radiactivos embalados en cantidades importantes, de tal modo que se los considera materiales radiactivos “de alto riesgo” (terminología de la Reglamentación Modelo), se debería aplicar un **nivel de seguridad física reforzada** que comprenda a la vez medidas básicas y medidas reforzadas de seguridad física;
- cuando, como resultado de la evaluación de amenazas o de la evaluación de riesgos por un Estado, se considere necesario adoptar **medidas de seguridad física adicionales**, el Estado en cuestión podrá aplicarlas.

En la sección 4 se exponen las medidas y orientaciones de referencia para los Estados que pueden no tener todavía un sistema de seguridad física bien definido y establecido, en particular una infraestructura de reglamentación y un procedimiento de evaluación de amenazas. Es posible que los Estados que cuentan con una infraestructura de reglamentación y un procedimiento de evaluación de amenazas bien definidos y establecidos dispongan ya de un grado de seguridad física suficiente. Sin embargo, aun para esos Estados esta guía puede resultar útil.

Las orientaciones generales presentadas en esta guía se ciñen en gran medida a la Reglamentación Modelo en cuanto al número de niveles de seguridad física y las medidas de seguridad física propuestas, aunque los valores umbral y algunos detalles de las medidas de seguridad física propuestas aquí (en las secciones 3 y 4) difieren de los que figuran en la Reglamentación Modelo.

Los valores umbral expuestos en la presente guía se obtuvieron a partir de las posibles consecuencias radiológicas de actos dolosos relacionados con materiales radiactivos. Los umbrales de actividad se calcularon y compararon con los métodos existentes utilizados en el Reglamento de Transporte y en el Código de Conducta.

Si bien la seguridad en el transporte de materiales radiactivos se trata en publicaciones del OIEA distintas, se reconoce que algunas de las medidas destinadas a tratar la seguridad tecnológica pueden también contribuir al logro de la seguridad física. Por tal razón, las medidas y los procedimientos de seguridad ya establecidos de resultados de la aplicación amplia y efectiva del Reglamento de Transporte a todas las modalidades de transporte en el plano internacional y a nivel de los Estados tal vez respondan ya a algunas necesidades de seguridad física. Se debe procurar que las medidas de seguridad tecnológica no comprometan la seguridad física y viceversa.

## 2. ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA

Al determinar las medidas de seguridad física que han de aplicarse al transporte de materiales radiactivos es necesario tener en cuenta varias cuestiones a fin de impedir el acceso no autorizado a dichos materiales, el robo de éstos u otros actos dolosos de que puedan ser objeto. Para que el régimen de seguridad física nuclear de un Estado funcione correctamente se deben definir con claridad, como primer paso, las responsabilidades de todas las partes interesadas. Al idear las medidas de seguridad física que han de aplicarse durante el transporte, todas las partes interesadas deben determinar y comprender perfectamente la amenaza contra la que se debe proteger a los materiales. Cuando procede, los planes de seguridad física de los operadores<sup>2</sup> se consideran el medio apropiado de orientar la aplicación cabal de las medidas de seguridad física. Según las consecuencias posibles, algunos tipos y cantidades de materiales podrían resultar blancos más atractivos que otros de actos dolosos. Con un sistema graduado de medidas de seguridad física se debería poder hacer frente a este hecho de manera eficaz.

### 2.1. ENFOQUE GENERAL

El establecimiento, la aplicación y el mantenimiento de un régimen de protección física en el territorio de un Estado es responsabilidad exclusiva de ese Estado. Los Estados tienen que establecer un marco legislativo y regulador que abarque la seguridad física de los materiales radiactivos<sup>3</sup> durante el transporte que esté en consonancia con el sistema de seguridad física aplicado a tales materiales durante su utilización y almacenamiento.

---

<sup>2</sup> El término “operador” se utiliza para referirse a una entidad (persona u organización) autorizada a explotar una instalación nuclear o radiológica o autorizada a utilizar, almacenar o transportar materiales nucleares y/o materiales radiactivos. Tal entidad debe normalmente ser titular de una licencia u otro documento de autorización expedido por una autoridad competente o ser contratista del titular de dicha autorización. En la Sección II de la referencia [1] y en el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA [12] se proporcionan también definiciones y explicaciones de los términos.

<sup>3</sup> Los materiales radiactivos son los materiales designados en la legislación de un país o por un órgano regulador como aquellos sometidos a control reglamentario debido a su radiactividad.



Las medidas de seguridad física adoptadas durante el transporte de materiales radiactivos para protegerlos contra actos dolosos<sup>4</sup> deben basarse en una evaluación de la amenaza<sup>5</sup> contra los materiales y la posibilidad de que ésta tenga consecuencias inaceptables.

La elaboración de un modelo radiológico de evaluación de las posibles consecuencias radiológicas de actos dolosos proporciona una base lógica y transparente que permite establecer un sistema graduado y coherente para especificar niveles de protección adecuados.

Se deben tomar en consideración los efectos en la salud humana y los posibles daños económicos, medioambientales o sociales y los trastornos resultantes de actos dolosos.

## 2.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS SOBRE SEGURIDAD FÍSICA

Las consideraciones sobre seguridad física formuladas en esta guía se han adaptado de las que figuran en el Código de Conducta [8] y de las relativas a los materiales nucleares<sup>6</sup> presentadas en los Objetivos y principios fundamentales en materia de protección física [10] y en la Enmienda de la CPFMN [5].

En el transporte de materiales radiactivos, las consideraciones en materia de seguridad física son la siguientes:

- la responsabilidad del Estado;
- los marcos legislativo y regulador;

---

<sup>4</sup> Un acto doloso es un acto cometido deliberadamente para sustraer materiales radiactivos al control autorizado (robo) o un acto dirigido contra materiales radiactivos (el sabotaje, por ejemplo) que podría poner en peligro a los trabajadores, el público y el medio ambiente por exposición a las radiaciones o la emisión o dispersión de materiales radiactivos, comprendida la dispersión deliberada de materiales radiactivos para causar trastornos económicos y sociales.

<sup>5</sup> Una amenaza es la caracterización de un adversario capaz de provocar consecuencias indeseables, comprendidos sus objetivos, motivación y capacidades, por ejemplo el número posible de agresores, el equipo, la capacitación y el plan de ataque.

<sup>6</sup> Por materiales nucleares se entiende el plutonio, excepto aquél cuya concentración isotópica de <sup>238</sup>Pu sea superior al 80 %; el <sup>233</sup>U; el uranio enriquecido en los isótopos <sup>235</sup>U o <sup>233</sup>U; el uranio que contenga la mezcla de isótopos presentes en su estado natural, pero no en forma de mineral o de residuos de mineral; y cualquier material que contenga uno o varios de los materiales citados.

- la necesidad de establecer o designar una autoridad competente<sup>7</sup>;
- las responsabilidades de quienes intervienen en el transporte (por ejemplo, los remitentes, transportistas y destinatarios);
- la cultura de la seguridad física;
- la evaluación de amenazas;
- la utilización de un enfoque graduado;
- el concepto de defensa en profundidad;
- los sistemas de gestión;
- los planes de contingencia/emergencia;
- la confidencialidad.

### 2.3. CONSIDERACIONES SOBRE LA SEGURIDAD FÍSICA EN EL TRANSPORTE

El transporte de materiales radiactivos es por lo general una fase transitoria entre la producción, la utilización, el almacenamiento y la disposición final de los materiales. Las posibles consecuencias radiológicas de la pérdida de control debida al robo de materiales radiactivos durante su utilización, almacenamiento o transporte en principio son similares; en cambio, las posibles consecuencias de un acto de sabotaje<sup>8</sup> pueden diferir considerablemente en función de la ubicación de los materiales radiactivos.

Habida cuenta de la posible vulnerabilidad de los materiales radiactivos durante el transporte, en el diseño de un sistema adecuado de seguridad física

---

<sup>7</sup> Por autoridad competente se entiende cualquier autoridad o autoridades de carácter nacional que se designen o de otra forma reconozcan como tales a todos los efectos en relación con la presente guía (adaptado de la Ref. [12]).

<sup>8</sup> El sabotaje es la comisión de un daño deliberado. En este contexto, se entiende por sabotaje el daño deliberado causado a materiales nucleares o radiactivos durante su uso, almacenamiento o transporte, o a una instalación conexas. Todo acto deliberado cometido en perjuicio de una instalación nuclear o materiales nucleares en uso, en almacenamiento o durante el transporte, podría entrañar directa o indirectamente un peligro para la salud y la seguridad del personal, el público o el medio ambiente por exposición a las radiaciones o emisión de sustancias radiactivas (adaptado de la Ref. [7]).

en el transporte se incluye el concepto de defensa en profundidad<sup>9</sup> y se utiliza un enfoque graduado<sup>10</sup> para el logro del objetivo de impedir que los materiales puedan ser objeto de actos dolosos.

El sistema de seguridad física del transporte debe concebirse de tal modo que se tengan en cuenta:

- la cantidad de materiales radiactivos y su forma física y química;
- las modalidades de transporte;
- los bultos utilizados;
- las medidas necesarias para:
  - disuadir, detectar y demorar el acceso no autorizado a los materiales radiactivos durante su transporte y su almacenamiento en tránsito a fin de frustrar cualquier tentativa de acto doloso;
  - determinar los posibles actos dolosos reales relacionados con cualquier remesa durante su transporte o almacenamiento incidental al transporte para posibilitar una respuesta apropiada e iniciar lo antes posible las operaciones de recuperación o mitigación;
  - aportar una respuesta rápida a cualquier tentativa de acceso o acceso no autorizado a materiales radiactivos, o a otros actos dolosos relacionados con materiales radiactivos durante su transporte o su almacenamiento incidental al transporte;
- las capacidades para:
  - recuperar cualquier material radiactivo dañado, robado o extraviado y ponerlo bajo control reglamentario seguro;
  - reducir al mínimo y mitigar las consecuencias radiológicas de todo robo, sabotaje u otro acto doloso.

Se puede contribuir al logro de una seguridad física eficaz en el transporte tomando en consideración los horarios de transporte, los itinerarios, la seguridad

---

<sup>9</sup> El concepto de defensa en profundidad se utiliza para el diseño de sistemas de seguridad física que obligan al adversario a superar o evitar obstáculos múltiples, ya sean semejantes o diversos, para alcanzar su objetivo. El método consiste en establecer varios niveles de defensa, comprendidos los aspectos administrativos (procedimientos, instrucciones, sanciones, reglas de control de acceso, reglas de confidencialidad) y los aspectos técnicos (barreras de protección múltiples y medidas de detección y demora), que los adversarios tendrían que superar o evitar para alcanzar sus objetivos.

