



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

IAEA TECDOC SERIES

No. 2100

Estrategia para la Prevención, Detección y Respuesta Frente a la Presencia Inadvertida de Material Radiactivo en el Reciclado de Metales y Otros Procesos Asociados



NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA Y PUBLICACIONES CONEXAS

NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

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

Las publicaciones mediante las cuales el OIEA establece las normas pertenecen a la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*. Esta colección abarca la seguridad nuclear, radiológica, del transporte y de los desechos. La colección comprende las siguientes categorías: **Nociones Fundamentales de Seguridad, Requisitos de Seguridad y Guías de Seguridad.**

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

www.iaea.org/es/recursos/normas-de-seguridad

En este sitio se encuentran los textos en inglés de las normas de seguridad publicadas y de los proyectos de normas. También figuran los textos de las normas de seguridad publicados en árabe, chino, español, francés y ruso, el *Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA* y un informe de situación sobre las normas de seguridad que están en proceso de elaboración. Para más información se ruega ponerse en contacto con el OIEA en la dirección: Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Viena, Austria.

Se invita a los usuarios de las normas de seguridad del OIEA a informar al Organismo sobre su experiencia en la utilización de las normas (por ejemplo, si se han utilizado como base de los reglamentos nacionales, para realizar exámenes de la seguridad o para impartir cursos de capacitación), con el fin de asegurar que sigan satisfaciendo las necesidades de los usuarios. Se puede hacer llegar la información a través del sitio del OIEA o por correo postal a la dirección anteriormente señalada, o por correo electrónico a la dirección: Official.Mail@iaea.org.

PUBLICACIONES CONEXAS

El OIEA facilita la aplicación de las normas y, con arreglo a las disposiciones de los artículos III y VIII.C de su Estatuto, pone a disposición información relacionada con las actividades nucleares pacíficas, fomenta su intercambio y sirve de intermediario para ello entre sus Estados Miembros.

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

Existen asimismo otras publicaciones del OIEA relacionadas con la seguridad, como las relativas a la **preparación y respuesta para casos de emergencia**, los **informes sobre evaluación radiológica**, los **informes del INSAG** (Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear), los **informes técnicos** y los **documentos TECDOC**. El OIEA publica asimismo informes sobre accidentes radiológicos, manuales de capacitación y manuales prácticos, así como otras obras especiales relacionadas con la seguridad.

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

La *Colección de Energía Nuclear del OIEA* comprende publicaciones de carácter informativo destinadas a fomentar y facilitar la investigación, el desarrollo y la aplicación práctica de la energía nuclear con fines pacíficos. Incluye informes y guías sobre la situación y los adelantos de las tecnologías, así como experiencias, buenas prácticas y ejemplos prácticos en relación con la energía nucleoelectrónica, el ciclo del combustible nuclear, la gestión de desechos radiactivos y la clausura.

ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN,
DETECCIÓN Y RESPUESTA FRENTE
A LA PRESENCIA INADVERTIDA
DE MATERIAL RADIATIVO
EN EL RECICLADO DE METALES
Y OTROS PROCESOS ASOCIADOS

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

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

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

IAEA-TECDOC-2100

ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN,
DETECCIÓN Y RESPUESTA FRENTE
A LA PRESENCIA INADVERTIDA
DE MATERIAL RADIATIVO
EN EL RECICLADO DE METALES
Y OTROS PROCESOS ASOCIADOS

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA
VIENA, 2025

DERECHOS DE AUTOR

Todas las publicaciones científicas y técnicas del OIEA están protegidas en virtud de la Convención Universal sobre Derecho de Autor aprobada en 1952 (Ginebra) y revisada en 1971 (París). Desde entonces, la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (Ginebra) ha ampliado la cobertura de los derechos de autor para incluir la propiedad intelectual de obras electrónicas y virtuales. Es preciso obtener autorización para utilizar textos completos, o parte de ellos, que figuren en publicaciones del OIEA, en formato impreso o electrónico, y, por lo general, esta estará sujeta a un acuerdo sobre regalías. Se aceptan propuestas relativas a la reproducción y la traducción sin fines comerciales, que se examinarán individualmente. Las solicitudes de información deben dirigirse a la Sección Editorial del OIEA:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta
Sección Editorial
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
tel.: +43 1 2600 22529 o 22530
correo electrónico: sales.publications@iaea.org
www.iaea.org/publications

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

Sección de Infraestructura de Reglamentación y de Seguridad del Transporte
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Viena (Austria)
Correo electrónico: Official.Mail@iaea.org

© OIEA, 2025
Impreso por el OIEA en Austria
Septiembre de 2025
<https://doi.org/10.61092/iaea.glvp-dbym>

ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y RESPUESTA
FRENTE A LA PRESENCIA INADVERTIDA DE MATERIAL
RADIATIVO EN EL RECICLADO DE METALES
Y OTROS PROCESOS ASOCIADOS

IAEA-TECDOC-2100
ISBN 978-92-0-318325-3 (papel) | ISBN 978-92-0-318425-0 (PDF)
Colección de Documentos Técnicos del OIEA, ISSN 2414-4223
OIEA, Viena, 2025

PREFACIO

El presente trabajo se ha realizado en el marco del programa técnico promovido, mantenido y financiado por el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (FORO) y ejecutado mediante el programa extrapresupuestario del OIEA sobre Seguridad Nuclear y Radiológica en Iberoamérica.

El FORO es una asociación de organismos reguladores creada en 1997 con el objetivo de promover un elevado nivel de seguridad en todas las prácticas en las que se utilizan materiales radiactivos o nucleares en sus países miembros y por ende en los países de la región iberoamericana.

Actualmente el FORO está constituido por los organismos reguladores de Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Paraguay, Perú, Portugal y Uruguay.

El OIEA desea agradecer a los que han contribuido en la preparación y revisión de esta publicación. Los oficiales del OIEA responsables de la publicación fueron R. Pacheco y D. Tellería de la División de Seguridad Radiológica, del Transporte y de los Desechos.

