

Detección de materiales radiactivos en las fronteras

*Patrocinado conjuntamente por el OIEA, la OMA,
la EUROPOL y la INTERPOL*



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

OIEA

Mayo de 2004

Esta publicación proviene de la siguiente sección del OIEA:

Sección de Seguridad Radiológica
Organismo Internacional de Energía Atómica
Wagramer Strasse 5
P.O. Box 100
A-1400 Viena (Austria)

DETECCIÓN DE MATERIALES RADIATIVOS EN LAS FRONTERAS
OIEA, VIENA, 2004
IAEA-TECDOC-1312/S
ISBN 92-0-306304-8
ISSN 1011-4289

© OIEA, 2004

Impreso por el OIEA en Austria
Mayo de 2004

PREFACIO

Tal como está prescrito en los acuerdos internacionales, el desplazamiento de todos los materiales radiactivos dentro y entre los Estados debería estar sometido a estrictos controles reglamentarios, administrativos, de seguridad y técnicos para garantizar que se lleven a cabo en condiciones de seguridad tecnológica y física. En el caso de los materiales nucleares, existen otros requisitos de protección física y responsabilidad civil que tienen por objeto contrarrestar las amenazas de proliferación nuclear y servir de garantía contra cualquier intento de desviación.

Los resultados de los ataques terroristas de septiembre de 2001 pusieron de relieve la necesidad de aumentar el control y la seguridad física de los materiales nucleares y radiactivos. A este respecto, se están adoptando medidas para elevar los niveles mundiales de protección y seguridad físicas de los materiales nucleares. De igual manera, se están realizando esfuerzos para fomentar la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas que predominan en muchas industrias e instalaciones de atención sanitaria. De ello se desprende que la detección de materiales radiactivos (materiales nucleares y fuentes radiactivas) en las fronteras es un componente esencial de una estrategia global destinada a asegurar que esos materiales no caigan en manos de grupos terroristas y de las organizaciones delictivas que los suministrarían. Los envíos de materiales radiactivos merecen la atención de los organismos de represión y los órganos reguladores para garantizar la legalidad y prevenir la desviación y el tráfico ilícito.

La experiencia en muchas regiones del mundo demuestra que se siguen produciendo desplazamientos de materiales radiactivos fuera del marco reglamentario y jurídico. Tales desplazamientos pueden ser deliberados o involuntarios. Los desplazamientos deliberados e ilegales de materiales radiactivos, incluidos materiales nucleares, para fines terroristas, políticos o ilícitos se interpretan en general como actos de tráfico ilícito. Los desplazamientos más comunes realizados fuera del control reglamentario son involuntarios. Ejemplo de un desplazamiento involuntario podría ser el transporte de acero contaminado por una fuente radiactiva fundida que hubiera escapado a los controles necesarios. Ese envío podría plantear amenazas para la salud y la seguridad del personal afectado, así como del público en general.

Los Estados tienen la responsabilidad de combatir el tráfico ilícito y los desplazamientos involuntarios de materiales radiactivos. El OIEA coopera con los Estados Miembros y otras organizaciones internacionales en esfuerzos conjuntos destinados a prevenir incidentes de tráfico ilícito y desplazamientos involuntarios, y a armonizar las políticas y medidas prestando el asesoramiento pertinente mediante actividades de asistencia técnica y documentos. Por ejemplo, el OIEA y la Organización Mundial de Aduanas (OMA) siguen aplicando las disposiciones estipuladas en un memorando de entendimiento (MOU) (1998) para promover la cooperación a escala internacional con objeto de aumentar el control de los materiales radiactivos. En los momentos en que se redactaba este informe se mantenía pendiente la concertación de un MOU similar entre el OIEA y la Organización Internacional de Policía Criminal (INTERPOL).

Hay varias medidas que deben adoptar los Estados para combatir el tráfico ilícito y los desplazamientos involuntarios de materiales radiactivos. Estas medidas las comparten, en general, los órganos reguladores y los organismos de represión como parte de las disposiciones nacionales de un Estado. Una de esas medidas es el tema del presente documento técnico (TECDOC), a saber, la detección de materiales radiactivos en las

fronteras. Si bien para que la detección sea eficaz se precisan muchos componentes de estrategias de reglamentación y de represión, esta publicación se centra principalmente en la detección de radiaciones y, en particular, en los instrumentos necesarios para ello. El propósito de la publicación es prestar asistencia a las organizaciones de los Estados Miembros a los fines de la detección eficaz de los materiales radiactivos que pasen por sus fronteras, ya sea en importaciones, exportaciones o envíos en tránsito.

Este es el segundo número de una serie de tres documentos TECDOC relacionados con el desplazamiento involuntario y el tráfico ilícito de materiales radiactivos, que han sido copatrocinados por la OMA, la EUROPOL y la INTERPOL. El primero se titula “Prevención del desplazamiento involuntario y el tráfico ilícito de materiales radiactivos” (IAEA-TECDOC-1311/S), y el tercero “Respuesta a sucesos relacionados con el desplazamiento involuntario o el tráfico ilícito de materiales radiactivos”(IAEA-TECDOC-1313/S). El oficial del OIEA encargado de estas publicaciones fue B. Dodd, de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos.

NOTA EDITORIAL

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

La mención de nombres de empresas específicas o de sus productos (estén o no indicados como registrados) no implica ninguna intención de infringir los derechos de propiedad, ni debe entenderse como un reconocimiento o recomendación por parte del OIEA.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Tráfico ilícito	1
1.2.	Antecedentes	2
1.3.	Incidencia del tráfico ilícito y el desplazamiento involuntario de materiales radiactivos	3
1.4.	Ámbito	4
1.5.	Objetivo	4
2.	EL PROCESO DE DETECCIÓN	4
3.	EVALUACIÓN ESTRATÉGICA DE LA NECESIDAD DE VIGILAR LAS FRONTERAS	5
4.	SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS	6
4.1.	Introducción	6
4.2.	Tipos de instrumentos	7
4.3.	Finalidad de los instrumentos	7
4.3.1.	Detección	7
4.3.2.	Verificación	8
4.3.3.	Evaluación y localización	8
4.3.4.	Individualización	8
4.3.5.	Orientaciones acerca de los instrumentos	9
4.4.	Instrumentos de bolsillo	9
4.4.1.	Aplicación	9
4.4.2.	Características generales	9
4.4.3.	Funcionamiento, calibración y prueba	10
4.4.4.	Recomendaciones mínimas de funcionamiento	10
4.5.	Instrumentos manuales	11
4.5.1.	Aplicación	11
4.5.2.	Funcionamiento, calibración y prueba	12
4.5.3.	Recomendaciones mínimas de funcionamiento	12
4.6.	Instrumentos fijos e instalados	13
4.6.1.	Aplicación	13
4.6.2.	Instalación y funcionamiento, calibración y prueba	14
4.6.3.	Recomendaciones mínimas de funcionamiento	15
5.	NIVELES DE INVESTIGACIÓN Y AJUSTE DE LAS ALARMAS DE LOS INSTRUMENTOS	16

5.1.	Nivel nominal de investigación en relación con el ajuste de las alarmas de los instrumentos	16
5.2.	Determinación del umbral de alarma de un instrumento	17
6.	VERIFICACIÓN DE ALARMAS.....	19
6.1.	Tipos de alarma.....	19
6.1.1.	Alarmas falsas	19
6.1.2.	Alarmas inocentes	19
6.1.3.	Alarmas reales	20
6.2.	Verificación de las alarmas por medio de la vigilancia	20
6.2.1.	Instrumentos de bolsillo y manuales	20
6.2.2.	Vigilancia de peatones y de su equipaje.....	20
6.2.3.	Inspección de vehículos.....	21
7.	CONDICIONES RADIOLÓGICAS Y NIVELES DE RESPUESTA.....	21
8.	LOCALIZACIÓN DE MATERIALES RADIATIVOS.....	22
8.1.	Preparación de la búsqueda general.....	22
8.2.	Registro de peatones	23
8.3.	Registro de bultos y cargas	23
8.4.	Registro de vehículos de motor	24
8.4.1.	Registro del personal y sus pertenencias.....	24
8.4.2.	Registro de la zona del capó.....	24
8.4.3.	Registro del maletero y del interior del vehículo	24
8.4.4.	Examen de la parte externa del vehículo.....	25
8.4.5.	Camas de Camión	25
8.4.6.	Camiones de gran tamaño	25
9.	EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES RADIATIVOS ENCONTRADOS.....	25
9.1.	Aspectos generales.....	25
9.2.	Dispositivos para individualizar los radionucleidos	26
9.3.	Características del trabajo asociado a la determinación de los radionucleidos.....	26
9.3.1.	Radionucleidos de interés.....	26
9.3.2.	Ensayos.....	27
9.4.	Aspectos prácticos que deben tenerse en cuenta al seleccionar un instrumento	27
ANEXO I MATERIALES RADIATIVOS Y RADIONUCLEIDOS DE INTERÉS		29

ANEXO II. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CONDUCENTE A LA DETECCIÓN DE CASOS DE DESPLAZAMIENTO INVOLUNTARIO O TRÁFICO ILÍCITO	32
REFERENCIAS	33
GLOSARIO.....	35
COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN.....	37

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Tráfico ilícito

La definición del glosario del OIEA en el momento de elaborarse el presente documento es la siguiente: “Por tráfico ilícito se entiende un acto que consista en recibir, poseer, utilizar, transferir o evacuar materiales radiactivos sin autorización.” Esta definición es mucho más amplia que la manera en que interpretan este término la policía, la aduana y otros organismos de represión. En vista de esto, y de los distintos intereses profesionales de los tres copatrocinadores de este TECDOC, es importante ampliar algo el concepto de tráfico ilícito para asegurar su correcta aplicación.

En el contexto del presente TECDOC, no debe interpretarse que el término abarque todos los sucesos no autorizados relacionados con materiales radiactivos, independientemente de su tipo y causa, ya que la mayoría de éstos quizás no sean más que delitos administrativos y asuntos de la competencia de la autoridad nacional nuclear o de la autoridad reguladora en la esfera radiológica, y no del organismo de represión.

Los intereses de las autoridades copatrocinadoras comprenden las actividades delictivas (como la infracción de la legislación nacional o el derecho internacional) y esta dimensión es la que subyace en la finalidad de esta definición, de este TECDOC y de sus documentos complementarios [1, 2].

Entre las actividades delictivas que se examinan se cuentan las siguientes:

- actividades subversivas, como infracción de los controles de proliferación (en la medida en que son subversivas para la voluntad internacional);
- otros actos dolosos reales o potenciales destinados a causar daños a las personas o el medio ambiente;
- lucro ilegal, como las ganancias derivadas de la venta de materiales radiactivos;
- evasión del pago de los costos de disposición final prescritos, o de los impuestos correspondientes;
- violación de reglamentos de transporte.

Según la experiencia de algunos Estados Miembros, muchos casos en que se ha demostrado que se han pasado ilegalmente materiales radiactivos a través de las fronteras internacionales se han debido a desplazamientos involuntarios y no a verdaderos propósitos delictivos. Ejemplo de ello es cuando los materiales radiactivos se han pasado a través de las fronteras internacionales mezclados con chatarra [3, 4]. Por este motivo, en este examen podría ser útil incluir los casos en que la pérdida de control ha ocurrido involuntariamente y el material se encuentra en otro país. En realidad, sólo después que se han descubierto e investigado esos casos es que pueden distinguirse de los que han tenido claras intenciones delictivas. Los problemas de la seguridad radiológica, y los daños a las personas, los bienes y el medio ambiente son idénticos en ambas categorías de incidentes.

Para resumir, en este TECDOC se utiliza la expresión “tráfico ilícito” como sinónimo de todo desplazamiento premeditado no autorizado o comercio (particularmente internacional) de materiales radiactivos (incluidos materiales nucleares) con propósitos delictivos. Este empleo de la expresión es compatible con el que aplica la policía, la aduana y otros organismos de

represión que participan en la lucha contra el tráfico ilícito de armas de fuego, personas, vehículos automotores y drogas.

1.2. Antecedentes

Cabe señalar que, dado que los materiales nucleares son también radiactivos, en esta publicación la expresión “materiales radiactivos” incluye los materiales nucleares. “Materiales radiactivos” se utiliza simplemente para evitar el uso repetitivo de la frase “materiales nucleares y otros materiales radiactivos”. Se reconoce que los materiales nucleares serán de interés primordial desde el punto de vista del tráfico ilícito.

Los materiales radiactivos se utilizan en todo el mundo para una amplia diversidad de fines beneficiosos en la industria, la medicina, las investigaciones, la defensa y la educación. Los riesgos radiológicos asociados a tales usos deben limitarse y ser contrarrestados con medidas de seguridad radiológica apropiadas. Asimismo, los riesgos de proliferación asociados al uso de materiales nucleares también deben estar controlados y gestionados por medio de normas, acuerdos y convenciones.

Cabría esperar que los sistemas nacionales de reglamentación compatibles con las normas y orientaciones del OIEA [5-8] garantizaran el mantenimiento del control eficaz de los materiales radiactivos. Esto es particularmente válido para todos los Estados que han puesto en práctica el código de conducta [9] y que han puesto en vigor acuerdos de salvaguardias. Aun así, el control puede perderse por varias razones. Por ejemplo, es posible que un usuario de materiales radiactivos no aplique los procedimientos que exigen los reglamentos. La pérdida del control también puede obedecer a deficiencias de la propia infraestructura o a la falta de seguridad física. Además de negligencia, puede haber también una desviación deliberada de materiales radiactivos. Ello puede hacerse para evitar los costos de la disposición final de los desechos o con la idea de que los materiales tienen valor comercial o militar. Los terroristas también pueden tratar de adquirir materiales radiactivos. Debido a las cuestiones asociadas a la proliferación de las armas nucleares, y al terrorismo, causan preocupación especial a este respecto los materiales utilizados en los programas nucleoelectrónicos y de armas nucleares.