<sup>10</sup> Un enfoque graduado es un método o procedimiento mediante el cual el alcance, la profundidad y el rigor de las medidas de control organizativas y técnicas (como, por ejemplo, de un sistema de protección física) son proporcionales a la evaluación de la amenaza y la magnitud de cualquier peligro derivado del fallo del elemento o el proceso en cuestión.

de tránsito, la seguridad de la información y los procedimientos. En particular, y en la medida en que sea viable desde el punto de vista operacional, las recomendaciones generales que deben considerarse prácticas óptimas son las siguientes:

- se debe evitar en lo posible toda regularidad en los desplazamientos;
- los itinerarios se deben planificar de tal modo que se eviten zonas de desastre natural, disturbios civiles o amenazas conocidas; en el caso de expediciones de fuentes de las categorías 1 y 2, se deben determinar de antemano rutas alternativas de tales expediciones cuando resulten necesarias en determinadas circunstancias, por ejemplo si la ruta principal no es transitable;
- el tiempo total de transporte de los materiales radiactivos, el número de transbordos intermodales y los tiempos de espera que éstos entrañan se deben mantener en el mínimo necesario;
- el conocimiento anticipado de la información relativa al transporte y de las medidas de seguridad física aplicadas a él se debe limitar al número mínimo de personas necesario;
- los bultos o los medios de transporte que contengan materiales radiactivos no se deben dejar sin vigilancia durante más tiempo del absolutamente necesario;
- durante su transporte y almacenamiento temporal incidental al transporte, los materiales radiactivos deben ser objeto de medidas de seguridad física compatibles con las que se aplican a los materiales durante su utilización y almacenamiento.

## 2.4. FUNCIONES

### 2.4.1. Función de los Estados

El establecimiento de un régimen de seguridad física adecuado para el transporte de materiales radiactivos incumbe a cada Estado. El Estado establece los requisitos básicos para una infraestructura jurídica y gubernamental de la seguridad física del transporte, a saber:

- la designación de una autoridad competente independiente encargada de la ejecución, aplicación, inspección y puesta en vigor del marco legislativo y regulador, con inclusión de sanciones eficaces;
- la determinación de objetivos para la protección de las personas, la sociedad y el medio ambiente contra los peligros de radiación, en particular

los que podrían resultar de un acto doloso relacionado con el transporte de materiales radiactivos;

- la elaboración e integración de objetivos y normas formales en los reglamentos de seguridad física;
- la determinación de las amenazas internas contra el Estado y la prescripción de requisitos para el diseño y evaluación del sistema de seguridad física en el transporte;
- el examen periódico del sistema de seguridad física con objeto de tener en cuenta los avances tecnológicos y los eventuales cambios en la amenaza;
- el procedimiento de presentación por el operador y, cuando proceda, la aprobación por la autoridad competente de un plan de seguridad física con anterioridad al transporte de materiales radiactivos;
- la elaboración de un programa para la verificación del cumplimiento constante de los reglamentos de seguridad física mediante inspecciones periódicas y la adopción de medidas correctivas cuando sea necesario;
- la formulación de criterios para determinar, clasificar y controlar información de carácter estratégico cuya revelación no autorizada podría comprometer la seguridad física de materiales radiactivos durante su transporte;
- la determinación de procedimientos de autorización en relación con la seguridad física, con inclusión de un programa de identificación inequívoca (mediante una identificación fotográfica o biométrica oficial que identifique con certeza a la persona), para las personas que intervienen en el transporte de materiales radiactivos, de acuerdo con sus responsabilidades;
- la notificación de sucesos relacionados con la seguridad física, comprendidas las pérdidas;
- el establecimiento de sanciones penales por el incumplimiento de los requisitos en materia de seguridad física en el transporte.

La autoridad competente debe estar dotada de la facultad, la competencia y los recursos financieros y humanos suficientes para ejercer las responsabilidades que se le hayan asignado en relación con la seguridad física de los materiales radiactivos en el transporte y debe tener la capacidad de hacer cumplir los requisitos aplicables.

Además, el Estado adopta las medidas apropiadas para que se promueva una cultura de seguridad física [13] entre todas las entidades y personas participantes en el transporte de materiales radiactivos.

Los Estados establecen los mecanismos apropiados para cooperar, consultar e intercambiar información sobre técnicas y prácticas de seguridad física en el transporte, dentro de los límites de la confidencialidad. Los Estados colaboran entre sí para recuperar los materiales radiactivos robados o perdidos,

previa solicitud. Los Estados receptores y de tránsito y las organizaciones intergubernamentales competentes podrán adoptar las disposiciones apropiadas para promover la cooperación, la armonización y el intercambio de información, y para que los materiales bajo su jurisdicción estén adecuadamente protegidos. La autoridad competente designada debe darse a conocer a los demás Estados y al OIEA.

#### **2.4.2. Funciones del operador**

Todos los operadores (remitentes, transportistas y destinatarios) y otras personas que intervengan en el transporte de materiales radiactivos deben asumir la responsabilidad de aplicar y mantener medidas de seguridad física para el transporte de dichos materiales de conformidad con los requisitos nacionales.

Todos los operadores deben haber establecido planes de contingencia para responder a actos dolosos relacionados con materiales radiactivos durante su transporte, comprendidos planes de recuperación de los materiales perdidos o robados y de mitigación de las consecuencias.

En relación con el transporte internacional, los operadores deben velar de antemano por que se apliquen las medidas de seguridad física vigentes en cada Estado conforme avanza en su trayecto el bulto de materiales radiactivos y deben también determinar claramente el punto en que se transfiere la responsabilidad de su seguridad física.

### **2.5. DETERMINACIÓN DE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA**

Un Estado podrá aplicar un método normativo o basado en los resultados, o una combinación de ambos, para definir los objetivos que han de alcanzarse o las medidas de seguridad física que han de aplicarse en el transporte de materiales radiactivos. Al utilizar el método normativo, el Estado podrá emplear los niveles de seguridad física en el transporte tratados en la sección 3 de esta guía. Cualquiera que sea el método adoptado, las medidas de seguridad física que han de aplicarse deben ceñirse a los requisitos administrativos y técnicos prescritos en la reglamentación nacional (método normativo), o deben evaluarse con respecto a la amenaza imperante o la amenaza base de diseño<sup>11</sup> (método basado en los resultados) contra el Estado.

---

<sup>11</sup> La amenaza base de diseño es una descripción de los atributos y características de posibles adversarios internos y/o externos que podrían intentar la retirada no autorizada de materiales nucleares o materiales radiactivos o actos de sabotaje, contra la cual se diseña y evalúa un sistema de protección física [14].

La amenaza imperante o la amenaza base de diseño contra el Estado pueden variar considerablemente según el Estado o el lugar de que se trate.

Es necesario que los Estados examinen constantemente las amenazas relacionadas con el transporte de materiales radiactivos y evalúen las consecuencias de todo cambio en tales amenazas para la especificación de medidas de seguridad física. Los Estados deben compartir esta información con los transportistas, cuando proceda.

Las etapas básicas necesarias para la especificación de medidas de seguridad física son las siguientes:

- A nivel de los Estados:
  - evaluar las posibles consecuencias de actos dolosos relacionados con materiales radiactivos;
  - evaluar la amenaza dentro del Estado sobre la base de información aportada por expertos de los servicios de seguridad e inteligencia;
  - establecer los niveles de seguridad física que han de aplicarse a los bultos o los medios de transporte de materiales radiactivos;
  - definir los objetivos de seguridad física para cada nivel;
  - especificar los requisitos administrativos y técnicos o las medidas de seguridad física concretas que son necesarios para alcanzar los objetivos de seguridad física.
- A nivel de los operadores:
  - determinar los radionucleidos y sus actividades en cada bulto de material radiactivo y el modo o modos de transporte que se van a utilizar;
  - asignar niveles de seguridad física a los bultos;
  - determinar las medidas de seguridad física apropiadas para cumplir los requisitos reglamentarios o proteger contra la amenaza base de diseño, partiendo de los objetivos establecidos por los reglamentos nacionales.

La eficacia global de las medidas de seguridad física puede lograrse complementando las medidas de seguridad existentes con medidas adicionales de seguridad física determinadas mediante una evaluación concreta de la vulnerabilidad basada en la amenaza nacional, o aplicando medidas que ya estén previstas y que permitan hacer frente a la amenaza nacional.

Se reconoce que la información y los recursos necesarios para la aplicación de una metodología integral de evaluación de amenazas<sup>12</sup> y de vulnerabilidades

---

<sup>12</sup> Una evaluación de amenazas es un análisis que documenta las motivaciones, intenciones y capacidades verosímiles de posibles adversarios que podrían causar consecuencias indeseables con respecto a materiales radiactivos utilizados o almacenados y las instalaciones conexas.

podrán no siempre estar disponibles o podrán considerarse innecesarios habida cuenta de las posibles consecuencias radiológicas de actos dolosos relacionados con los materiales transportados. En tales circunstancias, las medidas de seguridad física podrán establecerse utilizando solamente un método normativo. Este método entraña la especificación de niveles de seguridad física y de medidas de seguridad física predeterminadas acordes con el nivel supuesto de amenaza y aceptación de riesgos basado únicamente en las posibles consecuencias (radiológicas o no radiológicas) de actos dolosos relacionados con materiales radiactivos.

En tales casos, la asignación de niveles generales de seguridad física en el transporte basados en los niveles de actividad en cada bulto, como se expone en la sección 3, y la aplicación de las orientaciones de la sección 4 ofrecen un método general aceptable para definir las medidas de seguridad física que un Estado y el operador pueden aplicar a las operaciones de transporte.

### **3. ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE SEGURIDAD FÍSICA PARA EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS**

A fin de especificar niveles de seguridad física en el transporte de modo fácilmente comprensible e integrado en los sistemas de seguridad tecnológica y física existentes, era esencial evaluar los métodos aplicados en la actualidad a los materiales radiactivos (comprendidos los materiales nucleares) y las fuentes radiactivas. Para esta evaluación se utilizaron dos publicaciones:

- El Código de Conducta [8] y la Clasificación de las fuentes radiactivas [9]. Puesto que esas publicaciones se aplican ampliamente para mejorar la seguridad tecnológica y física de las fuentes, los valores D que se elaboraron para definir una fuente peligrosa son adecuados para especificar el umbral de actividad correspondiente a los niveles de seguridad física en el transporte.
- El Reglamento de Transporte. En este Reglamento se utilizan los valores  $A_1$  y  $A_2$  para especificar la cantidad de materiales radiactivos por encima de la cual éstos deben transportarse en un bulto resistente a accidentes. Puesto que los valores A se conocen bien y se utilizan en el sistema de seguridad del transporte, resultan adecuados también, con los multiplicadores numéricos apropiados, para especificar los umbrales de actividad.