NOTA EDITORIAL

Esta publicación se ha preparado a partir del material original aportado por los colaboradores y no ha sido editada por el personal de los servicios editoriales del OIEA. Las opiniones expresadas son las de los colaboradores y no reflejan necesariamente las del OIEA o las de sus Estados Miembros.

Ni el OIEA ni sus Estados Miembros asumen responsabilidad alguna por las consecuencias que puedan derivarse del uso de esta publicación.

En esta publicación no se abordan cuestiones de responsabilidad, jurídica o de otra índole, por actos u omisiones por parte de persona alguna.

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

El OIEA no es responsable de la continuidad o exactitud de las URL de los sitios web externos o de terceros en Internet a que se hace referencia en esta publicación y no garantiza que el contenido de dichos sitios web sea o siga siendo exacto o adecuado.

CONTENIDO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. | ANTECEDENTES..... | 3 |
| 1.2. | OBJETIVO..... | 5 |
| 1.3. | ALCANCE..... | 5 |
| 1.4. | ESTRUCTURA..... | 6 |
| 2. | MODELOS DE ESTRATEGIA Y SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 7 |
| 2.1. | MODELO MANDATORIO..... | 7 |
| 2.2. | MODELO VOLUNTARIO..... | 7 |
| 3. | ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 8 |
| 3.1. | FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 8 |
| 3.2. | RECURSOS HUMANOS..... | 11 |
| 3.3. | FINANCIACIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 11 |
| 4. | IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 12 |
| 4.1. | MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN..... | 12 |
| 4.2. | MEDIDAS PARA LA DETECCIÓN..... | 13 |
| 4.3. | MEDIOS DE DETECCIÓN..... | 14 |
| 4.3.1. | Recursos técnicos..... | 14 |
| 4.3.2. | Medios de detección..... | 14 |
| 4.3.3. | Recurso necesario..... | 18 |
| 4.3.4. | Recurso necesario..... | 19 |
| 4.3.5. | Recurso necesario..... | 19 |
| 4.4. | RECURSOS HUMANOS..... | 21 |
| 4.4.1. | Objetivos de la capacitación..... | 21 |
| 4.4.2. | Enfoque gradual de la capacitación..... | 22 |
| 4.4.3. | Contenido de la capacitación..... | 23 |
| 4.5. | MATERIAL RADIATIVO NATURAL..... | 23 |
| 4.6. | MEDIDAS PARA LA RESPUESTA..... | 24 |
| 4.7. | RESPUESTA A LA DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO EN LA CHATARRA..... | 25 |
| 4.8. | RESPUESTA A LA DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO EN LOS PROCESOS O PRODUCTOS..... | 25 |
| 4.9. | GESTIÓN DE FUENTES HUÉRFANAS RECUPERADAS Y OTROS DESECHOS RADIATIVOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DEL RECICLADO DE METALES..... | 26 |
| 4.10. | REGISTROS..... | 28 |
| 4.11. | FORMACIÓN E INFORMACIÓN..... | 29 |
| 4.12. | COOPERACIÓN INTERNACIONAL E INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN..... | 30 |
| 5. | SEGUIMIENTO DE LA IMPLANTACIÓN DE LA ESTRATEGIA..... | 31 |
| | REFERENCIAS..... | 31 |

| | |
|---|----|
| ANEXOS: ARCHIVOS COMPLEMENTARIOS | 36 |
| CONTRIBUYENTES A LA REDACCIÓN Y REVISIÓN..... | 43 |

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la recuperación y del reciclado de metales contribuye en todo el mundo a optimizar el uso de los recursos naturales, incidiendo positivamente en el logro del desarrollo sostenible. En las últimas décadas han ocurrido una serie de incidentes en numerosos países, caracterizados por la presencia inadvertida de material radiactivo en los materiales recuperados o en los productos resultantes de su reciclado (ver, por ejemplo, Ref. [1]).

La experiencia ha demostrado que la aparición de material radiactivo en el proceso de reciclado de metales puede tener su origen tanto en materiales o productos procedentes del mercado nacional como del internacional. Así mismo, los incidentes ocurridos hasta la fecha han puesto de manifiesto que si bien lo más frecuente es que el material radiactivo se presente en forma de contaminación de piezas por radionúclidos de origen natural (material radiactivo de origen natural — NORM), el mayor riesgo radiológico se encuentra asociado a la presencia de fuentes huérfanas en las corrientes de recuperación.

Entre los incidentes que han tenido mayores consecuencias, se pueden citar la fusión de fuentes radiactivas en los hornos de acerías, la fragmentación de fuentes durante el proceso de reciclado de metales y la manipulación inadvertida de fuentes radiactivas abandonadas. Algunos de estos sucesos han dado lugar a altos niveles de exposición a la radiación de personas, con consecuencias graves para la salud, y a la contaminación de instalaciones y bienes, ocasionando importantes repercusiones económicas para las empresas del sector, sus instalaciones e, incluso, para los gobiernos (por ejemplo Ref. [1]).

Por todo ello, estos sucesos han suscitado la preocupación de las autoridades nacionales y organizaciones internacionales que han emprendido una serie de iniciativas tendentes a prevenir su ocurrencia y a desarrollar estructuras y metodologías para responder a estos eventos y reducir sus consecuencias [2–4].

Entre estas iniciativas destacan el fortalecimiento del control de las fuentes radiactivas, acorde con lo previsto en el Código de Conducta sobre Seguridad Tecnológica y Física de las Fuentes Radiactivas [5] aprobado por el OIEA en el año 2004; las campañas nacionales de recuperación de fuentes huérfanas; el establecimiento de sistemas nacionales para la vigilancia radiológica del proceso de recuperación y reciclado de metales; y la mejora de los mecanismos de vigilancia radiológica en el movimiento transfronterizo de mercancías [6].