Algunos Estados Miembros han optado por colocar detectores de radiaciones en algunos de sus cruces de fronteras para tratar de detectar materiales radiactivos que se introducen en el país ilícitamente, así como para encontrar cualquier fuente huérfana¹ que se pueda estar transportando de forma involuntaria. Las cuestiones operacionales relativas al uso de instrumentos radiológicos con esos fines constituyen el tema del presente documento TECDOC. En los documentos TECDOC complementarios [1, 2] se aborda el tema de la prevención de los desplazamientos involuntarios y el tráfico ilícito de materiales radiactivos y las medidas de respuesta correspondientes.

El OIEA y el Gobierno austriaco patrocinaron conjuntamente un estudio piloto sobre los aspectos prácticos de los instrumentos de vigilancia en las fronteras. Este estudio se llamó Programa de evaluación para la detección de la radiación en el tráfico ilícito (ITRAP) [10], y se tuvieron en cuenta sus resultados en la redacción del presente documento TECDOC. En particular, el estudio sirvió para formular las características de funcionamiento de los

¹ Fuente huérfana: fuente que plantea suficiente riesgo radiológico para justificar su control reglamentario, pero que no está sometida al mismo, ya sea porque nunca lo ha estado, o porque ha sido abandonada, perdida, extraviada, robada o transferida sin la debida autorización.

instrumentos de vigilancia. Las que se presentan en este documento TECDOC se basan en el informe del ITRAP, si bien se han introducido algunos ajustes teniendo en cuenta las aportaciones de otros expertos. Estas características de funcionamiento deberían considerarse orientaciones únicamente, y *no deberían tomarse como requisitos o normas del OIEA*.

1.3. Incidencia del tráfico ilícito y el desplazamiento involuntario de materiales radiactivos

En 1995, el OIEA inició un programa de lucha contra el tráfico ilícito de materiales nucleares y otros materiales radiactivos que incluía la creación y el mantenimiento de una base de datos internacionales sobre incidentes de tráfico ilícito [11]. Debido a la amplitud de la definición original de tráfico ilícito, su denominación es Base de datos sobre tráfico ilícito (ITDB), aunque muchos de los incidentes que en ella se incluyen constituyen actos más de desplazamiento involuntario que de tráfico ilícito. En el momento en que se publicó el último informe completo (diciembre de 2001), la base de datos contenía 399 incidentes confirmados, que han sido notificados desde 1993. En el programa de la base de datos sobre tráfico ilícito participan 69 Estados Miembros. Cerca del 90% de los incidentes incluidos en la base de datos están asociados a fuentes radiactivas o a uranio poco enriquecido, natural y empobrecido. El resto está relacionado con plutonio y uranio muy enriquecido, y por lo general está vinculado a alguna forma de acto delictivo para eludir las salvaguardias de no proliferación, así como los requisitos de protección radiológica de gran alcance. Aproximadamente 19 de esos incidentes tienen que ver con cantidades importantes de materiales. Es probable que en el mundo ocurran más incidentes que los que se notifican en la base de datos del OIEA.

Un problema conexo cada vez más importante es el relacionado con el desplazamiento transfronterizo de chatarra. Actualmente se transporta por todo el mundo chatarra para su reciclaje, a menudo sin una mención clara de su origen. En ocasiones, esos envíos de chatarra han contenido materiales radiactivos y fuentes radiactivas selladas. En un estudio sobre este problema realizado en los Estados Unidos [12] se determinaron más de 2 300 casos en los que se registraron niveles de radiación anormales en envíos de metales para reciclar. Aproximadamente el 11% de esos casos guardaban relación con fuentes o dispositivos de radiación sellados. Si bien la mayor parte de los descubrimientos de radiactividad anormal se debieron a casos de contaminación en la superficie por materiales radiactivos naturales (NORM), otros materiales, fuentes huérfanas y dispositivos radiactivos plantean riesgo de exposición a las radiaciones para los trabajadores y el público. Asimismo, en unos 50 casos las instalaciones de reciclaje han fundido materiales radiactivos de forma involuntaria. Esos incidentes pueden dar lugar a la dispersión de materiales nucleares en un área extensa y tener consecuencias sociales y económicas graves, por ejemplo, costos de limpieza y disposición final muy elevados, pérdida de tiempo de producción y litigios.

Para evitar el reciclaje de metales contaminados, en los procesadores de chatarra y las instalaciones de fundición de metales de algunos países se han instalado sistemas de detección de radiaciones. Si bien el equipo utilizado tiene algunas similitudes, las condiciones de medición en los cruces de fronteras son bastante distintas de las existentes en parques de chatarra y plantas de producción de metales. En las fronteras, el gran volumen de tráfico hace que el tiempo de detección y respuesta inicial se limite a unos pocos segundos y que sea poco práctico realizar varias comprobaciones del mismo vehículo. Por otra parte, los servicios de vigilancia de fronteras no sólo deben ocuparse de los vehículos de transporte de carga por carretera y ferrocarril, sino también de los vehículos de pasajeros y los peatones. Además,

para detectar el tráfico ilícito de materiales nucleares en las fronteras también es necesario proceder a la medición de neutrones, mientras que en general esto no se considera necesario en los parques de chatarra y las plantas metalúrgicas.

1.4. Ámbito

Para la aduana, la policía y otros organismos de represión, el término detección tiene una connotación mucho más amplia que para los servicios que se ocupan de la seguridad radiológica. Para los primeros, la detección comprende actividades como las relacionadas con la información secreta, la evaluación de riesgos, el decomiso y la investigación, mientras que para los últimos, la detección normalmente se limita al uso de un instrumento o dispositivo para determinar la presencia de radiaciones y su nivel. En el presente informe sólo se tratan los aspectos relacionados con la detección de radiaciones y la cuestión de la detección de materiales radiactivos que puedan estar siendo objeto de tráfico ilícito o de desplazamiento involuntario. Así pues, las capacidades y los métodos de detección sólo se explican a grandes rasgos. Por otra parte, el término fronteras, que aparece en repetidas ocasiones, no se utiliza sólo para designar las fronteras terrestres internacionales, sino también los puertos marítimos, aeropuertos y lugares similares de entrada y salida de bienes y personas.

No se examina la cuestión de la detección de materiales radiactivos en las instalaciones de reciclaje, aunque se reconoce que se llevan a cabo desplazamientos transfronterizos de metales para su reciclaje y que la vigilancia de esos metales puede realizarse en las fronteras de un Estado o en una planta de reciclaje.

Tampoco se examina el envío transfronterizo autorizado de materiales radiactivos. Esta actividad se rige por normas y reglamentos y otras orientaciones ya vigentes para el transporte de materiales radiactivos en condiciones de seguridad [13].

Asimismo se excluyen las medidas que deberían adoptar las autoridades reguladoras, y las personas jurídicas autorizadas por ellas a poseer y utilizar fuentes de radiación, con miras a garantizar la seguridad tecnológica y física de los materiales radiactivos o nucleares. Esas medidas se examinan en otras publicaciones (véanse las referencias [5 a 8]).

1.5. Objetivo

La presente publicación tiene la finalidad de facilitar a los Estados Miembros orientaciones que puedan utilizar los servicios de aduana, la policía y otros organismos de represión en la vigilancia radiológica de vehículos, personas y bienes en instalaciones de cruces de fronteras como contramedida al tráfico ilícito, así como para descubrir desplazamientos involuntarios de materiales radiactivos. Esa vigilancia puede ser un elemento importante de las actividades de búsqueda de materiales radiactivos que hayan quedado fuera de control y puedan ser introducidos en un Estado Miembro.

2. EL PROCESO DE DETECCIÓN

Para la instalación de sistemas de detección de desplazamientos involuntarios o tráfico ilícito de materiales radiactivos en las fronteras y el uso del equipo correspondiente se adoptarán las siguientes medidas:

- 1) evaluación estratégica de la necesidad de vigilancia en las fronteras;

- 2) selección de instrumentos;
- 3) instalación, pruebas de aceptación y calibración, establecimiento de un plan de mantenimiento y capacitación de los usuarios y del personal de apoyo técnico;
- 4) determinación de los niveles de investigación y ajuste de las alarmas de los instrumentos;
- 5) evaluación de las alarmas y respuesta adecuada, mediante la verificación y localización de los materiales radiactivos; y
- 6) evaluación de los materiales radiactivos encontrados.

En estas líneas generales se basa la presente publicación. Las acciones o medidas que han de adoptarse cuando la vigilancia revele un suceso relacionado con el desplazamiento involuntario o el tráfico ilícito de materiales nucleares se tratan en el tercer documento TECDOC de esta serie [2].

3. EVALUACIÓN ESTRATÉGICA DE LA NECESIDAD DE VIGILAR LAS FRONTERAS

Este documento TECDOC abarca principalmente la cuestión de la detección de radiaciones en las fronteras desde el punto de vista técnico y operacional. La decisión de un Estado Miembro de instalar o no instrumentos de detección de radiaciones en sus fronteras, y cuándo y dónde hacerlo, debería ser fruto de una amplia estrategia nacional destinada a recuperar el control de los materiales radiactivos. Se están elaborando orientaciones sobre la concepción y ejecución de una estrategia nacional de esas características como parte del Plan de Acción revisado del OIEA relativo a la seguridad tecnológica y física de las fuentes de radiación.

Uno de los factores clave en la elaboración de una estrategia nacional es el análisis de los riesgos. Mediante el examen de factores históricos, políticos, sociales, económicos y geográficos, un Estado puede realizar una evaluación sensata de las posibilidades o riesgos de que se lleven a cabo actividades de tráfico ilícito o desplazamiento involuntario de materiales radiactivos a través de sus fronteras. Para algunos países la vigilancia en determinados puntos fronterizos, puede ser un componente útil de su estrategia global. Para otros, las posibilidades de que se plantee el problema son tan reducidas que la aplicación de la vigilancia en las fronteras no se consideraría suficientemente rentable. Otras consideraciones a favor de la instalación de dispositivos de vigilancia en las fronteras son la disuasión y la seguridad pública.

De decidirse que la vigilancia en las fronteras es necesaria, los resultados del análisis estratégico también ayudarán a determinar los tipos de instrumentos que se han de utilizar y el lugar en que se deben instalar. El análisis ayudará a definir lo que se está tratando de lograr. El proceso de vigilancia tendrá máxima eficacia si se lleva a cabo en los lugares en que sean mayores las posibilidades de reconocer e interceptar actividades de tráfico ilícito o desplazamiento involuntario de materiales radiactivos. Por lo general, esos lugares son puntos de control o puntos nodales en los que converge el flujo de personas, desplazamientos o mercancías. Es posible que esos lugares sean ya puntos de control de otro tipo, como puentes báscula o aduanas.

4. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS

4.1. Introducción

En esta sección se dan orientaciones sobre la selección de instrumentos para su instalación en las fronteras², así como sobre su uso sobre el terreno cuando existen limitaciones operacionales. Cabe señalar que estas orientaciones se refieren a la detección radiológica de materiales radiactivos y no se centra en cuestiones de protección radiológica que se deben tener en cuenta si se detectan esos materiales. La protección de las personas afectadas es una de las principales consideraciones; no obstante, la experiencia ha demostrado que el número de sucesos en que los niveles de radiación son peligrosos es reducido.

Es preciso destacar desde el primer momento algunas cuestiones importantes. En primer lugar, para poder detectar la presencia de materiales radiactivos, la radiación que éstos emiten debe traspasar cualquier contenedor, bulto, vehículo o persona en el que se encuentren. En la práctica, eso significa que posiblemente no se detecten los materiales radiactivos que sólo emiten radiación alfa, radiación beta de baja energía y/o radiación gamma de baja energía. Además, las personas entendidas podrían blindar deliberadamente los materiales radiactivos de forma que los niveles de radiación fuera del contenedor sean inferiores a los detectables. En esos casos quizás sea necesario disponer de información suplementaria como la que aportan otros métodos de detección, los servicios de información o la observación.

En segundo lugar, no todos los instrumentos detectan todos los tipos de radiación y energías, por lo que deberán tomarse decisiones en cuanto al tipo de materiales radiactivos que se podrían encontrar y a lo que se desea que el instrumento detecte. Por ejemplo, las fuentes de neutrones importantes no existen como materiales radiactivos naturales ni se utilizan en los radiofármacos. Por consiguiente, la detección de radiación neutrónica puede indicar la presencia de materiales nucleares (aunque algunos sistemas de calibración nucleónica utilizan fuentes de neutrones). Por esa razón se recomienda el uso de detectores de neutrones cuando se deseen detectar actividades de tráfico ilícito de materiales nucleares.

Los usuarios de los instrumentos deben conocer las siguientes razones técnicas y prácticas que explican por qué tal vez no puedan detectarse los materiales radiactivos.

- El nivel de radiación es demasiado bajo para que el instrumento lo detecte porque la radiactividad de la fuente es baja, o la fuente tiene un blindaje o está demasiado lejos.
- Es posible que el tiempo de respuesta del instrumento sea demasiado lento en vista de la velocidad con que se cruzan el instrumento y la fuente.
- Quizás sea necesario volver a calibrar el instrumento para garantizar que su respuesta sea correcta.
- El instrumento tal vez no esté funcionando en ese momento.

Las orientaciones incluidas en el presente informe abordan la mayoría de estas cuestiones; por consiguiente, de aplicarlas, se maximizarán las probabilidades de detectar materiales radiactivos en las fronteras.