La clasificación de las fuentes selladas que figura en el Código de Conducta se basa en la elaboración de valores D que figura en la publicación de Requisitos de Seguridad N° GS-R-2 de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA [15], en la que se especifican los requisitos para las emergencias relacionadas con una fuente peligrosa. En estos Requisitos de Seguridad una fuente peligrosa se define como la “que, de no estar controlada, podría dar lugar a una exposición suficiente para causar efectos deterministas graves”. A continuación, se define un efecto determinista grave como el que “causa o puede causar la muerte o produce una lesión permanente que merma la calidad de vida”.

Para aplicar los Requisitos de Seguridad se necesitaba una definición operacional de “fuente peligrosa”, que se conoce como valor D. El valor D es la cantidad de material radiactivo que, de no estar controlada, podría provocar la muerte de una persona expuesta o una lesión permanente que merma la calidad de vida de esa persona.

Puesto que se necesitaba una clasificación de las fuentes radiactivas<sup>13</sup> que se basara en los efectos deterministas en la salud que pueden causar las fuentes, los valores D se utilizaron también como factores normalizadores para generar la clasificación numérica relativa de las fuentes y prácticas. Así pues, los valores D se utilizaron también como base del sistema del OIEA para la clasificación de las fuentes radiactivas, algunas de cuyas partes se incluyeron en el Código de Conducta. En la parte superior del cuadro 1 del Código de Conducta se enumeran los valores D correspondientes a 16 fuentes radiactivas específicas. Sin embargo, según el Código de Conducta, es muy poco probable que se utilicen otros radionucleidos en fuentes radiactivas individuales con un nivel de actividad que los colocaría dentro de las categorías 1, 2 ó 3. En el caso de estos radionucleidos se consideró apropiado utilizar el sistema Q para determinar niveles umbral más elevados.

En relación con el transporte, el sistema Q se elaboró como una metodología destinada a evaluar una serie de vías de exposición, cada una de las cuales podría conducir a una exposición a las radiaciones, externa o interna, de las personas en las inmediaciones de un bulto de tipo A afectado por un accidente muy grave durante el transporte. A tenor de las Normas básicas de seguridad [3], el sistema Q queda dentro del ámbito de las exposiciones potenciales. Una exposición potencial es la que no se prevé que se produzca con seguridad, pero que puede ser resultado de un accidente relacionado con materiales radiactivos o deberse a un suceso o serie de sucesos de carácter probabilista, por ejemplo fallos de equipo y errores de operación.

---

<sup>13</sup> Un fuente radiactiva es un material radiactivo permanentemente sellado en una cápsula o fuertemente envuelto, en forma sólida, y que no está exento de control reglamentario (adaptado de la Ref. [8]).

En cuanto a las exposiciones potenciales, se ha utilizado un nivel de dosis de 50 mSv sobre la base de que, históricamente, los accidentes reales relacionados con bultos de tipo A han provocado exposiciones de nivel muy bajo. Al escoger esta dosis de referencia es importante también tener en cuenta la probabilidad de que una persona se vea expuesta a resultas de un accidente de transporte, puesto que se puede considerar que tales exposiciones ocurren en general una vez en la vida.

Ninguno de estos planteamientos resultaba completamente satisfactorio desde el punto de vista de la seguridad física. En el Código de Conducta se hace referencia a las fuentes selladas y se examinan los efectos deterministas en la salud. En el planteamiento utilizado en el sistema Q se consideran los efectos estocásticos en la salud.

Puesto que un acto doloso relacionado con materiales radiactivos sustraídos sin autorización durante el transporte puede perfectamente suponer la dispersión deliberada de dichos materiales en una amplia zona, se consideró la posibilidad de que se produjera un escenario relacionado con un dispositivo de dispersión radiactiva (DDR). Un DDR es un arma de denegación, esto es, niega la utilización de la zona afectada. Por consiguiente, la dispersión de un radionucleido en niveles que exigen el realojamiento temporal o permanente de los habitantes de la zona afectada es una manera adecuada de medir la eficacia de un DDR. Al establecer los umbrales en esta sección, se tomaron en cuenta también otros tipos de actos dolosos y sus consecuencias, como las que podrían derivarse de la exposición directa a una fuente radiactiva sin blindaje o un penacho, por ingestión e inhalación.

Se utilizó un modelo de evaluación del alcance para calcular la cantidad de material radiactivo necesario para provocar el realojamiento permanente de los habitantes de una zona contaminada por un DDR. En la publicación ICRP 82, *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure* [16], y en la guía de seguridad del OIEA sobre respuesta a emergencias [17] se formulan recomendaciones sobre los niveles de actuación con respecto a las medidas que deben tomarse tras un incidente radiológico. En el Apéndice se facilitan detalles sobre el modelo de evaluación del alcance, sus hipótesis y parámetros.

Los resultados del modelo de evaluación del alcance se compararon con los valores A y los valores D. En esta comparación se procuró determinar los multiplicadores de esos valores que se aproximarían pero no rebasarían los resultados del modelo. Habida cuenta de las incertidumbres y los planteamientos conservadores inherentes al modelo, no era necesario encontrar una correlación rigurosa sino tan sólo una razonable. Se encontró que se podía establecer una correlación con cualquiera de los conjuntos de valores. En el Apéndice se indica la base para determinar los umbrales de actividad.

En consecuencia, se utilizan los siguientes umbrales de actividad para el nivel de seguridad física reforzada:

- para las fuentes radiactivas y otras formas de material radiactivo que contengan radionucleidos contemplados en el Código de Conducta, 10 D por bulto (esto comprende fuentes de categoría 1 y 2); o bien
- para todos los demás radionucleidos, 3 000 A<sub>2</sub> por bulto.

Algunos materiales radiactivos entrañan un riesgo de peligro radiológico tan bajo que no plantean ningún problema de seguridad física. Esos materiales comprenden cantidades muy pequeñas (salvo los bultos cuyo nivel de actividad no rebasa el nivel permitido para el radionucleido cuando no está en forma especial), materiales con baja concentración de actividad y objetos con poca contaminación que se pueden transportar (BAE-I y OCS-I). No se proponen medidas de seguridad física específicas para esos materiales además de las medidas de control básicas indicadas en las Normas básicas de seguridad [3] y utilizadas en las prácticas comerciales normales.

Se debe aplicar el nivel de seguridad física básica a los materiales radiactivos situados entre esos dos límites de umbral.

#### **4. ORIENTACIONES SOBRE MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA EN EL TRANSPORTE DE MATERIALES RADIATIVOS**

En esta sección se analizan las medidas de seguridad física que podrían utilizarse para proteger los materiales radiactivos contra el robo, el sabotaje y otros actos dolosos durante su transporte en los Estados donde no se disponga de la información y los recursos a fin de aplicar una metodología integral para la evaluación de amenazas y de vulnerabilidades.

En la subsección 4.1 se determinan prácticas de gestión prudentes para materiales radiactivos de actividad baja. En la subsección 4.2 se proporcionan orientaciones sobre el nivel de seguridad física básica y en la subsección 4.3 se proporcionan orientaciones adicionales sobre el transporte de materiales radiactivos de actividad superior al nivel de umbral especificado en la sección 3. Estas medidas se basan en la Reglamentación Modelo y los Estados y los explotadores deben considerar que representan un conjunto mínimo de medidas. En la subsección 4.4 se proporcionan orientaciones adicionales cuya

aplicación tal vez deseen estudiar los Estados para el transporte de materiales radiactivos particularmente vulnerables o en caso de que aumenten las amenazas.

#### 4.1. PRÁCTICAS DE GESTIÓN PRUDENTES

Los bultos de materiales radiactivos para los que en la sección 3 no se determinan disposiciones adicionales no requieren más medidas de seguridad física que las medidas de control básicas previstas en las Normas básicas de seguridad [3] y en las prácticas comerciales normales.

#### 4.2. NIVEL DE SEGURIDAD FÍSICA BÁSICA

En esta subsección se proporcionan orientaciones sobre todos los bultos de materiales radiactivos en cuyo caso, según lo establecido en la sección 3, deben aplicarse al menos medidas de seguridad física básica.

##### *Disposiciones generales de seguridad física*

La autoridad competente debe proporcionar a los operadores, a su discreción, información sobre los posibles cambios de las amenazas para los materiales radiactivos durante el transporte. Al aplicar medidas de seguridad física, los operadores deben tener en cuenta toda la información sobre las amenazas. En el caso del transporte internacional se debe tener en cuenta la información sobre las amenazas correspondiente a todos los Estados por los que se efectúe dicho transporte.

Todos los operadores (remitentes, transportistas, destinatarios) y otras personas que participen en el transporte de materiales radiactivos deben aplicar medidas de seguridad física para el transporte de esos materiales acordes con sus responsabilidades y con el nivel de amenaza.

El traslado de materiales radiactivos solo debe estar a cargo de operadores autorizados. En circunstancias normales, es suficiente con que exista una relación comercial entre un transportista y un destinatario/remitente. En caso de que no exista esa relación, las autoridades reguladoras nacionales, o las asociaciones comerciales e industriales pertinentes, deben determinar la idoneidad o capacidad del posible transportista o destinatario para recibir o transportar materiales radiactivos confirmando que los intereses de uno u otro son legítimos.

Si se almacenan temporalmente materiales radiactivos en instalaciones de tránsito (almacenes, zonas de clasificación, etc.) es preciso adoptar medidas de

seguridad física acordes con las aplicadas durante el uso y el almacenamiento de dichos materiales.

El operador debe establecer procedimientos para iniciar una investigación sobre la situación de los bultos que no se entreguen al destinatario previsto en el plazo establecido. Si en el curso de la investigación se determina que el bulto se ha perdido, ha sido robado o, al parecer, manipulado ilícitamente, se deben poner en marcha de inmediato procedimientos para localizarlo y recuperarlo.

Salvo cuando proceda obrar de otra manera por motivos imperiosos de seguridad, los bultos de materiales radiactivos deben transportarse en medios de transporte seguros y cerrados o cubiertos. Sin embargo, los bultos que individualmente pesen más de 2 000 kg y estén precintados y sujetos a los medios de transporte se podrán transportar en medios de transporte abiertos. Antes del despacho y a la llegada todos los cierres y precintos deben ser verificados por personal específica y previamente autorizado a tal efecto por su empleador.

En caso de que los bultos deban enviarse en medios de transporte abiertos, tal vez el Estado estudie la posibilidad de que — debido a la naturaleza de los materiales radiactivos o a la existencia de una amenaza — haya que aplicar medidas de seguridad física adicionales. Esas medidas pueden consistir en destacar personal de guarda, blindar cada bulto contra predetonaciones externas para evitar o mitigar los daños en caso de ataque a distancia con armas perforantes propulsadas por cohetes o con dispositivos similares contra los que sea difícil defenderse, y mejorar la vigilancia del itinerario o la capacidad de respuesta. El blindaje de los bultos debe efectuarse conforme a las indicaciones de especialistas en seguridad.