En este sentido, la publicación del OIEA sobre el control del movimiento transfronterizo de materiales radiactivos inadvertidamente incorporados en el reciclado de metales y productos semiterminados de las industrias de reciclado de metales es una publicación de referencia para ser incluido entre los mecanismos adoptados para el control radiológico de este tipo de procesos industriales (por ejemplo Refs. [7,8]).

Otras publicaciones relevantes, como el *Control de fuentes huérfanas y otros materiales radiactivos en las industrias de reciclado y producción de metales* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSG-17) [9] y *Estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas e mejorar el control de fuentes vulnerables* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SSG-19) [10], aportan una gran cantidad de información que colaborará notablemente en el desarrollo de la estrategia nacional, para ser aplicadas en la industria del reciclado y en la regulación.

Esta situación ha impulsado a numerosos países a establecer mecanismos a nivel nacional para el control radiológico de la chatarra, consensuando protocolos y acuerdos institucionales entre las partes interesadas, basados en las lecciones aprendidas en los sucesos ocurridos [11–15].

En el año 2009, tuvo lugar en Tarragona (España) la Conferencia Internacional sobre Control y Gestión de Material Radiactivo Inadvertidamente Presente en Reciclado de Metales, donde participaron más de 200 expertos de 65 países y 5 organizaciones internacionales, quienes coincidieron en señalar que la presencia de material radiactivo en la chatarra es un problema global cuya prevención y detección necesita de los esfuerzos de todas las partes implicadas y actuaciones coordinadas en el ámbito internacional, que permitan el intercambio de experiencias y lecciones aprendidas a nivel nacional [16].

Algunos de los sucesos ocurridos hasta la fecha han tenido lugar en los países cuyos organismos reguladores forman parte del Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares (en adelante, FORO). La respuesta dada a escala nacional a estos sucesos ha proporcionado una importante experiencia a estos países, lo cual sitúa al FORO en una situación propicia para estructurar el conocimiento adquirido y desarrollar una estrategia armonizada, en beneficio de sus miembros y, en la medida de su interés, de otros países del ámbito latinoamericano que, incluso, podría ser extrapolada a otros países del resto del mundo.

El Comité Técnico del FORO, en su reunión Plenaria de 2009, aprobó un proyecto para capitalizar esta experiencia, elaborado sobre las conclusiones de la Conferencia Internacional de Tarragona [15]. Para esto, constituyó un grupo de trabajo, formado por expertos de todos los organismos reguladores miembros del FORO, con el mandato de elaborar una estrategia para la prevención, detección y respuesta frente a la presencia inadvertida de material radiactivo en el reciclado de metales y otros procesos asociados. La presente publicación es la respuesta dada por el grupo de trabajo, al mandato del Plenario del FORO.

El Contenido de este TECDOC podría ser de utilidad para que todas las partes implicadas — organismos gubernamentales, organismos reguladores, sistemas de respuesta en caso de emergencia radiológica, empresas del sector, entidades gestoras de residuos, empresas proveedoras de servicios y organizaciones sociales — establezcan los procedimientos adecuados para la prevención, detección y respuesta frente a la presencia de material radiactivo en la recuperación y reciclado de metales.

Se considera necesario tomar en cuenta las conclusiones de la Reunión de expertos Iberoamericanos sobre vigilancia radiológica de la chatarra y recuperación de fuentes radiactivas que se llevó a cabo en Veracruz, México, en febrero del 2013 y que fue organizada por el OIEA, dado el enorme interés generado en la región, y sus conclusiones y recomendaciones necesitan ser tenidas en cuenta, al momento de establecer la estrategia adecuada, constituyendo el marco apropiado que podría ser aplicado como un acuerdo de tipo regional. Esta reunión del OIEA enfatizó que los accidentes en el proceso de reciclaje de metales podrían involucrar situaciones de extrema complejidad radiológica y los países con mayor preparación y capacidad de respuesta estarían en condición de poder ayudar a otros países cuando sea necesario (ver Anexo XII).

Este TECDOC aborda aspectos únicos de la situación en América Latina que necesitan orientación específica, y de esta manera, esta publicación proporcionaría mayores detalles más allá de los ya publicados por el OIEA.

En virtud de la generación de otros documentos relacionados con el control de materiales radiactivos detectados en la industria del reciclado, posteriores a la creación del documento original, se considera la necesidad de proponer como referencias SSG-17 [9], así como Ref. [5]

Del mismo modo se destaca *Comunicación y consulta del organismo regulador con las partes interesadas* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-6) [17], donde se recomiendan mecanismos de interacción con todos aquellos involucrados en la implementación de esta estrategia.

Finalmente se considera relevante incluir para el desarrollo de la estrategia elegida, los conceptos de SSG-19 [10].

Esta publicación en particular trata la evaluación de la situación nacional y la revisión de metodologías y mecanismos reglamentarios, abordando el legado de actividades del pasado, en el uso de material radiactivo.

Todas estas publicaciones técnicas, ofrecen el marco adecuado para evaluar, acorde a las leyes, decretos y normas del país, el mecanismo que se necesita implementar para actuar, ante la detección de material radiactivo en la industria del reciclado de metales, cooperando con diferentes recursos, provenientes del Estado, el órgano regulador y las distintas partes interesadas como la industria y organizaciones relacionadas.

1.1. ANTECEDENTES

La gran mayoría de las fuentes radiactivas utilizadas en las diferentes aplicaciones de las radiaciones ionizantes, se encuentran selladas en cápsulas metálicas o electrodepositadas en una placa de metal estable, que son diseñadas y fabricadas de acuerdo con estándares internacionales. Las fuentes radiactivas, a su vez, se encuentran dentro de contenedores metálicos que aseguran su integridad y atenúan la radiación que emiten.

Las fuentes radiactivas selladas suelen ir incorporadas en equipos diseñados, a su vez, acorde a lo establecido en documentos o estándares internacionales. Tanto los contenedores de las fuentes como los equipos en los que se incorporan son de naturaleza metálica, y por lo tanto son susceptibles de ser incorporados al proceso de reciclado de metales.