² Como se señaló anteriormente, por “fronteras” se entienden todos los lugares de posible entrada y salida de bienes o personas en un Estado.

4.2. Tipos de instrumentos

Los instrumentos para detectar materiales radiactivos en las fronteras se pueden dividir en tres categorías.

- 1) Los *instrumentos de bolsillo* son instrumentos pequeños y ligeros que se utilizan para detectar la presencia de materiales radiactivos e informar al usuario de los niveles de radiación.
- 2) Los *instrumentos manuales* suelen ser más sensibles y se pueden utilizar para detectar, localizar o (en el caso de algunos tipos de instrumentos) individualizar materiales radiactivos. Estos instrumentos también pueden ser útiles en la medición de tasas de dosis más exactas para determinar requisitos de seguridad radiológica.
- 3) Los *instrumentos fijos, instalados y automáticos* están concebidos para utilizarlos en puestos de control como los situados en cruces de fronteras de carreteras y vías férreas, los aeropuertos y los puertos marítimos. El alto grado de sensibilidad de estos instrumentos permite vigilar el paso ininterrumpido de personas, vehículos, equipajes, bultos y cargamentos, y al mismo tiempo minimizar las interferencias en la circulación del tráfico.

Cada uno de estos instrumentos se estudiará con detenimiento .

4.3. Finalidad de los instrumentos

Los instrumentos de detección de radiaciones tienen varios usos pertinentes para la presente publicación. Cada uno de esos usos será un factor importante en la selección de un instrumento adecuado. Sus fines se pueden resumir de la manera siguiente:

- 1) *Detección*: Un instrumento sólo debe dar una señal de alarma si se supera un nivel de radiación determinado.
- 2) *Verificación*: Una vez que se ha dado la alarma, es necesario verificar si es o no real. Una forma de hacerlo es utilizando un instrumento distinto.
- 3) *Evaluación y localización*: En caso de alarma real será necesario buscar y localizar el origen de la radiación. Al realizar esta búsqueda es importante hacer una evaluación radiológica con fines de seguridad radiológica, así como determinar el nivel de respuesta adecuado.
- 4) *Determinación*: Con frecuencia, la determinación del tipo de radiación y energía permitirá la individualización del radionucleido. Ello ayudará a clasificar el tipo de suceso y a determinar la respuesta posterior.

4.3.1. Detección

Una vez que se ha tomado la decisión de llevar a cabo actividades de vigilancia en las fronteras, así como con respecto al lugar y el modo de realizarlas, el paso siguiente consiste en seleccionar el instrumento adecuado.

Los instrumentos fijos, instalados y automáticos constituyen la mejor opción cuando el tráfico de bienes, vehículos o personas puede canalizarse hacia unos carriles estrechos conocidos como puntos nodales.

Los instrumentos de bolsillo y manuales son especialmente útiles cuando las operaciones se realizan en zonas muy amplias como aeropuertos y puertos marítimos. Por ejemplo, todos los agentes de la ley en servicio pueden recibir y llevar consigo instrumentos de bolsillo.

En comparación con los instrumentos de bolsillo, los instrumentos manuales de detección tienen mayor sensibilidad, pero son más pesados y, por lo general, más caros. Los instrumentos manuales se utilizan principalmente para la detección en situaciones concretas de búsqueda de remesas especificadas. Por ejemplo, se elegirían estos instrumentos: a) cuando ya se sospeche la existencia de actividades de tráfico ilícito sobre la base de informes de los servicios de información; b) para localizar una fuente; c) para medir la tasa de dosis; o d) para individualizar el radionucleido.

4.3.2. Verificación

Es preciso verificar cada detección para excluir las alarmas falsas. La verificación supone repetir el proceso de medición para confirmar la indicación inicial de la existencia de un campo de radiación. Si se utilizaran instrumentos manuales y de bolsillo, normalmente se tendría que examinar de nuevo el vehículo o la persona. Si se utilizaran instrumentos fijos e instalados, habría que volver a pasar el vehículo por la instalación para obtener una nueva medición. De no ser esto posible podría ser necesario utilizar otro tipo de instrumento.

4.3.3. Evaluación y localización

Después de haber verificado la detección de materiales radiactivos, es preciso localizar el origen de la señal de radiación. Para ello se necesitan instrumentos manuales o de bolsillo. En ese momento se deberá hacer una evaluación de la seguridad radiológica para garantizar la seguridad de los funcionarios y el público. Esa evaluación permitirá además, determinar si la respuesta debería ser operacional, táctica o estratégica [2]. Los instrumentos que indican la tasa de dosis son fundamentales a estos efectos.

4.3.4. Individualización

Una vez localizado el origen de la señal, es necesario identificar el radionucleido específico de que se trate ya que esto repercute en los aspectos de seguridad, así como en la magnitud de la respuesta ulterior al descubrimiento de los materiales radiactivos. La individualización del radionucleido ayuda a clasificar la índole del suceso como desplazamiento involuntario, tráfico ilícito o alarma inocente. También puede proporcionar información sobre el uso anterior del material y su propietario, si bien es mejor realizar este tipo de análisis más tarde en un laboratorio de materiales decomisados. La autoridad reguladora nacional podrá utilizar estos datos posteriormente para hacer cumplir lo estipulado.

Por lo general, en la determinación primaria que se lleva a cabo en los cruces de fronteras se requieren instrumentos manuales especiales para medir la energía de rayos gamma con el fin de individualizar el radionucleido. Esto se conoce como espectroscopia gamma. Si no se dispone de ese equipo tal vez sería necesaria la ayuda adicional de otros expertos.

Actualmente existe la tendencia, que han establecido los usuarios, a combinar las tareas mencionadas (localización, medición de la tasa de dosis e individualización del radionucleido) en un instrumento manual único con detectores de radiación múltiples.

4.3.5. Orientaciones acerca de los instrumentos

En el resto de esta sección se ofrecen orientaciones acerca de la selección de cada uno de los tres tipos de instrumentos examinados, también acerca de su uso sobre el terreno en casos en que existan limitaciones operacionales.

Como se afirma en la introducción, las características de funcionamiento de cada tipo de instrumento deberían considerarse como orientaciones únicamente y *no como requisitos o normas del OIEA*. Además, se debe reconocer que esos parámetros constituyen siempre una transacción entre lo ideal y lo práctico. A medida que mejore la tecnología, las características de funcionamiento también podrían cambiar como reflejo de esas mejoras.

4.4. Instrumentos de bolsillo

4.4.1. Aplicación

La tecnología para la detección de materiales radiactivos ha evolucionado rápidamente en los últimos años. Los adelantos en la miniaturización de dispositivos electrónicos de baja potencia han posibilitado la creación de una nueva clase de detectores compactos de rayos gamma y de neutrones. Esos detectores, cuyo tamaño es similar a un receptor de mensajes, pueden sujetarse al cinturón o llevarse en un bolsillo para tener las manos libres. Algunos de esos detectores se pueden utilizar en la modalidad de “silencio” para advertir al operador de la presencia de materiales radiactivos sin alertar a otras personas que puedan encontrarse en la proximidad. Gracias a su pequeño tamaño, el uso de los instrumentos de bolsillo resulta muy conveniente para los oficiales o personas encargadas de la respuesta inicial a una alarma de radiación. Además, para manejarlos no se requiere mucho adiestramiento.

Estos instrumentos son relativamente económicos y suficientemente pequeños para portarlos, por lo que quizás sea posible dotar a cada oficial de uno de ellos para que lo lleve en el uniforme mientras esté de servicio. Su consumo de energía es bajo, de modo que pueden utilizarse sin interrupción. Otra de sus ventajas es su movilidad inherente, que permite acercarse más a una supuesta fuente de radiación cuando ello puede hacerse en condiciones de seguridad.

Los detectores de radiación de bolsillo llevados por muchos miembros del personal en el curso de sus funciones habituales pueden constituir una “cortina en movimiento” muy flexible en comparación con los instrumentos instalados y fijos y, de este modo, abarcar una gran variedad de posibles rutas de tráfico.

4.4.2. Características generales

Aunque es posible fabricar instrumentos de bolsillo con distintos tipos de detectores de radiación, sólo los que utilizan detectores de centelleo son lo suficiente sensibles para esta función. La pantalla del instrumento debería dar una indicación sencilla y luminosa que sea proporcional a la tasa de dosis. El usuario puede visualizar claramente cualquier cambio de los niveles de radiación y puede utilizarlo como instrumento de búsqueda para localizar fuentes de radiación.

Los mejores instrumentos de este tipo no precisan mantenimiento, son fuertes, resistentes a la intemperie, están alimentados por baterías y tienen suficiente tiempo de explotación. Se recomienda fijar el umbral de alarma antes de entregar los instrumentos a los oficiales de

operaciones para tener debida cuenta de la radiación de fondo natural en el lugar. Sin embargo, hoy en día algunos instrumentos miden la radiación de fondo de forma automática al ponerlos en marcha y almacenan esa información como referencia.

Aunque los detalles del diseño varían, los instrumentos de bolsillo pueden tener diversas características adicionales. Algunos modelos pueden producir tres tipos de alarmas: visual (luz), audible (sonido) y silenciosa (vibración, para las operaciones encubiertas). Algunos instrumentos emiten una señal sonora que cambia en función de la tasa de dosis.

4.4.3. Funcionamiento, calibración y prueba

Normalmente, un instrumento de bolsillo se llevará sobre el cuerpo, en un bolsillo o sujeto al cinturón. Una de sus funciones útiles de autocomprobación sería la verificación del funcionamiento adecuado de los dispositivos electrónicos (incluidas las baterías) antes de cada período de uso. También debería comprobarse, a diario si es posible, la capacidad de los instrumentos de bolsillo para detectar las radiaciones. Para ello, se puede colocar el instrumento cerca de una pequeña fuente radiactiva de verificación y observar su respuesta a la radiación.

Es inevitable que en ocasiones se den alarmas falsas, es decir, sin que haya presencia de materiales radiactivos, debido a las fluctuaciones de la radiación de fondo. Si se ha fijado adecuadamente el umbral de alarma, a saber, aproximadamente tres veces el nivel de radiación de fondo natural, cabe prever un máximo de una o dos alarmas falsas por turno de trabajo.

En algunas ocasiones es posible que los instrumentos de bolsillo reaccionen ante fuentes de radiación inocentes. Ello se debe a que muchos objetos y materiales corrientes contienen pequeñas cantidades de materiales radiactivos naturales como el torio o el uranio (véase el anexo I).

Al igual que con la mayoría de los detectores de radiaciones, se recomienda la calibración de los instrumentos de bolsillo una vez al año (o según lo exija la autoridad reguladora nacional) por una persona cualificada o en una instalación de mantenimiento.

4.4.4. Recomendaciones mínimas de funcionamiento

Como se indicó anteriormente, las características de funcionamiento de cada tipo de instrumento deberían considerarse como orientaciones únicamente y *no como requisitos o normas del OIEA*. Además, cabe señalar que las situaciones que se dan en esta sección no constituyen parámetros operacionales, sino criterios en función de los cuales se pueden realizar pruebas de funcionamiento.

4.4.4.1. Sensibilidad a la radiación gamma

En el caso de un valor medio de $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, la alarma debería activarse cuando la tasa de dosis aumentara en $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 1 segundo. La probabilidad de detectar esta situación de alarma debería ser del 99%, es decir, no más de 100 fallos en 10 000 exposiciones. El instrumento debería cumplir estas características de funcionamiento en un intervalo continuo de energía gamma incidente de 60 keV a 1,33 MeV (probado con ^{241}Am , ^{137}Cs y ^{60}Co).

4.4.4.2. *Ajuste de las alarmas*

El sistema debería permitir ajustar distintos niveles de umbral de alarma.

4.4.4.3. *Indicación de la tasa de dosis*

Si el instrumento indica la tasa de dosis, la incertidumbre debería quedar dentro de $\pm 50\%$ al calibrarlo con ^{137}Cs .

4.4.4.4. *Frecuencia de alarma falsa*

La frecuencia de alarma falsa debería ser inferior a 1 en un período de 12 horas en el caso de tasas de dosis de fondo de hasta $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.4.4.5. *Condiciones ambientales*

El instrumento debería cumplir las características de funcionamiento antes enumeradas en un intervalo de temperaturas de -15°C a $+45^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del 95%, como mínimo, en condiciones de no condensación.

4.4.4.6. *Duración de las baterías*

En el caso de instrumentos con baterías no recargables, la duración de éstas debería ser superior a 800 horas en situaciones en que no se active la alarma y superior a 12 horas en el caso de unidades con baterías recargables. En condiciones de alarma, la duración de las baterías debería ser superior a 3 horas.

4.4.4.7. *Ensayo de caída*

Los instrumentos deberían seguir cumpliendo las características de funcionamiento después de dejarlos caer sobre hormigón por todos sus lados desde 0,7 metros.

4.5. **Instrumentos manuales**

4.5.1. *Aplicación*

Los monitores de radiación manuales pueden tener diversas formas y utilizar detectores y sistemas electrónicos distintos. Los más modernos son instrumentos pequeños, alimentados con baterías y portadores de microprocesadores. A medida que avanza la tecnología sin duda seguirán surgiendo nuevas capacidades.

Los monitores manuales se pueden utilizar para registrar eficazmente a peatones, así como embalajes, cargamentos y vehículos de motor con gran flexibilidad. La capacitación en el uso e interpretación adecuados de las lecturas reviste vital importancia, y es preciso repetir periódicamente esa capacitación.