### *Capacitación en seguridad física básica*

Las personas que se ocupan del transporte de materiales radiactivos deben recibir capacitación, incluido el conocimiento de los elementos de la seguridad física.

La capacitación sobre seguridad física debe abarcar la descripción de la naturaleza de las amenazas relacionadas con la seguridad física, el reconocimiento de los problemas que se plantean en esa esfera, los métodos para resolverlos y las medidas que deben adoptarse en caso de que se produzca un incidente de seguridad física. También debe abarcar un conocimiento de los planes de seguridad física (según proceda) acorde con las responsabilidades de las personas y con su función en la ejecución de dichos planes.

Esa capacitación se debe impartir o verificar al emplear a una persona en un puesto relacionado con el transporte de materiales radiactivos, y ha de complementarse periódicamente con las actividades de readiestramiento que la autoridad competente estime adecuadas.

El empleador debe mantener registros de todas las actividades de capacitación en seguridad física realizadas y los pondrá a disposición del empleado si así se solicita.

#### *Verificación de la identidad del personal*

Cada miembro del personal de un medio en el que se transporten materiales radiactivos debe llevar consigo durante el transporte un elemento de identificación inequívoco (una identificación fotográfica o biométrica emitida por una autoridad oficial). Si bien los elementos de identificación biométrica se consideran más adecuados, algunos Estados quizá no dispongan de capacidad para confirmar datos biométricos. Por consiguiente, en el caso del transporte internacional, el método de identificación más apropiado puede ser un documento fotográfico expedido por una empresa aprobada oficialmente.

#### *Verificación de la seguridad física de los medios de transporte*

Los transportistas deben efectuar inspecciones para verificar la seguridad física de los medios de transporte y deben garantizar el mantenimiento de la eficacia de esas medidas de seguridad durante el transporte. En circunstancias normales, y según la modalidad de transporte utilizada, será suficiente con que el transportista realice una inspección visual para cerciorarse de que ningún elemento haya sido objeto de manipulación ilícita, ni se haya fijado al bulto o al medio de transporte ningún elemento que pueda comprometer la seguridad física de la remesa. Para esa inspección solo se requiere el conocimiento que el propio transportista tiene del medio de transporte.

#### *Instrucciones por escrito*

Los operadores deben entregar al personal de los medios de transporte instrucciones por escrito sobre las medidas de seguridad física que deban aplicarse, incluidas las previstas para responder a un incidente de seguridad física durante el transporte. En el nivel de seguridad física básica suele bastar con que estas instrucciones por escrito contengan información básica sobre contactos para casos de emergencia.

#### *Intercambio de información relacionada con la seguridad física*

Los operadores deben intercambiar entre sí y con las autoridades apropiadas información sobre la aplicación de medidas de seguridad física y la respuesta a

incidentes de seguridad física, siempre y cuando ese intercambio sea compatible con los requisitos de seguridad en materia de información delicada.

### *Determinación de la probidad*

Los operadores pueden adoptar medidas para determinar la probidad de las personas que participen en el transporte de materiales radiactivos, a tenor de las responsabilidades que les incumban. La determinación de la probidad<sup>14</sup> consiste en establecer la fiabilidad de una persona, lo cual abarca – en la medida en que esté permitido por la legislación y sea necesario – la verificación de diferentes características y datos mediante comprobaciones de referencias y de antecedentes penales. La determinación de la probidad de una persona debe basarse en el examen de las referencias de sus actividades anteriores para verificar su perfil moral y su reputación.

## 4.3. NIVEL DE SEGURIDAD FÍSICA REFORZADA

En el caso de los bultos de materiales radiactivos cuyo contenido alcance o supere el umbral de radiactividad correspondiente al nivel de seguridad física reforzada, que se indica en la sección 3, además de las medidas de seguridad física correspondientes al nivel de seguridad física básica, deben aplicar las medidas de seguridad física enunciadas en la presente subsección.

### *Identificación de los transportistas y los remitentes*

Al aplicar disposiciones nacionales sobre la seguridad física de los envíos de materiales radiactivos, la autoridad competente debe establecer un programa para identificar a los remitentes o los transportistas que participen en el transporte de bultos de dichos materiales que requieran un nivel de seguridad física reforzada, a los efectos de comunicar información relacionada con la seguridad.

---

<sup>14</sup> La legislación de un Estado puede fijar límites para la verificación de la identidad y la determinación de la probidad. El establecimiento de disposiciones relativas a la determinación de la probidad puede requerir esfuerzos especiales y, en particular, la comprensión y el apoyo del público para su incorporación al sistema jurídico habida cuenta de los posibles conflictos con la legislación en materia de protección de la intimidad y derechos humanos. Las medidas relativas a la determinación de la probidad pueden basarse en la legislación general sobre seguridad física complementadas por reglamentos más específicos sobre cuestiones relacionadas con la seguridad física nuclear.

### *Planes de seguridad física*

Todos los operadores (remitentes, transportistas, destinatarios) y otros participantes en el transporte de bultos de materiales radiactivos que requieran un nivel de seguridad física reforzada deben elaborar, adoptar, aplicar y revisar periódicamente, según proceda, un plan de seguridad física y observar sus disposiciones. Este plan debe abarcar al menos los elementos siguientes y debe modificarse según sea necesario para reflejar el nivel de amenaza en el momento de su aplicación y cualquier cambio en el programa de transporte:

- asignación específica de las funciones en materia de seguridad física a personas competentes y cualificadas debidamente facultadas para desempeñar dichas funciones;
- mantenimiento de registros de los bultos o tipos de materiales radiactivos transportados;
- examen de las operaciones en curso y evaluación de las vulnerabilidades, con inclusión del transbordo intermodal, el almacenamiento en tránsito, la manipulación y la distribución, según proceda;
- enunciación clara de medidas en materia de: capacitación, políticas sobre respuesta al aumento del nivel de amenaza, verificación de nuevos empleados y empleo, prácticas operativas (p. ej., selección y uso de itinerarios conocidos, uso de personal de guarda, acceso a bultos de materiales radiactivos que requieran un nivel de seguridad reforzada en almacenamiento temporal, proximidad a infraestructuras vulnerables), equipo y recursos que sea preciso utilizar para reducir los riesgos relacionados con la seguridad física;
- introducción de procedimientos y equipo eficaces de notificación y respuesta oportunas ante amenazas, infracciones o incidentes relacionados con la seguridad física;
- establecimiento de procedimientos de evaluación y prueba de planes y procedimientos de seguridad física para el examen periódico y la actualización de dichos planes;
- establecimiento de medidas para garantizar la seguridad de la información sobre el transporte contenida en el plan de seguridad física;
- establecimiento de medidas para garantizar una distribución limitada de la información delicada sobre el transporte, a fin de velar por la seguridad de la información. Esas medidas no deben impedir la presentación de documentos de transporte o la declaración del remitente conforme a los requisitos enunciados en la publicación TS-R-1 [1];
- medidas para el seguimiento de la ubicación del envío;



- suministro, cuando proceda, de información detallada sobre acuerdos acerca del punto de traspaso de responsabilidades en materia de seguridad física.

Los Estados deben establecer claramente en quién recae la responsabilidad por el plan de seguridad física. Normalmente, será el operador directamente responsable de la seguridad física de los materiales radiactivos en cualquier nodo o fase particular del transporte. En caso de subcontratación del servicio de transporte, tal vez convenga cerciorarse de que existen arreglos contractuales relativos a la formulación y observancia de un plan de seguridad física.

La información que, con arreglo a esas disposiciones, deba figurar en un plan de seguridad física puede incorporarse a planes elaborados con otros fines. Sin embargo, los planes de seguridad física contienen casi siempre información que debe facilitarse únicamente a las personas que necesiten conocerla para el cumplimiento de sus obligaciones. Esa información no ha de figurar en planes elaborados con otros fines y que pueden tener mayor difusión.

Al elaborar planes de seguridad física, los operadores deben garantizar la incorporación de planes de respuesta a emergencias (conforme a los requisitos enunciados en la publicación N° GS-R-2 [15] de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA y en las Guías de Seguridad conexas, tales como la publicación N° TS-G-1.2 [17] de la Colección de Normas de Seguridad del OIEA).

### *Notificación por adelantado*

El remitente debe notificar por adelantado al destinatario la expedición planificada, la modalidad de transporte y el momento previsto de la entrega.

El destinatario debe confirmar antes de que se inicie el transporte su capacidad y disposición para aceptar la entrega en el momento previsto y debe notificar al remitente si ha recibido o no el envío en el plazo de entrega previsto.

Cuando se le solicite o sea necesario, el remitente debe notificar por adelantado el envío a la autoridad competente del Estado receptor o de tránsito. La notificación que pueda exigirse por razones de seguridad física puede elaborarse sobre la base de la notificación por anticipado que debía presentarse con otros fines.

### *Dispositivos de rastreo*

Según proceda, pueden utilizarse métodos o dispositivos de rastreo para vigilar el movimiento de los medios de transporte de materiales radiactivos. Mediante un sistema de rastreo sencillo es posible determinar en qué momento

se inicia el transporte de un envío, si ha variado la modalidad de transporte y si los materiales se encuentran en almacenamiento provisional o se ha recibido la remesa. Esta información sobre los cambios de situación debe ponerse rápidamente a disposición de las partes pertinentes (a saber, los transportistas, los remitentes y otros operadores). Este sistema de rastreo puede consistir en algo tan sencillo como un sistema de código de barra que proporcione información sobre la ubicación y el estado de los bultos. Gracias al sistema de rastreo, combinado con un sistema de comunicación y procedimientos de respuesta, el operador y la autoridad competente podrán reaccionar oportunamente si se comete un acto doloso, por ejemplo, el robo de materiales radiactivos.

#### *Comunicaciones desde el medio de transporte*

El transportista debe dotar al personal de la capacidad necesaria para comunicarse durante el transporte y desde el medio de transporte con un punto de contacto designado, según se indique en el plan de seguridad física.

#### *Medidas adicionales de seguridad física para el transporte por carretera, ferrocarril y vías navegables interiores*

Con respecto a los medios de transporte por carretera, ferrocarril o vías navegables interiores, el transportista debe garantizar la utilización de dispositivos, equipo u otras disposiciones con fines de disuasión, detección, dilación y respuesta ante robos, actos de sabotaje u otros actos dolosos que afecten a los medios de transporte o a su carga, y debe velar por que esas disposiciones puedan aplicarse con eficacia en cualquier momento.

En la medida de lo posible, el operador debe mantener bajo vigilancia permanente durante el transporte los medios de transporte por carretera. Cuando resulte imposible mantenerlos vigilados, deben colocarse en condiciones de seguridad para garantizar que satisfagan los criterios de protección, detección y respuesta, situándolos preferentemente en una zona bien iluminada.