En los países del FORO, el uso de las fuentes radiactivas se rige por las regulaciones nacionales que son coherentes con las normas y recomendaciones internacionales, y cumplen con los compromisos establecidos en el Código de Conducta del OIEA [5]. El cumplimiento de estas normas garantiza en todos los países que las fuentes son utilizadas y gestionadas de forma segura una vez concluida su vida útil.

Sin embargo, la seguridad de las fuentes puede verse seriamente deteriorada si se pierde el control sobre ellas como consecuencia, por ejemplo, del extravío o el abandono por el usuario autorizado, el robo o hurto de las fuentes radiactivas, el uso previo a la existencia de los actuales controles reguladores, el ingreso al país sin el debido control aduanero, el uso no declarado al órgano regulador, o su uso en aplicaciones militares que en algunos países está o ha estado exento del control regulador. En algunos casos, la falla principal ha sido la falta de aplicación de medidas de protección y seguridad tecnológica, necesarias durante la posesión y el uso de material radiactivo. En otros casos, la falta de gestión adecuada a través de mecanismos regulatorios, de fuentes radiactivas en desuso, que no son retiradas conforme son dejadas de utilizar por los usuarios, incrementa la posibilidad de que se produzcan incidentes radiológicos.

Las fuentes que se encuentran en estas condiciones, a las que suele llamarse fuentes huérfanas, pueden ser incorporadas al flujo de reciclado de metales donde pueden irradiar a los trabajadores de esta industria o ser sometidas a condiciones superiores a sus especificaciones de diseño, dando lugar a la contaminación de las instalaciones, de los productos y subproductos del reciclado, así como al medio ambiente.

En las últimas décadas han ocurrido una serie de incidentes de esta naturaleza que han dado lugar a la fusión de fuentes radiactivas en acerías, la fragmentación de fuentes durante el proceso de reciclado de metales o la manipulación inadvertida de dispositivos que contenían materiales radiactivos. Algunos de estos incidentes han tenido graves consecuencias radiológicas sobre las personas y económicas sobre las empresas. Este tipo de incidentes han sucedido en numerosos países entre los que se encuentran algunos que integran el FORO. Entre éstos, cabe destacar los sucesos acaecidos en Ciudad Juárez (México 1983), Goiania (Brasil 1987) y Los Barrios (España 1998), que en algunos casos dieron lugar a:

- (a) La exposición a la radiación y contaminación de personas, que ocasionaron la pérdida de vidas humanas y en algunos casos graves daños para la salud;
- (b) La contaminación de las instalaciones, productos y subproductos, cuya solución hizo falta inversiones que van desde cientos de miles hasta decenas de millones de dólares;
- (c) Graves pérdidas de la imagen corporativa y la desaparición de la empresa propietaria de la instalación en la que ocurrió el incidente;
- (d) La contaminación del ambiente, cuya recuperación hizo falta la demolición de viviendas y edificios, así como la descontaminación de espacios públicos, tareas que se desarrollaron durante largo tiempo;
- (e) La generación de grandes cantidades de residuos radiactivos, de decenas a cientos de toneladas, cuya gestión hizo falta de grandes recursos económicos, así como la construcción o adaptación de instalaciones específicas para su tratamiento, almacenamiento y posterior gestión;
- (f) Una gran preocupación de las personas potencialmente afectadas por los sucesos que han necesitado atención social y psicológica, que en algunos casos se ha prolongado por decenas de años;
- (g) Actuaciones legales para atender a demandas civiles por daños y perjuicios.

La adopción de soluciones para hacer frente a la presencia inadvertida de material radiactivo en la chatarra se ha visto dificultadas en la mayoría de los casos, por el hecho de que las empresas que participan en el reciclado de metales (recolectores, fragmentadores, gestores de chatarra, transportistas, fundiciones, etc.) no están habituadas a aplicar los principios de seguridad radiológica en sus procesos industriales.

Las dificultades se incrementan además por el hecho de que la solución del problema involucra a un gran número de actores, entre los que se pueden citar a: organismos gubernamentales, organismos reguladores, entidades de control aduanero, importadores y exportadores de chatarra, gestores de desechos radiactivos, organizaciones laborales, y a todos los eslabones de la cadena de la industria que participan del reciclado de metales, los cuales necesitan intervenir de manera integrada y coordinada.

En este contexto, varios países, entre ellos algunos representados en el FORO, han emprendido actuaciones tendentes a reducir este riesgo mediante programas nacionales para la vigilancia radiológica de los materiales metálicos, la gestión de los materiales radiactivos que se detecten y

planes de respuesta ante situaciones que generen la contaminación de las instalaciones, productos y subproductos, siguiendo recomendaciones internacionales [18–20].

Esta vigilancia ha permitido retirar un número importante de fuentes del proceso de reciclado de metales, recuperar el control sobre ellas y evitar el daño que pudieran haber producido a los trabajadores, al público, a la instalación y al medio ambiente. Por otra parte, esta vigilancia ha evidenciado que el número de fuentes detectadas está directamente relacionado con el volumen de la chatarra que se somete a vigilancia, aunque hay otros factores, que también influyen en la probabilidad de detección.

Finalmente, cabe resaltar que estas actuaciones han contribuido a incrementar la confianza general en la seguridad radiológica del comercio internacional asociado al reciclado de metales, y ha motivado a otros países y organizaciones internacionales a emprender sus propias actuaciones en este ámbito.

1.2. OBJETIVO

El objetivo de este TECDOC es colaborar con los gobiernos nacionales y los organismos reguladores de la región de Latinoamérica para establecer estrategias nacionales armonizadas para prevenir y paliar los riesgos derivados de la presencia inadvertida de material radiactivo, así como a contribuir a la mejora del control de las fuentes radiactivas, mediante la reincorporación al sistema regulador de las fuentes huérfanas detectadas en cualquier fase del proceso de reciclado de metales, en concordancia con el Código de Conducta del OIEA [5].