Existen instrumentos manuales para detectar todos los tipos de radiaciones, incluida la neutrónica. Algunos de esos instrumentos pueden detectar más de un tipo de radiación (por ejemplo, gamma y neutrónica). Normalmente los instrumentos manuales son capaces de medir las tasas de dosis, por lo que se pueden utilizar con fines de seguridad radiológica.

También se pueden utilizar algunos instrumentos manuales complejos para individualizar radionucleidos.

4.5.2. Funcionamiento, calibración y prueba

Los monitores manuales se pueden utilizar como dispositivos de búsqueda primaria (detección) o como dispositivos de búsqueda secundaria (validación) en lugar de los instrumentos fijos e instalados. Es indispensable que el instrumento esté dotado de un indicador o alarma audible de la tasa de dosis para que el usuario pueda llevar a cabo la búsqueda sin mirar el contador.

Para realizar búsquedas, el instrumento manual debería pesar menos de 2 kg y disponer de un asa para transportarlo cómodamente. La probabilidad de detección puede aumentar si el usuario acerca el instrumento a cualquier material radiactivo presente. Además, es más probable que un instrumento detecte radiaciones si se pasa lentamente sobre la zona que se debe inspeccionar. Sin embargo, si el movimiento es demasiado lento la inspección se prolonga más, por lo que habrá que llegar a una transacción entre velocidad y sensibilidad. Hay instrumentos que pueden realizar mediciones en poco tiempo (menos de 1 segundo), lo que permite utilizarlos para inspeccionar rápidamente la superficie de embalajes, así como peatones, vehículos y cargamentos. Para posibilitar la localización de la fuente de radiación, la señal de alarma debería rajustarse automáticamente o la frecuencia del sonido de alarma debería aumentar a medida que se elevara la tasa de dosis.

Se recomienda comprobar los instrumentos manuales, a diario si es posible, para verificar que siguen detectando radiaciones. A estos efectos se puede colocar el instrumento cerca de una pequeña fuente radiactiva de comprobación y observar su respuesta. Al igual que con la mayoría de los detectores de radiaciones, se recomienda su calibración una vez al año por una persona cualificada o una instalación de mantenimiento. La mayor parte de los instrumentos manuales de individualización de radionucleidos utilizan una fuente gamma de actividad baja para estabilizar la escala de energía. Esto es fundamental para lograr buenos resultados en la individualización de los radionucleidos.

4.5.3. Recomendaciones mínimas de funcionamiento

Como ya se indicó, las características de funcionamiento de cada tipo de instrumento deberían considerarse como orientaciones únicamente y *no como requisitos o normas del OIEA*. Además, cabe señalar que las situaciones que se dan en esta sección no constituyen parámetros operacionales, sino criterios en función de los cuales se pueden realizar pruebas de funcionamiento.

4.5.3.1. Sensibilidad a la radiación gamma

Con un valor medio de $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, la alarma debería activarse cuando la tasa de dosis aumentara en $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 1 segundo. La probabilidad de detectar esta situación de alarma debería ser del 99%, es decir, no más de 100 fallos en 10 000 exposiciones. Esta característica de funcionamiento debería cumplirse en un intervalo continuo de energía gamma incidente de 60 keV a 1,33 MeV (probado con ^{241}Am , ^{137}Cs y ^{60}Co).

4.5.3.2. Frecuencia de señal audible de radiación gamma

La tasa frecuencia de señal audible (pitido) con las condiciones de radiación de fondo especificadas no debería ser más de 1 pitido por minuto durante 12 horas de funcionamiento, es decir, no más de 100 pitidos en 100 minutos como mínimo.

4.5.3.3. *Sensibilidad a la radiación neutrónica*

En el caso de instrumentos con capacidad para detectar neutrones, el detector debería activarse al exponerlo a un flujo de neutrones emitido por una fuente de ^{252}Cf de $0,01 \mu\text{g}$ (aproximadamente $20\,000 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$) durante 10 segundos, a una distancia de 0,25 metros, si la radiación gamma tiene un blindaje inferior al 1%. La probabilidad de detectar esta situación de alarma debería ser del 99%, es decir, no más de 100 fallos en 10 000 exposiciones. La tasa de dosis de neutrones correspondiente a estas condiciones de irradiación es de $2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ aproximadamente.

4.5.3.4. *Frecuencia de alarma falsa en caso de radiación neutrónica*

La frecuencia de alarma falsa debería ser inferior a 6 en un período de 1 hora.

4.5.3.5. *Indicación de la tasa de dosis*

Si el instrumento indica la tasa de dosis, debería poder medir al menos hasta $10 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ con una incertidumbre inferior a $\pm 30\%$ cuando esté calibrado para determinar la presencia de ^{137}Cs .

4.5.3.6. *Indicación de sobrelímite*

El instrumento debería dar una indicación de sobrelímite o emitir una señal de alarma continua cuando las tasas de dosis queden fuera de su alcance.

4.5.3.7. *Condiciones ambientales*

El instrumento debería cumplir las características de funcionamiento antes enumeradas en un intervalo de temperaturas de -15°C a $+45^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del 95% como mínimo, en condiciones de no condensación.

4.5.3.8. *Duración de las baterías*

En el caso de instrumentos con baterías no recargables, se recomienda que la duración de las baterías sea superior a 40 horas en situaciones en que no se active la alarma, y superior a 12 horas en el caso de unidades con baterías recargables. En condiciones de alarma, la duración de las baterías debería ser superior a 3 horas. Es conveniente que haya un indicador que señale la situación de las baterías.

4.6. Instrumentos fijos e instalados

4.6.1. *Aplicación*

Los monitores de radiación modernos, fijos e instalados están concebidos para detectar automáticamente la presencia de materiales radiactivos llevados por peatones o transportados en vehículos. Para ello, los sistemas de vigilancia miden el nivel de radiación (gamma o neutrónica) existente mientras una persona o un vehículo se encuentra en la zona de detección y comparan este nivel con el de la radiación de fondo que se mide y actualiza mientras la zona de detección no está ocupada. La medición continua del nivel de radiación de fondo y el ajuste del umbral de alarma permiten mantener una frecuencia de alarma falsa estadística constante. De ahí la necesidad de disponer de sensores de ocupación adecuados, de forma que el instrumento sepa cuándo registrar los niveles de radiación de peatones o vehículos a medida que estos vayan pasando y cuándo registrar los niveles de radiación de fondo.

4.6.2. *Instalación y funcionamiento, calibración y prueba*

Los monitores de radiación fijos e instalados se conocen a menudo como monitores de pórtico y por lo general se componen de un conjunto de detectores instalados en uno o dos pilares verticales con dispositivos electrónicos afines. Dado que la sensibilidad del instrumento depende en gran medida de la distancia, es importante que la persona o el vehículo estén lo más cerca posible del conjunto de detectores. Por consiguiente, para lograr la máxima eficacia los monitores deben estar instalados de forma que todos los peatones, los vehículos y el tráfico de cargamentos estén obligados a pasar cerca de los monitores o entre ellos. Así pues, deberá estudiarse detenidamente la selección del mejor lugar para instalar los monitores de pórtico fijos con objeto de lograr su mayor eficacia.

La eficacia de un instrumento fijo e instalado también depende mucho de su capacidad para medir la intensidad de la radiación en la zona de registro de que se trate. Por consiguiente, al instalar el monitor es importante que el detector se coloque de forma que el campo de visión de la zona de registro quede libre de obstáculos. Sin embargo, el instrumento también debe estar protegido contra los daños mecánicos.

Las indicaciones de alarma deberían ser claramente visibles para los oficiales encargados del punto de inspección, y se deberá adiestrar a los oficiales que responden a las alarmas sobre los procedimientos de respuesta apropiados [2].

Los monitores de pórtico deben ser calibrados y sometidos a prueba periódicamente para garantizar su funcionamiento óptimo. Los monitores de pórtico automáticos deberían comprobarse a diario con pequeñas fuentes radiactivas para verificar que pueden detectar los aumentos de intensidad de la radiación.

4.6.2.1. *Monitores de registro de peatones*

Los monitores de registro de peatones pueden instalarse solos o en doble columna. Deberían instalarse barreras para restringir el tráfico peatonal de forma que cada persona pase a 1 metro como máximo del monitor. En los casos en que los corredores de tráfico peatonal sean superiores a 1,5 metros, deberían instalarse dobles columnas. Es importante que el detector se coloque en un lugar alejado de puertas pesadas, que pueden causar demasiadas alarmas falsas al aumentar su blindaje las fluctuaciones de la radiación de fondo. Asimismo, es importante que el sensor de ocupación esté colocado de forma que sólo se ponga en marcha cuando el instrumento esté ocupado, y no cuando alguien pase cerca del monitor.

La posible presencia de blindajes en los equipajes y bultos supone que se logrará la mayor eficacia de los monitores si se utilizan junto con sistemas de detección de metales (como equipos de rayos X), que permiten determinar fácilmente la presencia de material de blindaje.

4.6.2.2. *Monitores de registro de vehículos*

El uso de monitores de radiación fijos e instalados para detectar fuentes de radiación en vehículos se ve complicada por el blindaje propio de la estructura del vehículo y sus componentes. Aunque los monitores corrientes de camionetas pueden ser útiles para detectar niveles anormales de radiación en envíos de metales para su reciclaje, son mucho menos útiles para detectar materiales radiactivos cuando éstos han sido ocultados de forma deliberada. Los monitores especialmente diseñados para detectar fuentes radiactivas que puedan estar siendo objeto de tráfico ilícito son más eficaces que los monitores de camioneta porque, por lo

general, tienen detectores que permiten examinar todas las áreas de la parte superior e inferior de los vehículos, así como los lados.

Como se indicó anteriormente, la sensibilidad de los detectores depende de la proximidad entre el detector y la fuente, así como de la lentitud con la que uno pase junto a la otra. En los vehículos de pasajeros, los monitores individuales son aceptables si la anchura máxima del corredor se limita a 3 metros. Con respecto a los grandes camiones y los autobuses, se requieren dos columnas y la distancia máxima recomendada entre ellas es de 6 metros, según sea la anchura máxima del vehículo que deba explorarse. Es importante que se instalen barreras que no obstruyan el campo de visión del monitor para que éste quede protegido contra daños que pudiesen causar los vehículos.

Puesto que la sensibilidad del monitor también depende en gran medida del tiempo de exploración, el instrumento debe estar colocado en un lugar en que la velocidad del vehículo se pueda controlar y reducir. La capacidad de los instrumentos varía, pero se recomienda que la velocidad de éstos no sea superior a $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y que no se le permita detenerse mientras pase por el monitor. Se recomienda colocar el sensor de ocupación de forma que sólo se ponga en marcha cuando el sistema de vigilancia esté ocupado y no a causa del tráfico cercano.

4.6.3. Recomendaciones mínimas de funcionamiento

Como se mencionó con anterioridad, las características de funcionamiento de cada tipo de instrumento deberían considerarse como orientaciones únicamente y *no como requisitos o normas del OIEA*. Además, cabe señalar que las situaciones que se dan en esta sección no constituyen parámetros operacionales, sino criterios en función de los cuales se pueden realizar pruebas de funcionamiento.

4.6.3.1. Sensibilidad a la radiación gamma

Con un valor medio de $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$, se recomienda fijar la activación de la alarma cuando la tasa de dosis aumente en $0,1 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 1 segundo. La probabilidad de detectar esta situación de alarma debería ser del 99,9%, es decir, no más de 10 fallos en 10 000 exposiciones. Este requisito debería cumplirse en un campo de radiación continuo, en el que la radiación gamma incidente oscile entre 60 keV y 1,33 MeV (probado con ^{241}Am , ^{137}Cs y ^{60}Co)

4.6.3.2. Sensibilidad a la radiación neutrónica

En instrumentos con capacidad de detección de neutrones, el detector debería activar la alarma al quedar expuesto a un flujo de neutrones emitido por una fuente de ^{252}Cf de $0,01 \mu\text{g}$ (aproximadamente $20\,000 \text{ n}\cdot\text{s}^{-1}$) durante 5 segundos, a una distancia de 2 metros, cuando la radiación gamma tenga un blindaje inferior al 1%. La probabilidad de detectar esta situación de alarma debería de ser del 99,9%, es decir, no más de 10 fallos en 10 000 exposiciones. La tasa de dosis de neutrones correspondiente a estas condiciones de irradiación es de $0,05 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ aproximadamente.

4.6.3.3. Zona de registro

El grado de eficacia de la detección variará en función del instrumento. A continuación damos una descripción de la zona geométrica en la que deberían cumplirse las características de funcionamiento correspondientes a los niveles de alarma dados.

- a) Monitor de registro de peatones:
 - i) Vertical: 0 a 1,8 m;
 - ii) Horizontal, paralelo a la dirección del movimiento: 0 a 1,5 m;
 - iii) Velocidad normal al caminar de $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- b) Monitor de registro de automóviles (una columna):
 - i) Vertical: 0 a 2 m;
 - ii) Horizontal, paralelo a la dirección del movimiento: hasta 4 m;
 - iii) Velocidad de hasta $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- c) Monitor de registro de camiones y autobuses (dos columnas):
 - i) Vertical: 0,7 a 4 m;
 - ii) Horizontal, paralelo a la dirección del movimiento: hasta 3 m (6 m entre las dos columnas);
 - iii) Velocidad de hasta $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.6.3.4. Frecuencia de alarma falsa

La frecuencia de alarma falsa durante el funcionamiento debería ser inferior a 1 por día con respecto a tasas de dosis de fondo de hasta $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$. Si se prevé una elevada tasa de ocupación de 10 000 exposiciones al día, por ejemplo, sería necesario garantizar un máximo de 1 alarma falsa por 10 000 exposiciones, y para ello el requisito de comprobación recomendado sería de no más de 4 alarmas falsas por 40 000 exposiciones.