#### 4.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD FÍSICA ADICIONALES

En determinadas circunstancias, los Estados pueden estudiar la posibilidad de reforzar las medidas de seguridad física normales antes mencionadas en razón de la amenaza base de diseño, la evaluación de la amenaza existente o la naturaleza de los materiales radiactivos transportados. En esos casos, que posiblemente solo correspondan a determinadas categorías o cantidades de materiales radiactivos o a transportes particularmente delicados, los Estados

pueden exigir que se apliquen algunas o todas las medidas que se indican a continuación. La lista no es exhaustiva.

Además de los conocimientos básicos en materia de seguridad física, se puede impartir capacitación adicional a las personas que participen en el transporte de materiales radiactivos a fin de garantizar que posean las aptitudes y los conocimientos adecuados para aplicar las medidas de seguridad física específicas que correspondan a sus funciones.

Los transportistas de materiales radiactivos pueden estar sujetos a un régimen que requiera la obtención de licencias para sus operaciones, la auditoría de sus procedimientos de seguridad física y la aprobación oficial y el examen periódico de sus planes de seguridad física por la autoridad competente.

Pueden necesitarse, si fueran viables, métodos o dispositivos automatizados de rastreo en tiempo real para vigilar a distancia desde un centro de control del transporte tanto el movimiento de medios de transporte y bultos de materiales radiactivos como el estado de esos materiales.

Según las responsabilidades que les incumben, es posible que las personas que participen en el transporte de materiales radiactivos deban estar autorizadas oficialmente para actuar en la esfera de la seguridad física.

En algunos transportes puede necesitarse personal de guarda para garantizar una vigilancia eficaz y permanente de los bultos y/o los medios de transporte. En esos casos será importante velar por que los guardas esté debidamente capacitados (sobre todo si van armados), dispongan de equipo adecuado y tengan pleno conocimiento de sus responsabilidades.

La autoridad competente puede exigir una evaluación tanto de las posibilidades de que, por su diseño y su modalidad de transporte, un bulto sea objeto de sabotaje como de las posibles consecuencias radiológicas de dicho acto. Esta evaluación debe efectuarse en estrecha consulta con los especialistas en seguridad.

Antes de la carga y la expedición, puede exigirse que personal debidamente capacitado lleve a cabo una revisión exhaustiva del medio de transporte para cerciorarse de que no haya sido manipulado de ninguna manera que menoscabe la seguridad física.

Tal vez sea necesario prestar especial atención a los procedimientos aplicables en los puntos de traspaso de responsabilidades en materia de seguridad física y en los puntos de transbordo intermodal.

Puede estudiarse la posibilidad de utilizar medios de transporte especialmente diseñados o modificados para incorporar características de seguridad física adicionales.

Se puede revisar el plan de respuesta para garantizar la adopción de medidas adecuadas ante cualquier intento de robo, sabotaje u otros actos dolosos.

En particular, se debe examinar la coordinación con las fuerzas de respuesta para garantizar una respuesta apropiada y oportuna en caso de incidente.

Antes de un transporte de materiales radiactivos se pueden realizar ejercicios apropiados para garantizar la solidez de los planes de contingencia.

Tal vez sea preciso que el personal que tenga responsabilidades específicas en materia de seguridad física reciba instrucciones por escrito donde se detallen dichas responsabilidades.

Se pueden adoptar medidas adicionales, compatibles con los requisitos nacionales, para proteger la confidencialidad de la información sobre las operaciones de transporte, incluida la relativa a horarios e itinerarios. Además, tal vez sea preciso velar por la seguridad y redundancia de los sistemas de comunicaciones utilizados durante el transporte.

#### 4.5. EXPEDICIONES INTERNACIONALES

En el caso del transporte aéreo la expedición debe realizarse con arreglo a las disposiciones de seguridad física aplicables (Anexos 17 y 18 del Convenio de Aviación Civil Internacional [18] e Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea, de la OACI) [19]. En cuanto al transporte marítimo, la expedición debe efectuarse con arreglo a las disposiciones de seguridad física aplicables del Código Internacional para la Protección de los Buques y de las Instalaciones Portuarias [20] y del Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas [21], conforme a lo dispuesto en el Convenio internacional para la seguridad de la vida humana en el mar (SOLAS, modificado en 1974) [22]. Estas disposiciones deben complementarse con la información facilitada en la presente guía.

Antes de una expedición internacional el Estado de origen puede adoptar disposiciones adecuadas para confirmar que se cumplirán los requisitos de seguridad física del Estado receptor y de los posibles Estados de tránsito.

## Apéndice

### CONSIDERACIONES DETALLADAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE NIVELES DE SEGURIDAD FÍSICA

En el presente apéndice se describe en detalle la elaboración del modelo empleado para determinar la cantidad de materiales radiactivos necesaria para que le produzca la consecuencia de referencia. La finalidad del modelo no es predecir los efectos de un DDR, sino definir la cantidad de un radionucleido cuya presencia podría hacer necesario el realojamiento permanente o temporal de la población de una zona. En la publicación ICRP 82, *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure* [16], y en la publicación de Requisitos de seguridad del OIEA sobre Preparación y respuesta a situaciones de emergencia [15] se enuncian requisitos y recomendaciones sobre los niveles de dosis para la adopción de medidas después de accidentes radiológicos; esos niveles de dosis se han utilizado como base para definir la dosis de referencia en el modelo. Se trata de una medida conservadora de la gravedad de un incidente de dispersión intencional porque determina en qué momento puede denegarse la utilización de una zona.

#### A.1. USO DOLOSO DE MATERIALES RADIATIVOS

Los posibles actos dolosos relacionados con materiales radiactivos abarcan un amplio espectro de escenarios. Los sucesos que se mencionan a continuación representan algunas categorías amplias de posibles actos dolosos que podrían tener consecuencias radiológicas considerables.

- *Ocultación de materiales sin blindaje en zonas de trabajo y/o de residencia o en la vía pública donde las personas podrían recibir radiación externa.*
- *Sabotaje de bultos o envíos de materiales radiactivos con posterior emisión de materiales radiactivos y su dispersión en el medio ambiente.*
- *Apropiación de bultos o envíos de materiales radiactivos y su posterior dispersión mediante explosivos convencionales.* Entre las principales consecuencias radiológicas de un suceso de este tipo, es decir, un escenario relacionado con un DDR, figuran efectos cercanos y lejanos. En las inmediaciones del lugar de la explosión (efectos cercanos) puede haber metralla radiactiva y trozos más grandes de material radiactivo dispersos por la zona que provoquen lesiones en las personas y dañen y contaminen los edificios, etc., así como contaminación general de material vaporizado o muy fragmentado. Las personas que se encuentren en la zona pueden

inhalar estos materiales y tanto su piel como su ropa pueden resultar contaminadas. También puede desprenderse un penacho ascendente que disperse materiales vaporizados o muy fragmentados (efecto lejano), con la consiguiente contaminación de la zona y de las personas que se encuentren en ella, así como la exposición por inhalación en los lugares por donde pase el penacho.

- *Apropiación de un bulto o un envío de materiales radiactivos y su posterior procesamiento (p. ej., transformación en una forma mucho más dispersable), que provoque una dispersión posterior de esos materiales en el medio ambiente (escenario relacionado con un DDR).* Habida cuenta del tiempo y de los recursos necesarios para efectuar esta operación, hay más posibilidades de que las fuerzas de seguridad logren desbaratarla, de manera que su realización se considera menos probable que la de otros escenarios.

Las consecuencias radiológicas derivadas de estos tipos de ataque radiológico varían considerablemente según, por ejemplo, el tipo y la naturaleza del suceso y el tipo y la cantidad de material radiactivo utilizado. Puesto que un adversario que desee causar daño puede sentirse muy atraído por la perspectiva de utilizar un DDR, para lo cual no se requieren capacidades muy sofisticadas, esta opción se considera más probable. El escenario relacionado con un DDR también se considera apropiado para evaluar las posibles consecuencias radiológicas de un acto doloso que entrañe el uso de diferentes radionucleidos.

## A.2. ESTABLECIMIENTO DE LOS NIVELES DE SEGURIDAD FÍSICA

Puesto que el transporte de materiales radiactivos se realiza en el marco del transporte de otras mercancías peligrosas, es conveniente ajustarse lo más posible a los requisitos y directrices existentes en materia de seguridad física, en particular la Reglamentación Modelo y los reglamentos internacionales sobre modalidades de transporte. Además, puesto que algunos materiales radiactivos también están abarcados en el Código de Conducta [8] y sus directrices complementarias, la CPFMN [5], junto con su Enmienda [6] y en el documento INFCIRC/225/Rev.4 [7], también es conveniente ajustarse lo más posible a estos documentos. Los niveles de seguridad física indicados en esta guía se han definido teniendo presentes estas consideraciones.

Puesto que las operaciones de transporte varían considerablemente según la manera en que se realizan (carga completa, remesas de bultos individuales, etc.), es preciso definir con claridad la base utilizada para especificar las medidas

de seguridad física. Hay dos bases posibles para especificar los transportes que deben estar sujetos a medidas de seguridad física reforzada:

- Por bulto: habría que aplicar disposiciones de seguridad física reforzada cuando algún bulto de la remesa sobrepasa el valor umbral. Este método presenta ventajas operativas, por ejemplo: no es preciso que los transportistas lleven un recuento de la actividad total en el medio de transporte. Sin embargo, es posible que no permita medir con exactitud el daño potencial que podría provocarse desviando un solo medio de transporte (ya que este puede contener múltiples bultos).
- Por medio de transporte: habría que aplicar disposiciones de seguridad física reforzada cuando la actividad total en un medio de transporte sobrepase el umbral. Este método permite garantizar que la actividad total en un solo medio de transporte no sobrepase el umbral, sin necesidad de aplicar medidas de seguridad física reforzada. Sin embargo, se tropezaría con dificultades para ponerlo en práctica.

En la presente guía se utiliza el método por bulto.

Algunos bultos de materiales radiactivos tienen niveles de radiactividad tan bajos que solo entrañan peligros radiológicos y riesgos de seguridad física bajos (p. ej., productos de consumo, cantidades muy pequeñas de radionucleidos, materiales con concentración de actividad muy baja). Debido a las consecuencias muy limitadas que podrían derivarse de su utilización en actos dolosos, tanto los bultos exceptuados (tal como se definen en el párrafo 230 de la Ref. [1]) cuyo contenido no sobrepase el nivel de actividad permitido para los materiales en forma no especial como los BAE-I (tal como se definen en el párrafo 226 de la Ref. [1]) y los OCS-I (tal como se definen en el párrafo 241 de la Ref. [1]) no deben estar sujetos a disposiciones de seguridad física más estrictas que las que se aplican normalmente a los envíos comerciales. Los controles comerciales normales que se aplican a estos envíos son suficientes ya que las consecuencias potenciales de su utilización en actos dolosos serían muy limitadas.