En particular, los objetivos específicos de la publicación están dirigidos a:

- (a) Aumentar la eficacia de los programas nacionales de control de radiactividad en la chatarra, aprovechando las experiencias acumuladas en cada uno de los países;
- (b) Contar con una estrategia homogénea y eficaz, para detectar material radiactivo, y lograr un alto nivel de capacidad de respuesta;
- (c) Mejorar la eficiencia en la utilización de recursos, mediante mecanismos de trabajo conjunto y común entre organismos reguladores;
- (d) Crear una red de expertos en este tema, con amplia capacidad para asesorar al FORO y a países de la región, que puedan solicitar apoyo o asistencia para enfrentar estos problemas, u otros similares.

En este sentido, la publicación incluye medidas técnicas, formativas, informativas y financieras que se pueden tomar por las autoridades gubernamentales y reguladoras de los países de la región y el FORO para establecer un sistema nacional de vigilancia radiológica de la chatarra y de los productos y subproductos resultantes de su reciclado, así como, para hacer frente a la aparición inadvertida de material radiactivo en esta industria. *Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Parte 1 (Rev. 1)) [21] incluye requisitos a este respecto, y orientación se proporciona en la Ref. [22].

1.3. ALCANCE

El alcance de este TECDOC abarca el desarrollo, implementación y mantenimiento de la estrategia, con un enfoque regional, ante la aparición inadvertida de material radiactivo en la industria del reciclado de metales y sus procesos asociados, en la cual es imprescindible la participación directa de todas las entidades involucradas en el proceso de reciclado de metales, los organismos

gubernamentales y reguladores, las entidades de control aduanero, los gestores de desechos radiactivos y las empresas y organizaciones empresariales y laborales involucradas en esta actividad industrial.

Este TECDOC aplica para la prevención, detección y respuesta ante el hallazgo de fuentes huérfanas de control en el reciclado de metales.

Contiene una serie de medidas para los países cuyos organismos reguladores constituyen el FORO, orientadas a establecer una estrategia nacional de prevención, detección y respuesta, así como el manejo responsable de los residuos que se originen ante la presencia inadvertida de material radiactivo en el proceso de reciclado de metales, con el objeto de proteger al público y medioambiente, que serán de utilidad para muchos otros países de la región (ver también *Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Parte 3) [22]).

La presente publicación acompaña SSG-17 [9] y pretende ser un adecuado complemento técnico, a la hora de establecer la estrategia adecuada para el país.

Esta publicación no aborda las actuaciones de respuesta a una emergencia, sin embargo, contiene los elementos necesarios para garantizar la adecuada interfaz con las actuaciones de emergencia, en caso de que esta se origine.

1.4. ESTRUCTURA

Este TECDOC consta de cinco 5 capítulos y 12 Anexos.

En el capítulo primero, se describen los antecedentes, las experiencias y los eventos radiológicos que han dado origen al desarrollo de esta publicación, tomando en cuenta la experiencia regional e internacional en este tema.

En el capítulo segundo se describen los modelos de estrategias nacionales de vigilancia radiológica de los productos metálicos más utilizados en la actualidad, se analizan las principales ventajas e inconvenientes de cada modelo y se describe un modelo que se puede establecer, basado en compromisos voluntariamente adquiridos por las partes implicadas.

En el capítulo tercero se mencionan las medidas necesarias para desarrollar una estrategia nacional, analizándose los factores que condicionan su desarrollo, implantación y mantenimiento, así como sobre los mecanismos de financiación que necesitan arbitrarse a nivel nacional, para proveer los recursos necesarios para implantar y mantener plenamente operativa la estrategia.

En el capítulo cuarto se describen las actividades que es importante llevar a cabo para poner en práctica la estrategia a través de las actuaciones técnicas necesarias para su implantación, destinadas a prevenir, detectar y responder a la detección de radiación en la chatarra o en los productos y subproductos resultantes de su procesado. Asimismo, describe medidas para la gestión de los materiales radiactivos detectados y los residuos generados en las actuaciones de respuesta; actividades para la capacitación del personal involucrado en la implantación de la estrategia; el establecimiento de registros de instalaciones y actuaciones; y la colaboración entre los países que forman parte del FORO, con otros países de la comunidad iberoamericana y con el resto de los países [23–31].

En el capítulo quinto, se presentan medidas para efectuar el seguimiento de la estrategia implantada por cada país, con el propósito de analizar sus resultados y mantener su eficacia.

En los Anexos de la publicación, que están disponibles como archivos complementarios en línea, se incluyen ejemplos de actuaciones de países que tienen establecidas estrategias nacionales para la vigilancia radiológica del proceso de reciclado de metales, junto con medidas y procedimientos para elaborar los aspectos técnicos de la estrategia.

2. MODELOS DE ESTRATEGIA Y SELECCIÓN DE LA ESTRATEGIA

Las estrategias adoptadas por los países que disponen de programas sistemáticos de vigilancia radiológica del proceso de reciclado de metales obedecen básicamente a dos modelos:

- (a) Modelo mandatorio, que se basa en considerar el reciclado como una práctica radiológica regulada según los procedimientos reguladores habituales, es decir: notificación, registro, autorización, inspección y coerción;
- (b) Modelo voluntario, que se basa en el compromiso adquirido por cada una de las partes involucradas en el proceso del reciclado, sobre la aplicación de las medidas de seguridad radiológica adecuadas para su instalación, bajo la supervisión y guía del órgano regulador.

Ambos modelos podrían ser válidos para el propósito de reducir el riesgo radiológico en el proceso de reciclado de metales en los países representados en el FORO, siendo las autoridades nacionales las que necesitan decidir cuál es el más adecuado para ser implementado en cada país.

En la selección del modelo es necesario tener en cuenta las ventajas y desventajas que ofrece cada uno de ellos, que se resumen brevemente a continuación.