4.6.3.5. Disponibilidad operacional

Los equipos instalados deberían estar disponibles al menos el 99% del tiempo, es decir, fuera de servicio menos de 4 días al año.

4.6.3.6. Condiciones ambientales

El sistema debería ser resistente a la intemperie y estar diseñado para funcionar al aire libre. Sería conveniente que los instrumentos pudiesen funcionar en el intervalo de temperaturas comprendido entre -15°C y $+45^{\circ}\text{C}$. No obstante, ello dependerá de las condiciones en el lugar donde estén instalados los instrumentos y podría ser necesario prever temperaturas más bajas, de hasta -35°C .

5. NIVELES DE INVESTIGACIÓN Y AJUSTE DE LAS ALARMAS DE LOS INSTRUMENTOS

5.1. Nivel nominal de investigación en relación con el ajuste de las alarmas de los instrumentos

Por nivel nominal de investigación se entiende en el presente documento el nivel de radiación seleccionado para realizar una investigación más exhaustiva. Es preciso establecer una distinción entre el nivel de investigación y el umbral de alarma de los instrumentos. Por ejemplo, supóngase que se deciden investigar los casos en que la tasa de dosis sea superior a $0,2 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ (en el punto A en la Fig.1). Si se fija en este punto (A) la alarma real del instrumento, la mitad de las veces en que se registre esa tasa de dosis no se activaría la alarma (es decir, la tasa de fallo será del 50%) debido a la índole estadística de la desintegración

radiactiva. Por consiguiente, para reducir la tasa de fallo a un valor más aceptable, el umbral de alarma debe fijarse en un valor algo más bajo (en C en la Fig. 1).

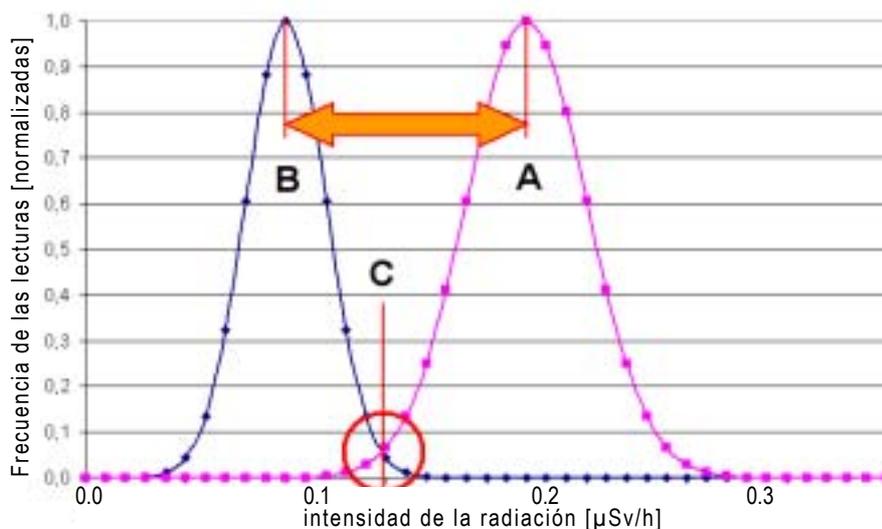


FIG. 1. Señales coincidentes de la radiación de fondo y de una fuente de radiación; frecuencia de las lecturas de los instrumentos correspondientes a las condiciones de radiación de fondo (punto máximo de la izquierda) y de exposición (punto máximo de la derecha).

Sin embargo, la tasa de dosis de la radiación de fondo también tiene un efecto de interferencia, ya que si el nivel de investigación deseado (A) está demasiado próximo a la tasa de dosis de la radiación de fondo (B en la Fig.1), el número de alarmas falsas debidas a la radiación de fondo será inaceptable. De ello se desprende que la determinación del nivel nominal de investigación y el establecimiento del umbral de alarma del instrumento son aspectos realmente importantes. A continuación se examina brevemente esta cuestión para quienes deseen conocer más sobre ella.

5.2. Determinación del umbral de alarma de un instrumento

La selección de un nivel de investigación determinado supone fijar adecuadamente el umbral de alarma de un instrumento de vigilancia. El umbral de alarma puede expresarse en múltiplos de la radiación de fondo, o como múltiplo de la desviación típica de la tasa de recuento de la radiación de fondo. La relación entre la tasa de dosis de la radiación de fondo y su desviación típica depende de la sensibilidad de detección del instrumento y el valor real de la radiación de fondo, lo que impide determinar un nivel de investigación generalmente aplicable.

Del mismo modo, debido a factores desconocidos como la magnitud del blindaje y la energía de la radiación, no es posible fijar un nivel de investigación que permite detectar una cantidad determinada de radiactividad. Por tanto, es conveniente fijar el nivel en el valor más sensible posible sin causar demasiadas alarmas falsas. Partiendo de esta premisa se podrán derivar recomendaciones para el establecimiento de un nivel óptimo de investigación tomando como base los resultados obtenidos en el estudio piloto en gran escala sobre sistemas de vigilancia de fronteras realizado por el Centro austriaco de investigaciones y el OIEA [10].

Para la fijación de un umbral de alarma práctico debe llegarse a una solución de avenencia, de forma que se puedan detectar los materiales radiactivos objeto de desplazamiento involuntario o tráfico ilícito, y al mismo tiempo el mantenga la frecuencia de la alarma en un nivel aceptablemente bajo que no cause molestias. Los materiales radiactivos transportados

legalmente también activarán las alarmas, pero la investigación posterior debería revelar este hecho y permitir el desplazamiento ininterrumpido de personas y bienes.

Como se señaló, el umbral de alarma del instrumento debe fijarse muy por debajo del nivel nominal de investigación seleccionado para tener en cuenta las variaciones estadísticas. Para lograr una probabilidad de detección del 99,9%, tomando como base el caso idealizado de la distribución gaussiana, el umbral de alarma del instrumento debería fijarse al menos en 3σ por debajo del nivel deseado con el fin de tener en cuenta todos los incidentes con valores estadísticos más bajos. Por otra parte, los parámetros del instrumento deben mantenerse alejados de valores demasiado cercanos a la radiación de fondo. Para lograr una frecuencia de alarma falsa de 1 en 10 000 el umbral de alarma del instrumento debe fijarse al menos en 4σ por encima del promedio de radiación de fondo en el caso de sistemas que funcionan según los supuestos gaussianos (3σ para una frecuencia de alarma falsa de 1 en 1 000).

Los resultados de los ensayos sobre el terreno del ITRAP [10] para la vigilancia de camiones indican que es necesario un nivel de investigación de al menos 1,2 veces la radiación de fondo natural (con un nivel de radiación de fondo normal de aproximadamente $0,070\ \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) para que se cumplan las características de funcionamiento con respecto a la frecuencia de alarma falsa indicada anteriormente.

Si se eleva el nivel de investigación a 1,4 veces la radiación de fondo, no sólo se podrán cumplir los requisitos relativos a la frecuencia de alarma falsa, sino también reducir la frecuencia de alarma inocente en un factor de 10 aproximadamente. Por ejemplo, en un carril para camiones por el que circulen aproximadamente 1 000 camiones al día se reducirían las alarmas inocentes de 10 a 1 por día, lo que equivale a una reducción de la frecuencia de alarma inocente del 1% al 0,1% por camión. Este aumento del nivel de investigación, no impedirá lograr el grado necesario de sensibilidad de detección en los casos de incidentes reales de tráfico ilícito. Por ejemplo, una fuente de radiación sin blindaje de 3,7 MBq de ^{137}Cs debería activar la alarma, en el peor de los casos, de todos los monitores fijos debidamente instalados y calibrados.

Para la vigilancia de peatones o automóviles, en que se supone que las alarmas inocentes serían causadas únicamente por radionucleidos médicos, se puede aplicar un nivel de investigación más bajo, de 1,2 veces la radiación de fondo natural, ya que es probable que las alarmas inocentes sean menos frecuentes.

Según algunas hipótesis, es posible convertir los niveles de investigación recomendados de múltiplos de la radiación de fondo a múltiplos de la desviación típica. En el caso de un sistema detector normal con 1 000 cps en condiciones de radiación de fondo, que cumpla las características de funcionamiento antes mencionadas, se supone que un valor de nivel nominal de investigación de 1,2 veces la radiación de fondo correspondería a unas 7 desviaciones típicas. En estas condiciones, un valor de 1,4 veces la radiación de fondo corresponde a unas 14 desviaciones típicas.

Se aconseja a los especialistas que participen en la selección e instalación de este tipo de equipo que estudien estas cuestiones en el contexto local y que se aseguren de que los ajustes de las alarmas de los instrumentos sean adecuados para alcanzar un nivel de investigación que resulte práctico teniendo en cuenta las condiciones locales. Por supuesto, una vez que una unidad haya estado en funcionamiento durante un tiempo será necesario efectuar algunos ajustes de las alarmas en función de la experiencia operacional.

Como ya se señaló, una vez que se ha activado una alarma, habrá que adoptar las medidas siguientes:

- verificar que la causa de la alarma sea un incremento real del nivel de radiación;
- localizar la fuente de radiación, si ésta está presente;
- determinar el material radiactivo de que se trata y evaluar la situación.

En las secciones siguientes se analiza cada una de estas medidas con más detenimiento.

6. VERIFICACIÓN DE ALARMAS

6.1. Tipos de alarma

Hay tres tipos principales de alarma de interés fundamental:

- alarmas falsas;
- alarmas inocentes;
- alarmas reales.

6.1.1. Alarmas falsas

Las fluctuaciones estadísticas normales de las intensidades de radiación de fondo pueden causar alarmas falsas. Las interferencias de radiofrecuencias cercanas también pueden causarlas, aunque esto no debería ser un problema importante con instrumentos modernos y bien diseñados.

6.1.2. Alarmas inocentes

A los fines del presente documento TECDOC, alarmas inocentes son las que origina el incremento real del nivel de radiación, pero *no* por motivos de desplazamiento involuntario o tráfico ilícito de materiales radiactivos. Son muchas las causas que provocan alarmas inocentes y en el anexo I se incluye una lista detallada dividida en diversas categorías. Cabe esperar que la mayor parte de las alarmas reales en las fronteras sean alarmas inocentes derivadas de la presencia de radionucleidos administrados con fines médicos a pacientes, materiales radiactivos nucleares (NORM), y envíos legales de materiales radiactivos.

Por ejemplo, en aeropuertos o cruces de fronteras de peatones, las fuentes radiactivas más comunes probablemente sean personas para cuyo diagnóstico o tratamiento médico se hayan utilizado radionucleidos recientemente. Aunque los agentes radiactivos utilizados (por ejemplo, yodo para el tratamiento de tiroides o talio para exámenes de tensión cardíaca) son generalmente de período corto, los materiales radiactivos residuales pueden ser detectables durante días o semanas después del tratamiento médico. Es muy probable encontrar este tipo de pacientes entre personas que viajan.

Las condiciones de medición en las fronteras son esencialmente diferentes de las de instalaciones nucleares, de reciclaje o de disposición final. Los grandes volúmenes de tráfico que atraviesan fronteras importantes limitan el tiempo disponible para la detección y, por lo general, no es factible realizar comprobaciones múltiples. Quizás haya fuentes radiactivas de actividad alta en contenedores blindados que no puedan ser detectadas en las fronteras sin descargar el vehículo, procedimiento que no puede realizarse de forma ordinaria. Los sistemas

de vigilancia muy sensibles causan forzosamente alarmas falsas o alarmas inocentes con mayor frecuencia debido a fuentes como la radiactividad natural presentes en fertilizantes o a la oxidación depositada en las tuberías utilizadas en la industria petrolífera. En el estudio del ITRAP [10] se definieron cuatro categorías de mercancías transportadas que causaban alarmas inocentes, y la más frecuente, con 10 alarmas por día, era la proveniente de productos industriales y materias primas.

Las autoridades competentes de los Estados determinan los límites de concentraciones de actividad tolerables en las sustancias naturales. La activación frecuente de alarmas inocentes o alarmas falsas en una frontera o lugar de vigilancia con un gran volumen de tráfico inutilizaría el sistema de vigilancia en la práctica. Por lo tanto, hay que lograr una transacción entre una frecuencia de alarma falsa excesiva y una sensibilidad inaceptablemente baja.

6.1.3. Alarmas reales

La última categoría de alarmas, las reales, se definen en este documento como las que: a) son causadas por un aumento real de la intensidad de la radiación; y b) se derivan del desplazamiento involuntario o el tráfico ilícito de materiales radiactivos. La segunda posibilidad normalmente obligará a evaluar la situación de manera más exhaustiva.

6.2. Verificación de las alarmas por medio de la vigilancia

La verificación de una alarma inicial suele suponer la repetición de la medición en las mismas condiciones y/o la utilización de otro instrumento. Un resultado similar puede ser una buena indicación de un incremento real de los niveles de radiación.

6.2.1. Instrumentos de bolsillo y manuales

Una vez que haya sido detectado un emisor de radiactividad, se puede utilizar para la verificación el mismo instrumento o uno diferente. Si se dispara de nuevo una alarma, la verificación está clara y debe proseguir la investigación.

6.2.2. Vigilancia de peatones y de su equipaje

En caso de que un peatón cause la activación de la alarma de un monitor de pórtico, éste se puede hacer pasar de nuevo por el monitor para ver si la alarma vuelve a activarse. Si la alarma se dispara otra vez, se recomienda separar a la persona de cualquier artículo que lleve y realizar más investigaciones.

Debería realizarse un examen de la tasa de dosis de radiación de la persona y de sus pertenencias utilizando un instrumento manual o de bolsillo. En las secciones siguientes se explica la importancia de los niveles de radiación y se dan orientaciones sobre las técnicas de búsqueda.