En el caso de los bultos con niveles de radiactividad superiores a los permitidos en los bultos exceptuados, las consecuencias potenciales de su utilización en actos dolosos varían considerablemente (en muchos órdenes de magnitud). Sin embargo, a fin de especificar medidas apropiadas de seguridad física en el transporte, los bultos pueden agruparse en función de sus posibles consecuencias. Aun cuando en aras de la simplicidad sería conveniente establecer un pequeño número de niveles de seguridad física para esos materiales, si se determinaran más niveles se facilitaría la definición de medidas mejor adaptadas a las posibles consecuencias radiológicas. Después de celebrar varias reuniones se convino en que dos niveles de seguridad física serían suficientes para especificar

las medidas de seguridad física en el transporte de los bultos cuyo contenido de materiales radiactivos sobrepase el permitido para los bultos exceptuados. Al establecer dos niveles se simplifica lo más posible la especificación de las medidas de seguridad física y pueden indicarse los bultos que deben ser objeto de medidas de seguridad “básica” o “reforzada”.

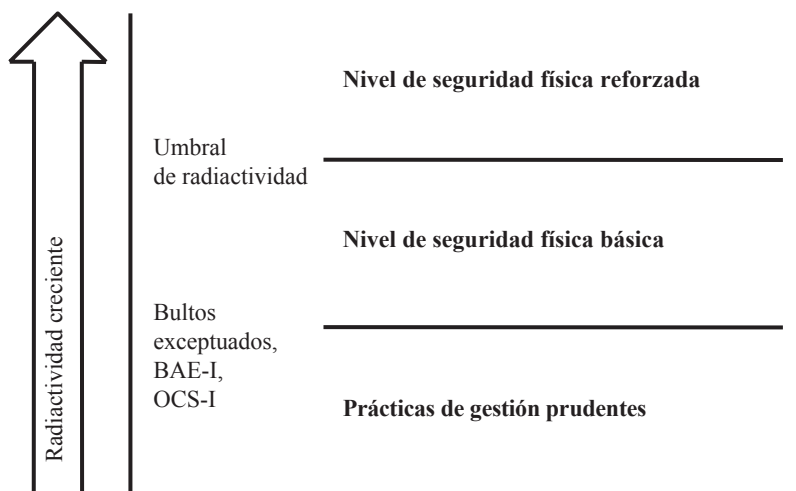
La distinción entre dos niveles de seguridad física en el transporte significa que debe usarse alguna medida cuantitativa (el criterio) para especificar el nivel de seguridad que se aplica a un bulto. A tal efecto se puede definir un umbral de actividad, puesto que las consecuencias potenciales del contenido de un bulto dependen de sus niveles de radionucleidos y de radiactividad. El establecimiento de un único nivel umbral de radiactividad también se corresponde con el enfoque del transporte de mercancías peligrosas adoptado en la Reglamentación Modelo. Este umbral es el criterio que permite distinguir entre los bultos de materiales radiactivos de alto riesgo (terminología de la Reglamentación Modelo) y otros bultos de esos materiales (hasta el nivel de radiactividad de los bultos exceptuados, los BAE-I y los OCS-I, que solo están sujetos a las medidas de seguridad física previstas en las prácticas de gestión prudente).

Con arreglo a este enfoque, en el transporte de bultos se definen tres niveles de seguridad física, según la importancia de las consecuencias potenciales:

- Prácticas de gestión prudente: se aplican a los bultos de materiales radiactivos exceptuados, cuyo contenido no sobrepasa el nivel de actividad permitido en materiales de forma no especial y en materiales radiactivos especificados como BAE-I y OCS-I. No se requiere la aplicación de disposiciones adicionales a las medidas de control previstas en la Normas básicas de seguridad [3] y en las prácticas de gestión normales.
- Nivel de seguridad física básica: se aplica a las remesas de bultos similares a otras mercancías peligrosas sujetas a las “disposiciones generales” de la Reglamentación Modelo relativas a la seguridad física de esas mercancías (bultos con niveles de radiactividad inferiores al umbral de radiactividad especificado).
- Nivel de seguridad física reforzada: se aplica a las remesas que abarcan al menos un bulto similar a las mercancías peligrosas de alto riesgo tal como se definen en la Reglamentación Modelo (un bulto cuyo nivel de radiactividad supera al umbral de radiactividad).
- Medidas de seguridad física adicionales: se trata de medidas cuya aplicación pueden estudiar los Estados en determinadas circunstancias.

En la figura 1 se indican los niveles de seguridad física en el transporte.





*Fig. 1. Niveles progresivos de seguridad física en el transporte.*

### A.3. DEFINICIÓN DEL UMBRAL DE RADIATIVIDAD

Para especificar cuáles bultos deben transportarse con medidas de seguridad física reforzada es preciso definir el umbral de radiactividad por encima del cual pasarían a ser materiales radiactivos de alto riesgo.

Se ha realizado una intensa labor de análisis y modelización para definir una fuente peligrosa (véase la publicación RS-G-1.9 [9]). Esta labor abarcó la determinación de escenarios de exposición y criterios de dosis utilizados para definir la cantidad de un radionucleido que representaría un peligro para una persona (el valor D). Entre estos escenarios también figura un escenario de dispersión que puede ser pertinente en relación con un acto doloso. Este escenario prevé la dispersión de una fuente, por ejemplo, a raíz de un incendio, una explosión (es decir, mediante un DDR) o una acción humana, que dé lugar a la exposición de una persona por inhalación, ingestión y/o contaminación de la piel [9]. Una fuente peligrosa se define como la que, de no estar controlada, podría causar efectos deterministas graves en la salud. Un efecto determinista en la salud es un efecto sanitario de la exposición a la radiación para el que existe, por lo general, un nivel umbral de dosis por encima del cual la gravedad del efecto aumenta al elevarse la dosis. Un efecto determinista grave es el que causa o puede causar la muerte o producir una lesión permanente que merme la calidad de vida de la persona. Las dosis necesarias para producir efectos deterministas graves son mucho mayores que las que causan efectos estocásticos (para las

cuales se supone que no existe un nivel umbral y la gravedad del efecto, por ejemplo, un cáncer, no aumenta cuando la dosis es mayor).

Puesto que la dispersión deliberada de materiales radiactivos en el medio ambiente entraña las mayores posibilidades de causar amplias consecuencias sanitarias, sociales y económicas a largo plazo (ya que requiere la aplicación de medidas de realojamiento temporal o permanente, restauración, etc.) ese escenario se ha elegido como base del modelo.

Para formular cuantitativamente el escenario de dispersión se necesita una medida de los efectos de un suceso de ese tipo. Puesto que es improbable que un DDR cause de inmediato muertes o bajas masivas por exposición a la radiación, este efecto no puede ser una medida apropiada de las consecuencias. Tampoco pueden serlo los efectos en la salud a largo plazo, ya que resultarían mitigados por medidas protectoras y reparadoras que pueden variar considerablemente. Un DDR es básicamente un “arma de denegación”, porque puede requerir la evacuación y el realojamiento temporal o permanente de las personas de la zona afectada. Para medir la eficacia de un DDR podría tomarse como base el alcance de las medidas de denegación de uso que podría ser preciso aplicar en dicha zona. El dispositivo será eficaz si la población debe ser realojada temporal o permanentemente fuera de la zona, en particular si es preciso realojarla permanentemente o por un período prolongado hasta que se complete la restauración. Por consiguiente, el modelo podría basarse en esta medición de las consecuencias potenciales.

#### A.4. PARÁMETROS PARA UN ESCENARIO RELACIONADO CON UN DDR

Para evaluar las consecuencias radiológicas potenciales del uso de un DDR es preciso tener en cuenta diversos procesos inherentes a la dispersión de los materiales radiactivos. Una consideración fundamental se refiere a la cantidad de materiales radiactivos dispersados en el medio ambiente. Este parámetro se puede caracterizar por la fracción de emisión transportada por el aire (cantidad de materiales dispersados) y la fracción de emisión respirable. La fracción de emisión respirable (FER) es la fracción de materiales emitida en forma de partículas suficientemente pequeñas para ser inhaladas (normalmente, de menos de  $50 \mu\text{m}$ ). Las partículas de este orden de magnitud revisten especial interés porque en el caso de algunos radionucleidos la inhalación puede ser una importante vía de exposición. Estas partículas pueden ser transportadas en un penacho y dar lugar a su inhalación por las personas, su deposición en el suelo y en otras superficies, y su resuspensión y posterior inhalación.

En una reunión de consultores del OIEA se indicó una FER de aproximadamente  $10^{-5}$  en casos de incidente doloso relacionados con ataques

contra contenedores de combustible gastado mediante dispositivos de alta densidad de energía. Se consideró que esta era una aproximación razonable en el caso de ataques a distancia (mediante armas perforantes propulsadas por cohetes o dispositivos similares contra los que no resulta fácil defenderse) contra bultos del tipo B fuertemente blindados. Si bien en el caso de bultos más pequeños y menos sólidos se emitiría una mayor cantidad del contenido, la fracción de material radiactivo emitido a raíz de un acto de sabotaje sería menor que la que podría resultar de un acto de dispersión contra los propios materiales.

Diversas investigaciones (NUREG/CR-0743 [23], Lange et al. 1994 [24]) han mostrado que la fragmentación explosiva de materiales radiactivos en forma sólida puede provocar FER de un amplio orden de magnitud ( $10^{-1}$  a  $10^{-3}$ ). Un suceso de este tipo también puede dar lugar a la distribución de aproximadamente  $10^2$  a  $10^4$  fragmentos sólidos sobre una superficie aproximada de  $1 \text{ km}^2$ . En tales casos, la limpieza de los materiales fragmentados puede requerir menos trabajo y tiempo que la de las partículas más fragmentadas.

Teniendo en cuenta el rango de las posibles emisiones transportadas por el aire y de las FER, se seleccionó un factor de emisión del 10 % para su utilización en un modelo de los efectos potenciales de un DDR. Este valor representa una estimación conservadora de la fracción de emisión que podría dispersarse ampliamente, teniendo en cuenta la gran variedad existente en el tipo y la naturaleza de los materiales radiactivos transportados en el espacio público. Para la mayoría de los materiales dispersables, una FER del 10 % sería una estimación conservadora [25 y 26]. Se supone que todos los materiales emitidos son respirables, de manera que la FER es la misma que el factor de emisión.