2.1. MODELO MANDATORIO

El modelo mandatorio necesita el establecimiento de un marco legal específico, basado en los procedimientos reguladores de cada país y tiene la ventaja de obedecer a un proceso plenamente experimentado y bien conocido por las autoridades reguladoras. La puesta en práctica de un modelo de estas características necesitará llevar consigo la previsión de medidas coercitivas en el marco legal que se establezca, para asegurar su eficacia.

No obstante, este modelo tiene el inconveniente que necesita ser aplicado a un sector industrial que no está familiarizado con estas prácticas administrativas, a las que suele considerar difícilmente compatibles con el ritmo de su sistema productivo, cuya viabilidad depende de la agilidad con que puede desarrollarse. La puesta en práctica de este modelo lleva consigo el desarrollo de normas, procedimientos de autorización, supervisión y control que necesariamente generan una mayor carga administrativa para todas las actividades ligadas al proceso.

2.2. MODELO VOLUNTARIO

El modelo voluntario se basa en la adquisición de compromisos formales entre las empresas del sector del reciclado de metales, los organismos reguladores y las entidades autorizadas para la gestión de residuos radiactivos, en los que se especifican las funciones de cada parte, y la asunción de los costes derivados de las acciones de vigilancia radiológica y gestión de los materiales radiactivos que se recuperen. La puesta en práctica de este modelo suele llevar incorporados mecanismos incentivadores

de la participación, por ejemplo, gratuidad de la gestión de materiales radiactivos recuperados y del asesoramiento técnico que aporta el órgano regulador.

Asimismo, es aconsejable llevar a cabo acciones divulgativas dirigidas a todas las partes involucradas, porque la eficacia de una estrategia basada en este modelo está estrechamente relacionada con la amplitud de la participación, el grado de compromiso y la actitud colaborativa de todas ellas. En todo caso, la adopción de una estrategia basada en este modelo no descarta la posibilidad de implantar, en una etapa posterior, una estrategia basada en el modelo mandatorio si se considerase necesario.

3. ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Una vez que el país ha seleccionado el modelo que desea adoptar, ha de poner en marcha una serie de actuaciones para definir, implantar y mantener la estrategia de prevención, detección y respuesta frente a la presencia inadvertida de material radiactivo en el reciclado de productos metálicos, siendo necesario establecer compromisos formales entre las partes involucradas (por ejemplo, Refs. [10, 17]).

El compromiso necesita plasmarse en acuerdos y protocolos de colaboración entre las partes interesadas, con objeto de que todas se vean beneficiadas y, en conjunto, contribuyan a la seguridad radiológica de la población, trabajadores y medio ambiente.

Para asegurar el éxito de la estrategia es aconsejable crear una comisión de seguimiento que vele por el cumplimiento de los compromisos adquiridos por cada parte y analice los resultados de las experiencias adquiridas durante la vigencia de los acuerdos.

3.1. FACTORES A CONSIDERAR EN LA ELABORACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La estrategia necesita basarse en una evaluación del riesgo radiológico en función de lo que representa la presencia de material radiactivo en el reciclado de metales para el país.

El análisis necesitará tener en cuenta la dimensión del sector nacional del reciclado, sus interfaces nacionales e internacionales, los países con los que se intercambia materiales metálicos, las fortalezas y debilidades del sistema nacional de control de fuentes y gestión de residuos radiactivos (ver *Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 5) [32], y las capacidades nacionales de respuesta ante los incidentes que pudieran derivarse, así como la experiencia internacional al respecto y las oportunidades de mejora del sistema.

Este análisis formará parte de la evaluación integral de riesgos radiológicos, de manera que permita una gestión integrada y adecuada de la respuesta a una posible emergencia.

En ese sentido, es necesario tener en cuenta los resultados de la experiencia internacional en el tema y las lecciones aprendidas, en particular lo referido a los mecanismos de respuesta ante situaciones de riesgo radiológico.

Entre ellos se pueden citar:

- (a) Garantizar una asignación clara de las funciones y responsabilidades de los explotadores y otras organizaciones: acuerdos y protocolos;
- (b) Cerciorarse de que las responsabilidades de preparación y respuesta estén claramente distribuidas;
- (c) Resolver las diferencias y disposiciones incompatibles entre los diferentes participantes;

- (d) Realizar una evaluación de riesgos englobada y coordinada en el ámbito del Estado;
- (e) Desarrollar un plan nacional integrado de emergencia radiológica;
- (f) Coordinar el desarrollo de planes y procedimientos dentro de cada nivel y entre ellos mismos (nacional, local y de la industria);
- (g) Orientar el proceso de planificación;
- (h) Garantizar que se lleven a cabo exámenes periódicos a fin de identificar cualquier nueva práctica o suceso que pudiera exigir una respuesta de emergencia;
- (i) Promover la aplicación por parte de otros Estados, de las medidas destinadas a dar cumplimiento a las obligaciones internacionales pertinentes;
- (j) Actuar como punto de contacto para la cooperación internacional, en la que se incluyen los proyectos emprendidos.

La evaluación de riesgos incluye las potenciales consecuencias de cada tipo de escenario, estableciendo las acciones de mitigación que se correspondan con ellos, en el marco de la respuesta local, teniendo en cuenta que es necesario armonizar y compatibilizar los procedimientos de aplicación, [33] con la estrategia del plan nacional (ver Ref. [34], *Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Parte 7) y *Clasificación de las fuentes radiactivas* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º RS-G-1.9) [35])

La estrategia podría implementarse de forma gradual por etapas, cuyo alcance necesita ser priorizado de acuerdo con las necesidades y capacidades nacionales, tomando en cuenta también, aquellas instalaciones donde se identifiquen situaciones o problemas de mayor riesgo radiológico e impacto en los miembros del público y el medioambiente (ver Anexo I).

En términos generales, es aconsejable que, en una primera etapa, las actuaciones técnicas necesarias para poner en práctica la estrategia comiencen en las industrias siderúrgicas y grandes instalaciones de recuperación, para extenderse posteriormente y de forma gradual, al conjunto de instalaciones nacionales involucradas en el proceso del reciclado de metales.