Si se determina que la fuente de radiación se encuentra en una de las pertenencias de la persona, se podrá tomar en consideración la posibilidad de pasar el objeto por rayos X para decidir si hay o no un blindaje importante de radiación gamma. No obstante, si la evaluación local indica que es muy probable que se estén realizando actividades de tráfico ilícito asociadas a actividades terroristas, deberían tenerse en cuenta otros posibles riesgos. En

particular, existe la posibilidad de que los rayos X causen la detonación de dispositivos explosivos.

Después de haber localizado la fuente de radiación conviene determinar su energía y, de ese modo, los radionucleidos de que se trate. Inspección de vehículos

6.2.3. Inspección de vehículos

Cuando el paso de un vehículo a través de un monitor de radiaciones fijo instalado haga sonar la alarma, por lo general será preciso retirar el vehículo del flujo del tráfico para someterlo a una investigación más exhaustiva.

Ante la posibilidad de que la alarma pueda haber sido activada por radionucleidos residuales procedentes de usos médicos, conviene asegurarse de que tanto el conductor como los pasajeros abandonen el vehículo y sean examinados por separado. En este momento se puede analizar la tasa de dosis de radiación de las personas y el vehículo, aunque sería importante también determinar el tipo de isótopos. En las secciones siguientes se brindan orientaciones sobre la importancia de los niveles de radiación y sobre las técnicas de búsqueda.

Como ya se indicó, en el caso del tráfico de camiones y contenedores de carga las alarmas más frecuentes son las alarmas inocentes causadas por grandes cantidades de materiales radiactivos naturales. Por ejemplo, se conoce que las expediciones de grandes volúmenes de fertilizantes, productos agrícolas, productos del tabaco, algunos minerales, porcelana y madera activan las alarmas. No obstante, cabe señalar que estas firmas radiactivas están distribuidas uniformemente en toda la carga y, por lo tanto, difieren de las firmas normalmente más localizadas de fuentes o materiales radiactivos objeto de tráfico.

7. CONDICIONES RADIOLÓGICAS Y NIVELES DE RESPUESTA

En general, el nivel de respuesta necesario si se confirma la alarma dependerá de las condiciones radiológicas encontradas [2]. La mayoría de las situaciones que se presentan entrañan poco o ningún riesgo, y pueden ser manejadas por personal no especializado en seguridad radiológica. Este tipo de respuesta se denomina respuesta al nivel operacional.

Se recomienda elevar el nivel de respuesta al nivel táctico, que entraña la participación de profesionales en seguridad radiológica, si se presenta alguna de las situaciones siguientes:

- nivel de radiación superior a $0,1 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ a 1 m de distancia de una superficie u objeto;
- detección confirmada de radiación neutrónica;
- detección de materiales nucleares con un dispositivo manual de determinación de isótopos; o bien
- contaminación no controlada indicada por el desatamiento, derrame o fuga de materiales radiactivos.

Se ha seleccionado el valor de $0,1 \text{ mSv}\cdot\text{h}^{-1}$ a 1 m de distancia, ya que éste es el límite establecido para el transporte lícito de materiales radiactivos que se indica en el “Reglamento del OIEA para el transporte seguro de materiales radiactivos”, Requisitos de seguridad del OIEA No. ST-1 [13].

La intensificación de la respuesta al nivel estratégico, menos común, dependería de la magnitud y gravedad de la situación radiológica. Probablemente ello entrañaría la activación de un plan de respuesta a emergencias nacional o municipal.

En el TECDOC complementario, “Respuesta a sucesos relacionados con el desplazamiento involuntario o el tráfico ilícito de materiales radiactivos” [12] se ofrece información detallada sobre las medidas de respuesta que se recomienda aplicar cuando se ha detectado la presencia de materiales radiactivos.

8. LOCALIZACIÓN DE MATERIALES RADIATIVOS

8.1. Preparación de la búsqueda general

Normalmente, la verificación de una alarma, la búsqueda de los materiales radiactivos y la realización de una evaluación radiológica somera constituyen un proceso continuo aunque se examinen por separado en esta publicación. Cada una de estas acciones entraña el uso de instrumentos portátiles. Cabe señalar que sólo se enuncian los principios generales de la búsqueda, ya que las características de los instrumentos son diferentes.

Dado que los sentidos humanos no perciben la presencia de radiaciones, es importante comprobar el funcionamiento de los instrumentos antes de utilizarlos. Para ello deben aplicarse los procedimientos que sugiere el fabricante, que por lo general consisten en una comprobación de las baterías y de la reacción a una fuente radiactiva pequeña. Además, es necesario tomar nota del nivel medio de radiación de fondo. Todos estos preparativos deben realizarse mejor lejos de la zona de búsqueda prevista. Las comprobaciones iniciales del funcionamiento de los instrumentos y las mediciones de fondo sólo son fiables si se efectúan en un fondo normal representativo. Ello reviste especial importancia en el caso de algunos instrumentos modernos que miden el nivel de fondo ambiental y ajustan automáticamente los umbrales de alarma. Normalmente, estas comprobaciones apenas demoran de 10 a 30 segundos, y después se puede iniciar la búsqueda.

Independientemente del instrumento portátil de búsqueda utilizado, incluidos los instrumentos de bolsillo, la eficacia del procedimiento depende de la calidad de la técnica de búsqueda. A continuación se recomiendan diferentes técnicas para el registro de peatones, bultos, vehículos o cargas.

Durante la búsqueda, los instrumentos automatizados pueden ocasionalmente emitir señales muy breves superiores al umbral de alarma. Ello se debe a que los instrumentos de este tipo miden constantemente el campo de radiación en intervalos de recuento muy cortos. La mayoría de los valores medidos están próximos al nivel de fondo, pero algunos pueden rebasar el umbral de alarma debido a los efectos estadísticos del recuento. Por ello, no son importantes las alarmas aisladas que se produzcan durante el proceso de exploración. Alarmas importantes son las múltiples y reproducibles.

Para realizar una búsqueda exhaustiva y eficaz es preciso desplazar el monitor sobre la superficie de la persona, el bulto o el vehículo. Cuando el instrumento detecta un nivel de radiación significativamente superior al nivel de fondo, lo indica de alguna manera, según sus características de diseño. Muchos instrumentos modernos dan la alarma con una serie de pitidos, lo que permite al usuario concentrarse en la búsqueda sin mirar el contador.

Es importante que durante la exploración se mantenga el instrumento cerca de la superficie (aproximadamente de 5 a 10 cm) sin que haga contacto con ésta. Por otra parte, la sensibilidad de los instrumentos suele aumentar si éstos se desplazan lentamente sobre un área. Ahora bien, como esto se compensa con el tiempo que podría durar la exploración, convendría desplazar el detector, o su sonda, a aproximadamente $20 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Cuanto más cerca esté un monitor de una fuente radiactiva, mayor será la intensidad de la radiación y con más facilidad encontrará el material. Para localizar el material radiactivo, el usuario debe seguir la dirección en que sube la intensidad (pitidos más frecuentes) hasta llegar al nivel máximo. La rápida variación de la tasa de dosis a medida que se desplaza el instrumento podría indicar la presencia de una fuente de radiación determinada o de una fuente parcialmente blindada. Por otro lado, una pequeña variación en una lectura elevada indicaría la existencia de un mayor volumen de materiales, por ejemplo, una expedición de minerales radiactivos naturales a granel.

8.2. Registro de peatones

Se recomienda que, antes del registro, las bolsas o bultos que los peatones puedan llevar consigo sean retiradas de manera que puedan inspeccionarse por separado.

Por lo general, la exploración radiológica de una persona demora entre 20 y 30 segundos. Este tiempo basta para registrar a la persona por delante, por detrás y por los lados si se aplican los parámetros de distancia y velocidad indicados con anterioridad.

Se recomienda la siguiente pauta sistemática de registro: Comenzando por uno de los pies, continuar en dirección ascendente por uno de los lados del cuerpo hasta llegar a la cabeza; seguidamente ir descendiendo por el lado contrario; pedir entonces a la persona que haga un cuarto de giro y repetir el procedimiento por delante y por detrás. Una exploración de la cabeza a uno de los pies dura 4 a 5 segundos; por lo tanto, la exploración ascendente y descendente dura 8 a 10 segundos. Para girar la persona demora unos pocos segundos más, lo que suma en total aproximadamente 20 segundos. Éstos se consideran los tiempos mínimos, que permitirán realizar un examen aceptable cuando sea preciso inspeccionar un gran número de personas.

8.3. Registro de bultos y cargas

Es importante que los artículos que suelen llevar las personas consigo, como maletines, carteras, bultos y equipaje, se sometan a una inspección por separado. Ello ayudará a garantizar un registro sistemático y completo. La mejor manera de registrar cada artículo es pasar el monitor sobre su superficie a un ritmo similar al empleado en las personas.

En los casos en que las facultades legales permitan a los agentes de la ley hacerlo, conviene pedir a la persona que abra las partidas de gran tamaño para realizar una inspección ocular. Se recomienda evaluar y registrar los objetos voluminosos y pesados si se considera que éstos pueden estar ocultando materiales radiactivos.

Si un bulto está sellado, y no es posible abrirlo para una inspección ocular, un registro externo de todos los lados accesibles con el instrumento a un ritmo más lento aumentará la probabilidad de detectar cualquier material radiactivo que pueda contener.

En la búsqueda de materiales nucleares u otros materiales radiactivos los agentes de la ley deben tener en cuenta en términos generales todos los riesgos posibles. Por ejemplo, un bulto puede contener explosivos u otros materiales peligrosos y debe manipularse con la debida cautela.

8.4. Registro de vehículos de motor

El registro de vehículos de motor es más dificultoso que el de personas o bultos. El registro de vehículos es un procedimiento mucho más lento, dada la índole de los materiales, la complejidad de la estructura del vehículo, y la necesidad de someter a registro por separado a las personas que viajan en el vehículo y cualquier partida que éste transporte.

Si bien la instrumentación resulta fundamental en estos registros, es importante recordar que la inspección ocular es también una parte clave del proceso. Los contenedores voluminosos y pesados deben explorarse exhaustivamente con el monitor porque pueden servir de blindaje a materiales radiactivos presentes en su interior. En general, por exploración más exhaustiva se entiende desplazar la sonda del instrumento más lentamente y acercarla más al objeto de interés.

Por otra parte, las estructuras pesadas y de gran tamaño pueden interrumpir la trayectoria de los rayos gamma y bloquear su paso, del mismo modo que los objetos que se interponen en la trayectoria de la luz crean una sombra, de ahí la importancia de buscar blindajes que se interpongan en la trayectoria de cualquier radiación que pueda provenir de algún punto detrás de la partida y no de su interior. Entre los materiales que sirven de blindaje eficaz contra las radiaciones gamma se cuentan los metales gruesos, los ladrillos y el hormigón, en tanto que las radiaciones neutrónicas servirían grandes cantidades de polietileno, plástico, combustible o agua.

8.4.1. Registro del personal y sus pertenencias

Se recomienda que los ocupantes de un vehículo sean sometidos a un registro al igual que el vehículo. Sólo es posible realizar un registro sistemático y completo de los ocupantes si éstos abandonan el vehículo, se sitúan lejos de él y se sigue el procedimiento descrito con anterioridad. De igual forma, es preciso inspeccionar las pertenencias como maletines, carteras o bultos siguiendo el procedimiento anterior.

8.4.2. Registro de la zona del capó

Es posible registrar el capó del vehículo desplazando el monitor cerca de todas las superficies a las que se tenga acceso, incluido el propio capó.

8.4.3. Registro del maletero y del interior del vehículo

Es posible registrar el maletero y el interior del vehículo si se aplica un método sistemático. Entre por cada puerta e inspeccione en derredor todos los objetos y superficies a su alcance. Explore lugares improbables, tales como el panel de mandos, la visera, la parte interior del techo, el piso y debajo de los asientos. Registre la parte posterior del asiento trasero. En los camiones registre las zonas de carga. Las zonas a las que no se pueda tener acceso desde el interior del vehículo pueden inspeccionarse desde el exterior.

Conviene conocer que el vidrio es un blindaje menos eficaz que el metal cuando se trata de radiaciones de baja energía y por ello podría resultar más apropiado inspeccionar las ventanas que parte de la estructura metálica. Se recomienda que el objetivo sea mantener el monitor a diez centímetros de cada superficie. Cuanto más tiempo se dedique al registro de un vehículo, mayor será la probabilidad de detectar la presencia de cualquier material radiactivo que se encuentre en su interior.

8.4.4. Examen de la parte externa del vehículo

Se recomienda que en la parte externa de un vehículo se examine el chasis y el parachoques, así como la cavidad anterior y posterior de los neumáticos.

8.4.5. Camas de Camión

Se recomienda inspeccionar la cama de los camiones, incluso cuando al parecer esté vacía, ya que debajo de su superficie puede estar fijado un contenedor de material radiactivo.

8.4.6. Camiones de gran tamaño

Los vehículos de gran tamaño como las camionetas de reparto, los camiones de plataforma, de volteo, de basura y muchos otros camiones de gran tamaño plantean problemas en particular. En efecto, en el estudio del ITRAP se llegó incluso a la conclusión de que el registro exhaustivo de camiones de gran tamaño con instrumentos manuales no era práctico. Para tales fines se recomienda un sistema de instalación fija más avanzado. No obstante, siempre se pueden inspeccionar algunas partes del vehículo utilizando un instrumento manual. Resulta útil tener una escalerilla que permita alcanzar los lugares altos. Otra opción podría ser alargar el cable del detector y fijarlo a uno de los extremos de una vara larga. El registro de los espacios accesibles puede complementarse con la inspección de la parte exterior de los espacios inaccesibles.