## A.5. MÉTODO DE MODELIZACIÓN

Hay varias maneras de elaborar un modelo de la dispersión de materiales radiactivos por el aire. A continuación se señalan las ventajas y desventajas de los dos métodos más utilizados:

- Modelo planar de distribución uniforme: con los parámetros adecuados este método produce resultados conservadores, es fácil de entender y fiable.
- Modelo de dispersión: este método permite elaborar un modelo más cercano a la distribución real de la contaminación después de una emisión, pero depende de diversos supuestos acerca de las condiciones reinantes en el momento de la emisión (meteorología, topografía, intensidad de la onda expansiva, etc.).

El modelo planar de distribución uniforme se ha utilizado en muchas aplicaciones de apoyo a la planificación y adopción de decisiones para casos de emergencia. En consecuencia, ese modelo se seleccionó para examinar los posibles efectos de un DDR. Al partir del supuesto de una distribución uniforme en una superficie determinada, este modelo es conservador en el sentido de que no se apoya en predicciones sobre la manera en que se produce la dispersión de los materiales. Las comparaciones de los resultados del modelo planar conservador de distribución uniforme con modelos contemporáneos de dispersión de materiales transportados por el aire (p. ej., los modelos HOTSPOT y HPAC) confirman que se trata de un modelo conservador (es decir, sobrestima las consecuencias), pero produce resultados aceptables.

## A.6. MODELO RADIOLÓGICO

Se elaboró un modelo para evaluar los efectos de los materiales radiactivos cuya dispersión en una zona amplia conduce a una distribución uniforme en dicha zona.

En las directrices relativas a la limpieza de la contaminación de tierras se establecen criterios para determinar cuándo hay que intervenir después de un incidente radiológico. En las orientaciones sobre preparación para emergencias, como las que figuran en la Ref. [27], *Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions During a Reactor Accident*, se definen criterios para decidir cuándo es preciso realojar temporal o permanentemente a la población fuera de la zona contaminada a raíz de un incidente. Estos criterios para el realojamiento temporal o permanente son idóneos para determinar si una DDR ha contaminado una zona en una medida que requiera la evacuación de las personas (es decir, la denegación de uso de esa zona). Teniendo en cuenta su aceptación internacional [28], se seleccionó el criterio de dosis ICRP 82 para el realojamiento permanente, fijado en 1 000 mSv en toda la vida. Este valor proporciona una medida fiable de la gravedad de un incidente relacionado con un DDR, ya que indica cuándo podría denegarse el uso de una zona.

Para el modelo planar de dispersión uniforme que se elaboró es preciso especificar diversos parámetros. Se adoptaron de la Ref. [27] varios parámetros basados en aplicaciones que el OIEA había elaborado anteriormente para evaluar las condiciones en emergencias posteriores a accidentes radiológicos. Estos parámetros abarcan un factor de ocupación y un factor de blindaje de edificios correspondiente al tiempo de permanencia en el interior. Si se aplican los factores  $CF_4$  (procedimiento F2, cuadro F5) de la Ref. [27], los factores de conversión de la dosis a largo plazo correspondiente a la deposición, es posible calcular los niveles de radiactividad que, debido a la amplitud de la dispersión, generan una

dosis que satisface el criterio de dosis para el realojamiento permanente (es decir, los umbrales de radiactividad).

Para el tamaño de la zona contaminada se utiliza un valor de 1 km<sup>2</sup>, lo que corresponde a una típica zona urbana con unos 10 000 habitantes. Esta zona de referencia de 1 km<sup>2</sup> representa una estimación conservadora en comparación con el tamaño de la zona contaminada indicada en las predicciones de modelos de emisión y distribución por el aire sofisticados.

Con estos supuestos iniciales:

Zona:	1 km <sup>2</sup>
Factor de emisión:	0,1
Factor de blindaje:	0,16
Factor de ocupación:	0,6

se formuló la ecuación siguiente para elaborar un modelo de la actividad que requiere la aplicación de medidas de realojamiento permanente de la población fuera de una zona de 1 km<sup>2</sup>:

$$A = \frac{D \times \text{area}}{CF_4 \times RF} \left[ \frac{1}{(OF \times SF) + (1 - OF)} \right] \times \frac{1 \text{ TBq}}{10^9 \text{ kBq}} \quad (1)$$

donde

$A$  es la actividad (TBq);

$D$  es el valor de dosis en toda la vida del ICRP (1 000 mSv);

$CF_4$  es el factor de conversión de la dosis a largo plazo correspondiente a la deposición  $\left( \frac{\text{mSv} \cdot \text{m}^2}{\text{kBq}} \right)$ ;

Area es la superficie abarcada (10<sup>6</sup> m<sup>2</sup>);

$OF$  es el factor de ocupación (0,6);

$SF$  es el factor de blindaje (0,16);

$RF$  es el factor de emisión (0,1).

Los parámetros que se tienen en cuenta automáticamente al utilizar los factores  $CF_4$  de la Ref. [27] son:

- el decaimiento radiactivo;
- la alteración por exposición a la intemperie;
- la rugosidad de la superficie;
- la irradiación del suelo;
- la inhalación debida a la resuspensión (con un factor de resuspensión de 10<sup>-6</sup>).

## A.7. RESULTADOS DEL MODELO RADIOLÓGICO

Mediante una hoja de cálculo que contenía la ecuación (1) y los parámetros descritos *supra* se calculó la actividad necesaria para satisfacer los criterios de dosis correspondientes a diversos radionucleidos. Estos valores de actividad se compararon con los valores D y los valores A descritos anteriormente.

Teniendo presente que los Estados Miembros están aplicando el Código de Conducta, se examinó el enfoque contenido en este a fin de determinar su posible utilización para fijar los umbrales de actividad correspondientes a los radionucleidos considerados en el Código. Se comprobó la existencia de una correlación razonable con 1000 D para los emisores beta/gamma y 10 D para los emisores alfa. Puesto que una fuente radiactiva que contiene 10 D es 10 veces más peligrosa que la “fuente peligrosa” de referencia y puede causar efectos deterministas graves, se decidió que podía usarse un valor de 10 D para especificar el nivel de seguridad física reforzada en el transporte para radionucleidos considerados en el Código.

En el caso de los radionucleidos no considerados en el Código de Conducta se necesita aplicar otro enfoque para especificar el umbral de actividad. Se expresó sumo interés en que la determinación del umbral de radiactividad se basara en los valores A utilizados tradicionalmente para garantizar la seguridad física en el transporte. Estos valores se calculan mediante el “sistema Q”, incorporado desde hace más de 30 años al Reglamento de Transporte (véase la Ref. [28]).

Los valores  $A_1$  se calculan para materiales radiactivos de forma especial (no dispersables) y los valores  $A_2$  para los de “forma no especial”. Aun cuando los valores A no se basan en escenarios de exposición que sean apropiados para representar las consecuencias potenciales de un DDR (su cálculo se basa en escenarios de accidentes de transporte), son valores que se utilizan ampliamente en relación con el transporte de materiales radiactivos. En consecuencia, se consideró que para expresar el umbral de radiactividad convenía utilizar un múltiplo de los valores A. Si no se tienen en cuenta los radionucleidos considerados en el Código de Conducta, para los otros radionucleidos se comprobó que había una buena correlación con un valor de 3000  $A_2$  (puesto que el valor  $A_2$  de un radionucleido nunca es superior al valor  $A_1$ ). Por consiguiente, en el caso de los radionucleidos no considerados en el Código de Conducta, se puede utilizar un valor de 3000  $A_2$  para determinar los bultos cuyo transporte requiere la aplicación de medidas de seguridad física reforzada. Esto no significa que el valor 3000  $A_2$  indique el mismo riesgo de causar efectos deterministas graves en la salud que el valor 10 D. En el caso de algunos radionucleidos, el valor 3000  $A_2$  es 1000 o más veces superior a la cantidad de un radionucleido (valor D) que, si no está bajo control, podría causar efectos deterministas graves en la salud de una persona.

## A.8. MEZCLAS DE RADIONUCLEIDOS

En el caso de las mezclas de radionucleidos, a fin de determinar si se ha alcanzado o superado el umbral de radiactividad establecido para garantizar la seguridad física en el transporte pueden sumarse las proporciones de actividad presentes en cada radionucleido y dividir las por el umbral de seguridad física en el transporte correspondiente a ese radionucleido. Una suma de las fracciones inferior a 1 indica que no se ha superado el umbral de radiactividad correspondiente a la mezcla (véase la ecuación (2)):

$$\sum_i \frac{A_i}{T_i} < 1 \quad (2)$$

donde

$A_i$  es la actividad del radionucleido  $i$  presente en un bulto (TBq);

$T_i$  es el umbral de seguridad física en el transporte del radionucleido  $i$  (TBq).

## A.9. ESPECIFICACIÓN DEL UMBRAL DE SEGURIDAD FÍSICA EN EL TRANSPORTE

Para facilitar la aplicación de medidas de seguridad física en el transporte se utiliza la siguiente definición de materiales radiactivos “de alto riesgo”: 3 000  $A_2$  en un solo bulto, salvo en el caso de los radionucleidos que se indican a continuación:

Radionucleido	Umbral de seguridad física en el transporte (TBq)
Am-241	0,6
Au-198	2
Cd-109	200
Cf-252	0,2
Cm-244	0,5
Co-57	7
Co-60	0,3
Cs-137	1
.....	

Radionucleido	Umbral de seguridad física en el transporte (TBq)
Fe-55	8000
Ge-68	7
Gd-153	10
Ir-192	0,8
Ni-63	600
Pd-103	900
Pm-147	400
Po-210	0,6
Pu-238	0,6
Pu-239	0,6
Ra-226	0,4
Ru-106	3
Se-75	2
Sr-90	10
Tl-204	200
Tm-170	200
Yb-169	3



## REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Edición de 2005 (Corregida), Colección de Normas de Seguridad del OIEA No TS-R-1, OIEA, Viena (2010).
- [2] COMUNIDAD EUROPEA DE LA ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No SF-1, OIEA, Viena (2007).
- [3] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación, Colección Seguridad No 115, OIEA, Viena (1997).
- [4] COMITÉ DE EXPERTOS DE LAS NACIONES UNIDAS EN TRANSPORTE DE MERCADERÍAS PELIGROSAS, Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas: Reglamentación Modelo, ST/SG/AC.10/1/Rev.14, Naciones Unidas, Nueva York (2005).
- [5] Convención sobre la protección física de los materiales nucleares, INFCIRC/274/Rev.1, OIEA, Viena (1980).
- [6] Convención sobre la protección física de los materiales nucleares, INFCIRC/274/Rev.1, OIEA, Viena (Enmienda de 2005, en curso de ratificación).
- [7] Protección física de los materiales y las instalaciones nucleares, INFCIRC/225/Rev.4, OIEA, Viena (1999).
- [8] Código de Conducta sobre seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, OIEA, Viena (2004).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clasificación de las fuentes radiactivas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No RS-G-1.9, OIEA, Viena (2009).
- [10] Objetivos y principios fundamentales en materia de protección física, GOV/2001/41, OIEA, Viena (2001).
- [11] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, OIEA, Viena (2012).
- [12] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA – Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica, Edición de 2007, OIEA, Viena (2008).

- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Culture, IAEA Nuclear Security Series No. 7, IAEA, Vienna (2008).
- [14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Design Basis Threat, IAEA Nuclear Security Series (in preparation).
- [15] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Preparación y respuesta a situaciones de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA No GS-R-2, OIEA, Viena (2004).
- [16] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure, -Publication 82, Pergamon Press, Oxford and New York (1999).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Planificación y preparación de la respuesta a emergencias debidas a accidentes de transporte en los que intervengan materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad N° TS-G-1.2, OIEA, Viena (2002).
- [18] ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Convenio sobre la Aviación Civil Internacional, Doc. 7300/9, OACI, Montreal (2006) – Corrigendo de 26 de noviembre de 2007.
- [19] ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, Instrucciones Técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea, Doc. 9284-AN/905, Edición 2007-2008, Anexos 17 y 18, OACI, Montreal (2007).
- [20] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Ship and Port Facility Security Code, IMO, London (2004).
- [21] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, International Maritime Dangerous Goods Code, IMO, London (2007).
- [22] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, SOLAS: The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS-74, amended), IMO, London (1989).
- [23] FINLEY, N.C., et al., Transportation of Radionuclides in Urban Environs: Draft Environmental Assessment, SAND79-0369, NUREG/CR-0743, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM (1980).
- [24] LANGE, F., et al., “Experimental determination of UO<sub>2</sub>-release from a spent fuel transport cask after shaped charge attack”, Proc. 35th Ann. Mtg Naples, FL, 1994, Institute of Nuclear Material Management, Northbrook, IL (2001) 408–413.
- [25] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Regulatory Analysis on Emergency Preparedness for Fuel Cycle and Other Radioactive Materials -Licensees: US Nuclear Power Plants, NUREG-1140, US Govt Printing Office, Washington, DC (1988).
- [26] UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Non-reactor Nuclear Facilities, DOE-HDBK-3010-94, DOE-HP, Washington, DC (1994).

- [27] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Generic Assessment Procedures for Determining Protective Actions during a Reactor Accident, IAEA-TECDOC-955, IAEA, Vienna (1997).
- [28] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Advisory Material for the IAEA Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. TS-G-1.1, IAEA, Vienna (2002).

La publicación Colección de Seguridad Física Nuclear No 9 (Rev. 1) sustituye a la presente publicación.



**IAEA**

International Atomic Energy Agency

No. 22

## Where to order IAEA publications

In the following countries IAEA publications may be purchased from the sources listed below, or from major local booksellers. Payment may be made in local currency or with UNESCO coupons.

### AUSTRALIA

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132  
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Email: service@dadirect.com.au • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

### BELGIUM

Jean de Lannoy, avenue du Roi 202, B-1190 Brussels  
Telephone: +32 2 538 43 08 • Fax: +32 2 538 08 41  
Email: jean.de.lannoy@infoboard.be • Web site: <http://www.jean-de-lannoy.be>

### CANADA

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd, Suite 200, Lanham, MD 20706-4346, USA  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: customercare@bernan.com • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 1-5369 Canotek Rd., Ottawa, Ontario, K1J 9J3  
Telephone: +613 745 2665 • Fax: +613 745 7660  
Email: order.dept@renoufbooks.com • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

### CHINA

IAEA Publications in Chinese: China Nuclear Energy Industry Corporation, Translation Section, P.O. Box 2103, Beijing

### CZECH REPUBLIC

Suweco CZ, S.R.O., Klecakova 347, 180 21 Praha 9  
Telephone: +420 26603 5364 • Fax: +420 28482 1646  
Email: nakup@suweco.cz • Web site: <http://www.suweco.cz>

### FINLAND

Akateeminen Kirjakauppa, PO BOX 128 (Keskuskatu 1), FIN-00101 Helsinki  
Telephone: +358 9 121 41 • Fax: +358 9 121 4450  
Email: akatilaus@akateeminen.com • Web site: <http://www.akateeminen.com>

### FRANCE

Form-Edit, 5, rue Janssen, P.O. Box 25, F-75921 Paris Cedex 19  
Telephone: +33 1 42 01 49 49 • Fax: +33 1 42 01 90 90  
Email: formedit@formedit.fr • Web site: <http://www.formedit.fr>

Lavoisier SAS, 145 rue de Provigny, 94236 Cachan Cedex  
Telephone: + 33 1 47 40 67 02 • Fax +33 1 47 40 67 02  
Email: romuald.verrier@lavoisier.fr • Web site: <http://www.lavoisier.fr>

### GERMANY

UNO-Verlag, Vertriebs- und Verlags GmbH, Am Hofgarten 10, D-53113 Bonn  
Telephone: + 49 228 94 90 20 • Fax: +49 228 94 90 20 or +49 228 94 90 222  
Email: bestellung@uno-verlag.de • Web site: <http://www.uno-verlag.de>

### HUNGARY

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

### INDIA

Allied Publishers Group, 1st Floor, Dubash House, 15, J. N. Heredia Marg, Ballard Estate, Mumbai 400 001,  
Telephone: +91 22 22617926/27 • Fax: +91 22 22617928  
Email: alliedpl@vsnl.com • Web site: <http://www.alliedpublishers.com>

Bookwell, 2/72, Nirankari Colony, Delhi 110009  
Telephone: +91 11 23268786, +91 11 23257264 • Fax: +91 11 23281315  
Email: bookwell@vsnl.net

### ITALY

Libreria Scientifica Dott. Lucio di Biasio "AEIOU", Via Coronelli 6, I-20146 Milan  
Telephone: +39 02 48 95 45 52 or 48 95 45 62 • Fax: +39 02 48 95 45 48  
Email: info@libreriaaeiou.eu • Website: [www.libreriaaeiou.eu](http://www.libreriaaeiou.eu)

## **JAPAN**

Maruzen Company Ltd, 1-9-18, Kaigan, Minato-ku, Tokyo, 105-0022  
Telephone: +81 3 6367 6079 • Fax: +81 3 6367 6207  
Email: journal@maruzen.co.jp • Web site: <http://www.maruzen.co.jp>

## **REPUBLIC OF KOREA**

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

## **NETHERLANDS**

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

Martinus Nijhoff International, Koraalrood 50, P.O. Box 1853, 2700 CZ Zoetermeer  
Telephone: +31 793 684 400 • Fax: +31 793 615 698  
Email: info@nijhoff.nl • Web site: <http://www.nijhoff.nl>

Swets and Zeitlinger b.v., P.O. Box 830, 2160 SZ Lisse  
Telephone: +31 252 435 111 • Fax: +31 252 415 888  
Email: info@swets.nl • Web site: <http://www.swets.nl>

## **NEW ZEALAND**

DA Information Services, 648 Whitehorse Road, MITCHAM 3132, Australia  
Telephone: +61 3 9210 7777 • Fax: +61 3 9210 7788  
Email: service@dadirect.com.au • Web site: <http://www.dadirect.com.au>

## **SLOVENIA**

Cankarjeva Zalozba d.d., Kopitarjeva 2, SI-1512 Ljubljana  
Telephone: +386 1 432 31 44 • Fax: +386 1 230 14 35  
Email: import.books@cankarjeva-z.si • Web site: <http://www.cankarjeva-z.si/uvoz>

## **SPAIN**

Díaz de Santos, S.A., c/ Juan Bravo, 3A, E-28006 Madrid  
Telephone: +34 91 781 94 80 • Fax: +34 91 575 55 63  
Email: compras@diazdesantos.es, carmela@diazdesantos.es, barcelona@diazdesantos.es, julio@diazdesantos.es  
Web site: <http://www.diazdesantos.es>

## **UNITED KINGDOM**

The Stationery Office Ltd, International Sales Agency, PO Box 29, Norwich, NR3 1 GN  
Telephone (orders): +44 870 600 5552 • (enquiries): +44 207 873 8372 • Fax: +44 207 873 8203  
Email (orders): book.orders@tso.co.uk • (enquiries): book.enquiries@tso.co.uk • Web site: <http://www.tso.co.uk>

### **On-line orders**

DELTA Int. Book Wholesalers Ltd., 39 Alexandra Road, Addlestone, Surrey, KT15 2PQ  
Email: info@profbooks.com • Web site: <http://www.profbooks.com>

### **Books on the Environment**

Earthprint Ltd., P.O. Box 119, Stevenage SG1 4TP  
Telephone: +44 1438748111 • Fax: +44 1438748844  
Email: orders@earthprint.com • Web site: <http://www.earthprint.com>

## **UNITED NATIONS**

Dept. I004, Room DC2-0853, First Avenue at 46th Street, New York, N.Y. 10017, USA  
(UN) Telephone: +800 253-9646 or +212 963-8302 • Fax: +212 963-3489  
Email: publications@un.org • Web site: <http://www.un.org>

## **UNITED STATES OF AMERICA**

Bernan Associates, 4501 Forbes Blvd., Suite 200, Lanham, MD 20706-4346  
Telephone: 1-800-865-3457 • Fax: 1-800-865-3450  
Email: customercare@bernan.com • Web site: <http://www.bernan.com>

Renouf Publishing Company Ltd., 812 Proctor Ave., Ogdensburg, NY, 13669  
Telephone: +888 551 7470 (toll-free) • Fax: +888 568 8546 (toll-free)  
Email: order.dept@renoufbooks.com • Web site: <http://www.renoufbooks.com>

**Orders and requests for information may also be addressed directly to:**

### **Marketing and Sales Unit, International Atomic Energy Agency**

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria  
Telephone: +43 1 2600 22529 (or 22530) • Fax: +43 1 2600 29302  
Email: sales.publications@iaea.org • Web site: <http://www.iaea.org/books>

El objetivo de esta guía es impartir orientación a los Estados para el establecimiento, mantenimiento o mejoramiento de un régimen de seguridad física nuclear de protección de los materiales radiactivos (comprendidos los materiales nucleares) durante su transporte contra el robo, el sabotaje u otros actos dolosos que, de lograrse, podrían tener consecuencias radiológicas inaceptables. Desde el punto de vista de la seguridad física, se define un umbral para determinar qué bultos o tipos de materiales radiactivos es necesario proteger más allá de las prácticas de gestión prudente. A fin de reducir al mínimo la probabilidad de robo o sabotaje de materiales radiactivos durante su transporte es necesario aplicar una combinación de medidas tanto para impedir, detectar y demorar tales actos como para responder a ellos. Estas medidas se complementan con otras destinadas a recuperar los materiales robados y atenuar las posibles consecuencias, a fin de reducir aún más los riesgos.

**ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA  
VIENA**

**ISBN 978-92-0-344410-1**

**ISSN 1816-9317**