Las actuaciones y la dimensión del sistema de vigilancia radiológica que decida implantar cada país tendrán en cuenta el resultado de un análisis sobre los tipos y el número de instalaciones existentes, la importancia de la actividad económica y social del sector de la recuperación y reciclado, y el volumen de chatarra consumida que procede de la importación o que es destinada a la exportación, entre otros.

Con objeto de facilitar al máximo la recuperación del control sobre los materiales radiactivos que se detecten con la implantación de la estrategia, es conveniente que el marco legal nacional, contemple disposiciones específicamente aplicables a las actuaciones radiológicas que serán necesarias llevar a cabo si se detecta material radiactivo [35–37].

En concreto, se refiere a las tareas de manipulación de materiales radiactivos fuera de instalaciones reguladas, a las actividades derivadas de la gestión del material radiactivo detectado, a la gestión de los residuos radiactivos que se pudieran generar en las actuaciones, y a la intervención en caso de un incidente que afecte a la instalación, población o al medio ambiente [36, 37].

La implementación de la estrategia necesita de recursos técnicos, humanos y financieros cuya dimensión es necesario evaluar en función del volumen y complejidad de las actuaciones, y de las prioridades que se establezcan a la hora de implementación de la estrategia en cada país (ver secciones 3.2 y 4.4).

Los recursos técnicos y humanos existentes en el país podrían ser suficientes para implantar y mantener la estrategia de manera eficaz (ver Ref. [38] y *Aplicación del sistema de gestión de instalaciones y actividades* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GS-G-3.1) [39]).

Desde el punto de vista del control de las fuentes radiactivas, la implantación de una estrategia de esta naturaleza, constituye una herramienta muy eficaz para devolver al ámbito regulado, aquellas fuentes sobre las que se perdió el control y que finalmente fueron incorporadas a la chatarra.

Adicionalmente, puede resaltarse el hecho de que la implantación de la estrategia tiene una fuerte interface con otras actuaciones de ámbito nacional e internacional tendientes a incrementar la seguridad física de las fuentes radiactivas (ver *Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre materiales radiactivos e instalaciones conexas* (Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 14) [40] y *Seguridad física de los materiales radiactivos durante su uso y almacenamiento y de las instalaciones conexas* (Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 11-G) [41]).

Como aspecto saliente originado en la experiencia internacional y en la colaboración de expertos que reciben diversos países, que han solicitado asistencia en el marco de las fuentes huérfanas de control halladas en la industria del reciclado, se ha detectado una problemática recurrente en muchos países, relacionada con la organización necesaria para implementar esta estrategia.

Esta organización necesita contemplar tanto los recursos de la industria como los públicos, y en especial estos últimos en el caso de una necesaria respuesta a una emergencia. Los planes de emergencia públicos y privados, establecerán las necesarias interfaces de coordinación, así como las actuaciones a realizar en cada caso (ver GSR Parte 5 [31] y *Especificaciones técnicas y funcionales para el equipo de monitorización radiológica en las fronteras* (Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 1) [41]).

Asimismo, en la organización de respuesta del titular de la instalación, se identifican claramente aquellos escenarios que llevarían de una situación de accidente a una de emergencia y en consecuencia la necesaria modificación de procedimientos y protocolos de actuación al respecto.

Para ello es importante que el país elabore un listado que incluya todas las partes intervinientes en la industria del reciclado, que puede alcanzar asociaciones, instituciones y organismos que estén involucrados, pudiendo llegar a secretarías o ministerios, con el objetivo de identificar y convocar todos los actores necesarios, de manera de facilitar la comprensión de esta problemática y sus posibles soluciones.

Asimismo, la publicación *Principios fundamentales de seguridad* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SF-1) [42] indica que “El objetivo fundamental de la seguridad es proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.” Y en ese sentido, párrafo 3.10 de SF-1 [42] indica:

“El órgano regulador debe:

- establecer medios apropiados para informar al público y otras partes interesadas, y a los medios de comunicación sobre los aspectos relativos a la seguridad (incluidos los aspectos sanitarios y ambientales) de las instalaciones y actividades y sobre los procesos reglamentarios
- consultar con las partes situadas en las cercanías, con el público y con otras partes interesadas, según el caso, mediante un proceso abierto y no excluyente.”

Este mismo principio se encuentra reflejado en las publicaciones GSR Parte 1 (Rev. 1) [21] y GSG-6 [17].

De esta manera se considera fundamental establecer un marco de cooperación entre el Estado, el órgano regulador y las partes interesadas, en este caso, la industria del reciclado de metales.

Esta clara estructura genera responsabilidades y mecanismos de aplicación de esta estrategia, tal como lo refleja la Ref. [7], que establece los roles de cada uno de los actores mencionados en el párrafo anterior.

Estos documentos técnicos ofrecen el marco adecuado para evaluar, acorde a las leyes, decretos y normas del país, el mecanismo que se implementará para actuar ante la detección de material radiactivo en la industria del reciclado de metales, cooperando con diferentes recursos, provenientes del Estado, el órgano regulador y las distintas partes interesadas.

Desde esta óptica, el Estado determina el grado de compromiso y requisitos que serán necesarios, de parte de las industrias de reciclado y producción de metales, así como otros organismos involucrados, en materia de protección radiológica, el cual depende en gran medida del sistema de control reglamentario vigente en cada país.

Además, el Estado necesita designar a las organizaciones que intervendrán, garantizando la adopción de las medidas necesarias para la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente.

En ese sentido, el órgano regulador necesita efectuar todos los aportes que sean necesarios para la aplicación de las medidas protectoras, entre ellos, asesorar al gobierno o ejercer el control reglamentario de las medidas protectoras.

También es de suma importancia establecer los requisitos y criterios reglamentarios aplicables a las medidas protectoras, en cooperación con otras autoridades intervinientes y en consulta con otras partes interesadas, según corresponda.