9. EVALUACIÓN DE LOS MATERIALES RADIATIVOS ENCONTRADOS

9.1. Aspectos generales

Un paso ulterior en la evaluación de la índole de la alarma consiste en individualizar los radionucleidos específicos encontrados. Por lo general, tras la confirmación de una alarma, la localización de la fuente y la medición de la tasa de dosis, se procede a individualizar los radionucleidos emisores gamma, utilizando un dispositivo manual combinado. La individualización del radionucleido ayudará a evaluar si la alarma es o no una alarma inocente. Por ejemplo, si se determina que el material radiactivo es del tipo que con frecuencia se utiliza en tratamientos médicos, la probabilidad de que se trate de un suceso de tráfico ilícito es menor.

La individualización de los radionucleidos es apenas una parte de la evaluación de la índole de los materiales radiactivos, y de la determinación de si éstos forman parte o no de un incidente de desplazamiento involuntario o tráfico ilícito. Las entrevistas con el personal involucrado y el examen de la documentación son actividades complementarias que formarán parte de la

investigación para precisar si se trata de un acto doloso. Estos temas no se examinarán en detalle, ya que forman parte de las actividades normales de la aduana y los organismos de represión, y están fuera del alcance del presente informe.

Sin embargo, conviene estar alerta ante la posibilidad de que el material ilícito esté siendo transportado junto con una expedición lícita de materiales radiactivos, o en las remesas de esa expedición. Si un producto básico hace sonar una alarma, y se determina que es conocido por poseer altos niveles de un radionucleido de origen natural, como el ^{40}K o el ^{232}Th , quizá sea útil evaluar otras informaciones relacionadas con la remesa. Por ejemplo, en el caso de un vehículo que transporte bananos o tabaco (ricos en ^{40}K) que dé una alarma positiva, debe evaluarse la posibilidad de que, además de su carga lícita, transporte materiales radiactivos objeto de tráfico ilícito.

9.2. Dispositivos para individualizar los radionucleidos

Por lo general, los dispositivos modernos para determinar la presencia de radionucleidos miden el espectro de rayos gamma, y a partir de él individualizan el radionucleido. Son instrumentos manuales, alimentados por baterías que pueden ser utilizados en el terreno por personal no especializado. Si no es posible contar con este tipo de dispositivo para su uso sistemático en el terreno, quizás se considere apropiado obtener el apoyo técnico de expertos que dispongan de equipos más completos y menos portátiles.

La tecnología asociada a la determinación de radionucleidos está en constante desarrollo y no es posible prever qué adelantos pueden surgir en el futuro cercano. No obstante, cualquiera que sea el dispositivo utilizado para determinar los radionucleidos, es probable que el análisis demore mucho más que un registro ordinario. Con los instrumentos portátiles modernos este análisis puede demorar minutos y no horas, pero si no se dispone de ellos habría que recurrir a instrumentos más grandes, de laboratorio, que demorarían el proceso varias horas, dados los prolongados tiempos de ajuste que requieren los instrumentos de laboratorio para utilizarlos en el terreno (por ejemplo, calibración), y el tiempo que consume la recopilación y el análisis de los datos. Otra opción podría ser transportar el material radiactivo de interés a un laboratorio después de tener en cuenta todas las cuestiones de seguridad radiológica, incluido el cumplimiento del reglamento de transporte aplicable.

9.3. Características del trabajo asociado a la determinación de los radionucleidos

9.3.1. Radionucleidos de interés

Los radionucleidos que es probable encontrar en las fronteras pueden detectarse en su mayoría con instrumentos capaces de determinar espectros que registren límites máximos de energía de rayos gamma de 60 keV a 1,33 MeV como mínimo. A continuación se indican por número isotópico ascendente los radionucleidos de mayor interés y los que se pueden encontrar con mayor frecuencia:

- 1) Materiales nucleares: ^{233}U , ^{235}U , ^{239}Pu ;
- 2) Radionucleidos procedentes de usos médicos: ^{18}F , ^{67}Ga , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{111}In , ^{123}I , ^{125}I , ^{131}I , ^{133}Xe , ^{192}Ir , ^{201}Tl ;
- 3) Materiales radiactivos naturales (NORM): ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U ;

- 4) Radionucleidos procedentes de usos industriales: ^{57}Co , ^{60}Co , ^{133}Ba , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{226}Ra , ^{241}Am .

Los dispositivos para individualizar los radionucleidos deben poder determinar la presencia de todos los radionucleidos que se mencionan con anterioridad.

Dado que la probabilidad de encontrar radionucleidos específicos en diferentes tipos de cruces de fronteras, a saber, fronteras terrestres, aeropuertos y puertos, no es siempre la misma, conviene conocer que:

- En el caso de los cruces de fronteras de peatones y aeropuertos, existe mayor probabilidad de encontrar radionucleidos procedentes de usos médicos en pacientes que hayan concluido recientemente un tratamiento médico. Estos materiales radiactivos pueden estar localizados o diseminados por todo el cuerpo.
- En el caso de radionucleidos naturales como ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{238}U , la probabilidad de detección es mayor cuando se transportan grandes cantidades de materiales, como suele suceder en los puertos, los trenes y el tráfico de camiones en las fronteras terrestres.

9.3.2. Ensayos

Después de la calibración deberían individualizarse los radionucleidos siguientes, que producen una tasa de dosis de radiación gamma en el detector de aproximadamente $0,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ por encima del fondo con y sin blindaje.

- sin blindaje, en menos de 3 minutos: ^{111}In , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{133}Xe , ^{125}I , ^{123}I , ^{131}I , ^{192}Ir , ^{18}F ;
- detrás de un blindaje de acero de 3 mm, en menos de 20 minutos: ^{235}U , ^{238}U , ^{57}Co , ^{241}Am , ^{237}Np ;
- detrás de un blindaje de acero de 5 mm, en menos de 20 minutos: ^{239}Pu , ^{233}U , ^{133}Ba , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{192}Ir .

Conviene determinar combinaciones de radionucleidos, como $^{137}\text{Cs} + ^{239}\text{Pu}$, $^{131}\text{I} + ^{235}\text{U}$, $^{57}\text{Co} + ^{235}\text{U}$, $^{133}\text{Ba} + ^{239}\text{Pu}$, que producen por separado una tasa de dosis de radiación gamma en el detector de aproximadamente $0,5 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ por encima del fondo.

9.4. Aspectos prácticos que deben tenerse en cuenta al seleccionar un instrumento

La utilidad de un instrumento depende de varios factores:

- La interfaz de usuario (diales, luces, pantalla) debe ser grande y fácil de leer en diversas condiciones de iluminación.
- Los instrumentos de campo mejores y más prácticos son los que tienen un número muy reducido de botones, llaves y teclas (para la navegación con cualquier programa informático).
- La estructura del menú de un programa informático debe ser sencilla y fácil de seguir intuitivamente.
- Por lo general no es necesaria la visualización detallada del espectro gamma, aunque esta opción podría resultar útil en un nivel más avanzado del menú para el diagnóstico por parte de un usuario especializado.

- Los datos que proporciona el instrumento resultan más útiles si tienen un alto grado de certidumbre, lo que demostraría su constante aparición en pantalla. En condiciones de campo, no conviene que el instrumento indique más de una opción en relación con un solo radionucleido.
- Si no es posible individualizar de manera inequívoca un radionucleido, mensajes claros como “no determinado” o “preciso ampliar medición” resultan de mayor utilidad que una determinación errónea.
- Cuanto más rápida sea la velocidad de procesamiento del programa informático empleado en un instrumento, más rápido se obtienen los resultados de los análisis para su uso práctico inmediato. En la medición de un espectro gamma para determinar la presencia de radionucleidos, hay dos períodos diferentes de interés. Uno es el tiempo de medición necesario para registrar el espectro gamma, que depende de la actividad de la fuente, la energía de las líneas gamma, la presencia de blindaje y la distancia de la fuente, y que puede oscilar entre decenas de segundos y unos 10 minutos. Después de efectuar la medición, se procesa el espectro gamma para determinar los radionucleidos presentes. Por lo general este proceso dura menos de 30 segundos.
- La posibilidad de almacenar espectros en una memoria no volátil y transferirlos a una computadora o a un enlace a distancia para que sean examinados por expertos, puede ser útil, particularmente si los problemas no pueden resolverse en el lugar.
- En muchas formas los instrumentos para la vigilancia en fronteras se encuentran aún en una fase incipiente, y es preciso seguir avanzando en su desarrollo para mejorar su facilidad de uso y solidez.

ANEXO I MATERIALES RADIATIVOS Y RADIONUCLEIDOS DE INTERÉS

En el presente anexo figuran algunos cuadros útiles de materiales radiactivos y radionucleidos de interés para quienes realizan actividades de vigilancia fronteriza.

A.I.1. Causas de alarmas inocentes

Como se analiza en el texto principal y se ilustra en la figura 1, las alarmas inocentes en los sistemas de vigilancia fronteriza se producen fundamentalmente a causa de aplicaciones médicas de materiales radiactivos y de expediciones lícitas de materiales radiactivos de origen natural (NORM), materiales radiactivos presentes en productos de consumo y radionucleidos marcados, entre otras.

A.I.1.1. Radionucleidos procedentes de usos médicos

En el cuadro I figuran los radionucleidos procedentes de usos médicos que suelen encontrarse con mayor frecuencia.

Cuadro I: Radionucleidos procedentes de usos médicos más comunes

Galio-67	Yodo-129
Tecnecio-99m	Yodo-131
Indio-111	Xenón-133
Yodo-123	Talio-201
Yodo-125	

A.I.1.2. Materiales radiactivos naturales (NORM)

Los radionucleidos naturales más frecuentes son el ^{40}K , el U natural (^{238}U , ^{226}Ra) y el Th natural (^{232}Th). Los dos últimos pueden estar también en equilibrio con su progenie.

Cuadro II: Materiales en los que suele observarse la presencia de radionucleidos naturales

Sustancia	Concentración de actividad aproximada expresada en Bq.kg^{-1}		
	K-40	Ra-226	Th-232
Fertilizantes	40–8000	20–1000	20–30
Granito	600–4000	30–500	40–70
Adobe	300–2000	20–90	32–200
Pizarra	500–1000	30–70	40–70
Piedra arenisca	40–1000	20–70	20–70
Mármol	40–200	20–30	20
Feldespato	2000–4000	40–100	70–200
Monacita y	40–70	30–1000	50–3000
Hormigón	150–500	40	40

Otras sustancias que contienen radionucleidos naturales son las siguientes:

- Electrodo de tungsteno toriado para soldaduras
- Cerámica dental
- Gemas irradiadas (material básico natural que contiene radionucleidos artificiales)

- Lentes de cámaras
- Polvo para pulir
- Vidrios toriados
- Barnizados cerámicos coloreados
- Mantos de gas incandescente
- Bananos, marihuana (que contienen K-40)

Cabe señalar que el uranio que se ha empobrecido en ^{235}U , y por lo tanto es básicamente ^{238}U , suele emplearse como blindaje contra las radiaciones en los contenedores para fuentes dada su alta densidad.

A.I.1.3. Radionucleidos de uso frecuente en la industria y las investigaciones

Cuadro III: Radionucleidos de uso frecuente en la industria y las investigaciones

Sodio-22	Itrio-90	Bario-133
Fósforo-32	Tecnecio-99	*Cesio-137
Calcio-47	Tecnecio-99m	Promecio-147
Cobalto-58	Rutenio-106	Gadolinio-153
*Cobalto-60	Paladio-103	*Iridio-192
Galio-67	Indio-111	Mercurio-197
Selenio-75	Yodo-123	Talio-201
Criptón-81m	Yodo-125	Radón-222
Itrio-88	Yodo-129	*Radio-226
Estroncio-89	Yodo-131	Plutonio-238
*Estroncio-90	Xenón-133	*Californio-252

*Aunque estos materiales radiactivos se utilizan también en la medicina, se emplean fundamentalmente en la *radioterapia*, y no debe detectarse su presencia cuando las personas son sometidas a control. Si, no obstante, se detecta y verifica la presencia de estos materiales radiactivos en las personas, se recomienda una inmediata investigación.

A.I.2. Materiales radiactivos asociados con incidentes notificados a la base de datos del OIEA

Los datos que figuran a continuación se han extraído de la base de datos del OIEA sobre incidentes de tráfico ilícito (según el último informe completo de 31 de diciembre de 2000).

Cuadro IV: Materiales nucleares registrados en la base de datos sobre tráfico ilícito

Elemento	Descripción del material	
	Tipo de material	*Coeficiente de masa
Uranio	natural	0,1 g–82 kg
	empobrecido	0,1 g–100 kg
	poco enriquecido	4,11 g–149,8 kg
	muy enriquecido	0,17 g–2,972 kg
Plutonio	total	0,05 mg–363 g
Torio	diversas formas químicas	0,3 kg–1,400 kg

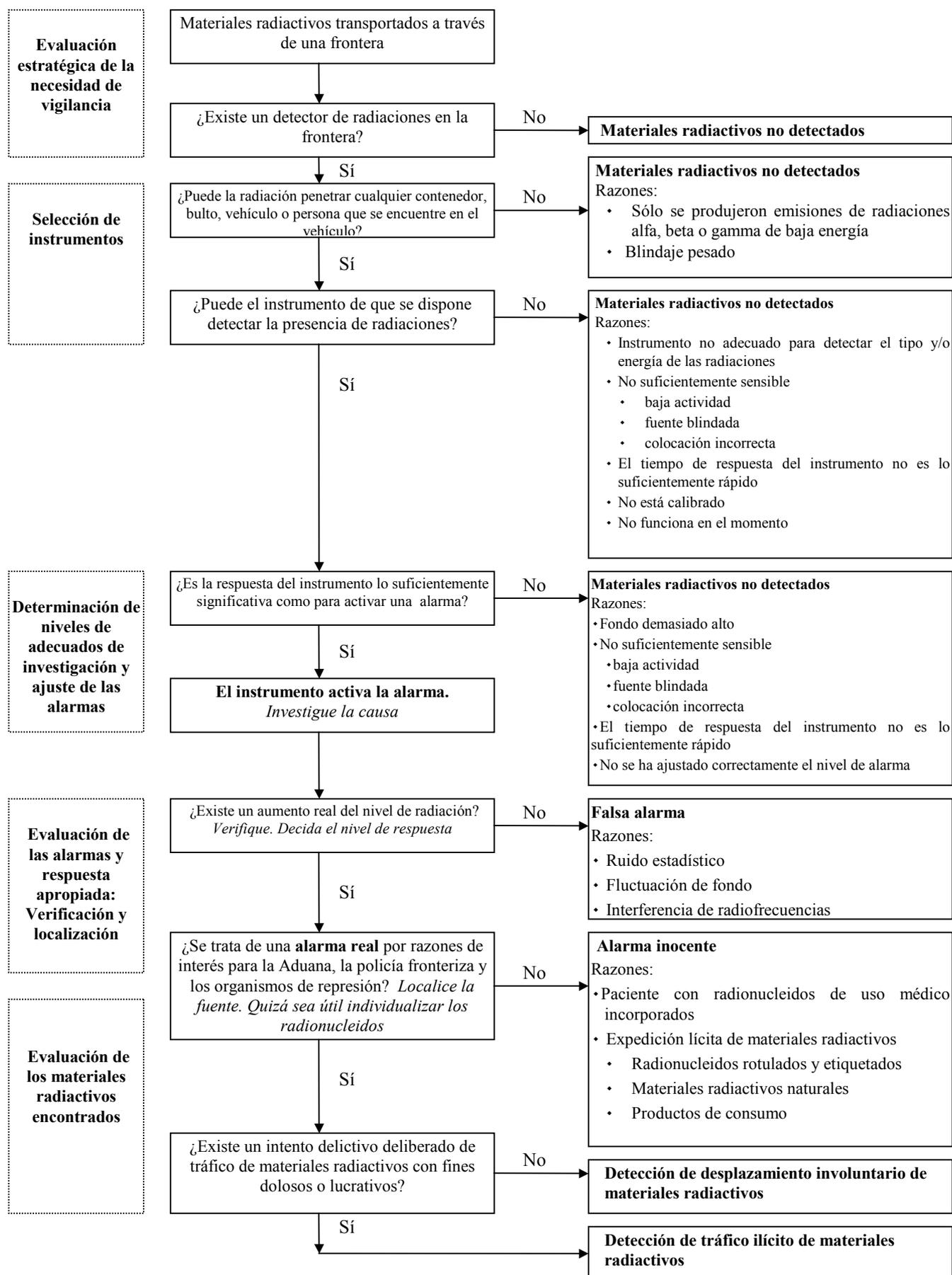
*El valor de masa más bajo y más alto de todos los materiales incautados.

Cuadro V: Otros radionucleidos de interés registrados en la base de datos sobre tráfico ilícito

Radionucleido	Tipo de radiación	Actividad/coeficiente de flujo neutrónico*
Americio-241	a, g	$3,7 \times 10^4$ Bq – $2,0 \times 10^{10}$ Bq
Cadmio-109	g	$1,85 \times 10^5$ Bq – $3,7 \times 10^8$ Bq
Cesio-137	b, g	$1,85 \times 10^5$ Bq – $3,1 \times 10^{12}$ Bq
Californio-252	a, g, n	$3,3 \times 10^6$ n.s. ⁻¹ – $1,3 \times 10^7$ n.s. ⁻¹
Cobalto-60	b, g	$3,34 \times 10^2$ Bq – $3,26 \times 10^{13}$ Bq
Iridio-192	G	$9,25 \times 10^4$ Bq – $2,94 \times 10^{12}$ Bq
Criptón-85	b, g	$1,85 \times 10^5$ Bq – $1,85 \times 10^7$ Bq
Plomo-210	a, b, g	$1,0 \times 10^4$ Bq
Estroncio-90	B	$1,8 \times 10^3$ Bq – $2,6 \times 10^{11}$ Bq
Radio-226	a, b	$7,1 \times 10^3$ Bq – $5,0 \times 10^8$ Bq
Tecnecio-99m	b, g	$5,9 \times 10^9$ Bq – $1,4 \times 10^{11}$ Bq

* La actividad más baja y más alta de todos las fuentes incautadas.

ANEXO II. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO CONDUCTENTE A LA DETECCIÓN DE CASOS DE DESPLAZAMIENTO INVOLUNTARIO O TRÁFICO ILÍCITO



REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Prevención del desplazamiento involuntario y el tráfico ilícito de materiales radiactivos, OIEA-TECDOC-1311, Viena (2001).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Response to events involving inadvertent movement and illicit trafficking of radioactive materials, IAEA-TECDOC-1313, Viena (2001).
- [3] COMISIÓN REGULADORA NUCLEAR DE LOS ESTADOS UNIDOS, Lost Iridium-192 Source Resulting in the Death of Eight Persons in Morocco, Information Notice No. 85-57, USNRC, Washington (1985).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente radiológico de Goiânia, OIEA, Viena (1988).
- [5] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA 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, Núm. 115, OIEA, Viena (1997).
- [6] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA ORGANIZACIÓN DE COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICOS, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE SALUD, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, Protección Radiológica y Seguridad de las Fuentes de Radiación, Colección Seguridad No. 120, OIEA, Viena (1996).
- [7] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad nuclear, radiológica, de los desechos radiactivos y del transporte: su infraestructura en el plano legal y estatal, Colección Normas de Seguridad, Núm. GS-R-1, OIEA, Viena (2000).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Organization and Implementation of a National Regulatory Infrastructure Governing Protection Against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources, IAEA-TECDOC-1067, Viena (1999).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de conducta sobre la seguridad tecnológica y la seguridad física de las fuentes radiactivas, OIEA/CODEC/2001, OIEA, Viena (2001).
- [10] CENTROS AUSTRÍACOS DE INVESTIGACIÓN, SEIBERSDORF, Programa de evaluación de la detección de la radiación en el tráfico ilícito, informe final, OEFZS-G-0002, Seibersdorf (2000).
- [11] ANZELON, G., HAMMOND, W., NICHOLAS, M., “The IAEA's Illicit Trafficking Database Programme”, Measures to Prevent, Intercept and Respond to Illicit Uses of Nuclear Material and Radioactive Sources (Proc. Conf. Stockholm, 2001), C&S Papers Series No. 12, OIEA, Viena (2002).

- [12] LUBENAU, J.O., YUSKO, J.G., Radioactive Materials in Recycled Metals: and update. *Health Phys.* **74** 3 (1998).
- [13] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos, Colección de Normas de Seguridad, Núm. ST-1, OIEA, Viena (1996).

GLOSARIO

A los efectos de la presente publicación, son aplicables las siguientes definiciones.

Control de materiales radiactivos (control of radioactive materials)

El acto por el cual las autoridades competentes mantienen bajo una supervisión minuciosa la producción, el uso, el almacenamiento, el transporte y la disposición final de los materiales radiactivos.

Desechos radiactivos (radioactive waste)

Materias, sea cual fuere su forma física, que quedan como residuos de prácticas o intervenciones y para las que no se prevé ningún uso i) que contienen o están contaminadas por sustancias radiactivas y presentan una actividad o concentración de actividad superior al nivel de dispensa de los requisitos reglamentarios, y ii) la exposición a las cuales no está excluida de las Normas.

Desplazamiento involuntario (inadvertent movement)

Toda recepción, posesión, utilización o transferencia no intencional y no autorizada de materiales radiactivos, incluidos materiales nucleares. **Tráfico ilícito (illicit trafficking)**

Todo desplazamiento intencional no autorizado o comercial (particularmente internacional) de materiales radiactivos (incluidos materiales nucleares) que se realice con fines delictivos.

Fuente huérfana (orphan source)

Fuente que plantea suficiente riesgo radiológico para justificar su control reglamentario, pero que no está sometida al mismo, ya sea porque nunca lo ha estado, o porque ha sido abandonada, perdida, extraviada, robada o transferida sin la debida autorización.

Material nuclear (nuclear material)

Plutonio, excepto aquél cuyo contenido en el isótopo plutonio-238 exceda del 80%, el uranio-233, el uranio enriquecido en los isótopos 235 o 233, 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.

Materiales radiactivos (radioactive material)

Materiales designados en la legislación nacional o por el órgano regulador como sujetos al control reglamentario debido a su radiactividad.

No proliferación (non-proliferation)

Término de amplia acepción utilizado en los acuerdos internacionales para limitar la disponibilidad de materiales nucleares y reducir así la capacidad de producción de armas nucleares.

Protección física (physical protection)

Medidas de protección de los materiales nucleares o instalaciones autorizadas que tienen como objetivo impedir el acceso o la retirada no autorizados de material fisionable o actos de sabotaje en relación con las salvaguardias, por ejemplo las medidas contenidas en la Convención sobre la protección física de los materiales nucleares.

Salvaguardias (safeguards)

Sistema de verificación en el marco de la política de no proliferación internacional, aplicado a los usos pacíficos de la energía nuclear y que tiene la finalidad de mantener bajo estricto control los materiales nucleares.

COLABORADORES EN LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

Andrasi, A.	Instituto de Investigaciones de Energía Atómica KFKI, Hungría
Ayğün, A.	Administración de Aduanas, Turquía
Beck, P.	Centro de Investigaciones, Seibersdorf, Austria
Becker, D.	Bundesamt für Strahlenschutz, Alemania
Betko, I.	Administración de Aduanas, República Eslovaca
Ciani, V.	Comisión Europea, Bélgica
Cunningham, J.	Pennant Security Consultants Ltd, Reino Unido
Dodd, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Duftschnid, K.E.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Englefield, C.	Environment Agency, Reino Unido
Gayral, J.P.	Commissariat à l'Energie Atomique, Francia
Geysels, F.	Programme Environnement, Service Général d'Appui Policier Bélgica
Golder, F.	Instituto de Investigaciones de Energía Atómica KFKI, Hungría
Hagberg, N.	Instituto Sueco de Protección Radiológica, Suecia
Hohenberg, J.K.	Ministerio Federal de Agricultura, Austria
Hort, M.	RC Plzen, República Checa
Jurina, V.	Ministerio de Protección de la Salud, República Eslovaca
Karakaya, M.	Dirección General de Seguridad, Turquía
Klastersky, K.	NCB Interpol Prague, República Checa
Kolobov, I.	Ministerio de Combustible y Energía, Ucrania
Kravchenko, N.	Comité Estatal de Aduanas de la Federación de Rusia
Kümbül, A.	Administración de Aduanas, Turquía
Maher, L.	Exploranium, Ltd, Canada
Maiorano, N.	Unidad Nacional de EUROPOL, Italia
Maroto, R.	ICPO (INTERPOL), Francia
Meehan, W.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Mellwig, R.	Organización Mundial de Aduanas, Bélgica
Menga, A.	Service Opérationnel pour l'Ecologie de L'Arme des Carabiniers, Italia
Miklush, D.I.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Molnár, K.	Autoridad de Energía Atómica, Hungría
Montmayeul, J.P.	Commissariat à l'Energie Atomique, Francia
Nilsson, A.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Okyar, B.	Organismo Turco de Energía Atómica, Turquía
Ortiz López, P.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Osborne, R.V.	Consultor privado, Canadá
Paaladino, N.	Grupo contra el fraude de Triestes, Italia
Raggetti, N.	Colonel Des Carabiniers, Italia
Rakshit, S.	Administración de Aduanas, Finlandia
Rostek, H.J.	Zollkriminalamt, Alemania
Saka, E.	Organización Mundial de Aduanas, Bélgica
Samiei, M.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Schmitzer, C.	Centro de Investigaciones, Seibersdorf, Austria
Sedláček, J.	Oficina Estatal de Seguridad Nuclear, República Checa
Slover, J. de	Administración de Aduanas, Bélgica
Smagala, G.	Laboratorio Central de Protección Radiológica, Polonia

Smith, D.	US Customs Service, Estados Unidos de América
Solomin, A.	Oficina Central Nacional (INTERPOL), Federación de Rusia
Stavrov, A.	Polimaster, Belarús
Stefulova, A.	Autoridad Reguladora Nuclear, República Eslovaca
Strand, J.	Administración de Aduanas, Noruega
Sudakou, I.	Comisión de Reglamentación de la Seguridad Nuclear y Radiológica,
Belarús	
Thomson, J.	Pennant Security Consultants Ltd, Reino Unido
Tikkinen, J.	Autoridad de Radiación y Seguridad Nuclear, Finlandia
Todorova, B.Z.	Servicio Búlgaro de Aduanas, Bulgaria
Vadala, G.	Corps Forestier de l'Etat, Italia
Valle, A.D.	Departamento de Aduanas e Impuestos, España
Weil, L.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Weiss, B.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Willuhn, K.	Bundesamt für Strahlenschutz, Alemania
Wrixon, A.D.	Organismo Internacional de Energía Atómica
Wynne, B.	Misión Permanente del Reino Unido ante el OIEA
York, R.L.	Los Álamos National Laboratory, Estados Unidos de América
Yusko, J.	Organismo Internacional de Energía Atómica