Finalmente, la industria aporta en sus instalaciones, los recursos técnicos y humanos necesarios, de manera de detectar de manera preventiva, la presencia de material radiactivo, inadvertidamente presente en la industria del reciclado, así como el caso de la fusión de una fuente radiactiva, con la intención de evitar la diseminación de la contaminación fuera de su industria y aumentar la protección de sus trabajadores.

3.2. RECURSOS HUMANOS

Los recursos técnicos y humanos existentes en el país podrían ser suficientes para implantar y mantener la estrategia de manera eficaz.

No obstante, es aconsejable realizar un análisis de las capacidades nacionales para identificar disponibilidades y carencias de recursos, tales como: suministradores de instrumentación, laboratorios de análisis y calibración, entidades proveedoras de servicios de protección radiológica y formación, y gestores de residuos radiactivos.

3.3. FINANCIACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La implantación y mantenimiento de la estrategia necesita proveer los mecanismos financieros necesarios para cubrir al menos los costes asociados a los siguientes conceptos: inversiones para la

adquisición e instalación de equipos, costes de operación y mantenimiento de los mismos, costes derivados de las actuaciones tras las detecciones, gestión de los materiales radiactivos detectados, costes de las actuaciones reguladoras para la supervisión y asesoramiento en materias de seguridad radiológica y costes asociados a las actividades formativas e informativas.

Adicionalmente, es necesario tener en cuenta los costes derivados de posibles incidentes relacionados con la incorporación de fuentes radiactivas al proceso para hacer frente a las operaciones de limpieza y descontaminación de las instalaciones afectadas, el lucro cesante de las empresas afectadas mientras duran dichas operaciones, la gestión de los residuos radiactivos, la reparación de los daños (ambientales, sanitarios, clientes) causados a terceras partes, en caso de incidente [43].

En el desarrollo de la estrategia es necesario definir claramente y por anticipado las responsabilidades y mecanismos financieros asociados con la implantación y mantenimiento de la estrategia. Sin perjuicio de las disposiciones que establezcan las leyes de cada país, es aconsejable que:

- (a) Las empresas del sector del reciclado de metales asuman los costes de las inversiones necesarias para implantar la estrategia (adquisición, mantenimiento y operación de los sistemas de detección, gestión de los materiales radiactivos detectados en la chatarra hasta su transferencia al gestor autorizado, actividades formativas, etc.) y la adquisición de las pólizas de seguros necesarias para cubrir los costes derivados de posibles incidentes que afecten a las instalaciones, los productos y a terceras partes;
- (b) La entidad gestora de los residuos radiactivos asuma los costes derivados de su gestión;
- (c) Las autoridades reguladoras asuman sus propios costes de supervisión y guía de las actuaciones necesarias para implantar la estrategia.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA

La estrategia necesita contemplar medidas para la prevención, que comprenda todas las actuaciones necesarias para asegurar la operatividad de los recursos técnicos y humanos asignados a la vigilancia radiológica; medidas para la detección de material radiactivo, en los accesos a las instalaciones, en sus procesos y en los productos y subproductos; y medidas para la respuesta ante detecciones e incidentes de incorporación de material radiactivo en los procesos industriales de las instalaciones. Adicionalmente se necesitarán actuaciones de registro, formación e información, cooperación internacional e intercambio de información.

4.1. MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN

La medida más importante para prevenir la ocurrencia de incidentes radiológicos en el proceso de reciclado de metales es la existencia de una estructura legal y de un sistema de autorización, fiscalización y control de fuentes radiactivas que garanticen su seguridad ‘desde la cuna a la tumba’. Dicha estructura está establecida a nivel nacional y contempla una colaboración internacional eficaz entre los organismos reguladores nacionales de los distintos países.

La experiencia ha demostrado que aún en presencia de marcos reguladores adecuados, pueden existir fuentes radiactivas sin control que acaben incorporándose en el proceso de reciclado de materiales metálicos, por lo que las autoridades nacionales necesitan adoptar medidas adicionales para reducir el riesgo radiológico asociado a estos sucesos.

Entre estas medidas se mencionan:

- (a) Establecimiento de acuerdos entre las partes implicadas para cumplir con los compromisos adquiridos en materia de vigilancia radiológica y actuación en caso de detección o incidente.
- (b) Capacitación del personal para la detección visual o instrumental de material radiactivo en la chatarra y la actuación en caso de detección o incidente.
- (c) Previsiones para la gestión segura de las fuentes y materiales radiactivos hallados, así como los desechos radiactivos que se originen como resultado de la incorporación de los mismos a los procesos de producción o transformación de metales.
- (d) Establecimiento por parte del órgano regulador de niveles de referencia (por ejemplo: concentración de actividad, contaminación superficial o tasa de dosis) para considerar si un material se puede procesar o utilizar sin restricciones desde el punto de vista de la seguridad radiológica.
- (e) Bajo circunstancias especiales, esta medida se podría complementar con el establecimiento de sistemas de detección radiológica en los pasos fronterizos [42].

Del mismo modo, la industria de la recuperación podría aportar los siguientes mecanismos:

- (a) Instalación y operación de sistemas de detección en los accesos y procesos de las instalaciones dedicadas a la recuperación y reciclado de materiales metálicos, complementadas con los procedimientos y planes de actuación necesarios para garantizar su eficacia.
- (b) Reducción del riesgo de entrada o salida de material radiactivo en la importación y exportación de chatarra, mediante el uso de certificados de control radiológico del material previo a su movimiento transfronterizo.

4.2. MEDIDAS PARA LA DETECCIÓN

La implantación de medidas de detección necesita tener en cuenta la diversidad de actividades e instalaciones asociadas al proceso de recuperación y reciclado de metales, en el que participan desde pequeños recolectores de chatarra hasta empresas que manipulan grandes cantidades de materiales, por lo que es aconsejable que las medidas de detección estén graduadas de acuerdo con el tamaño de las instalaciones y las consecuencias potenciales de la incorporación de material radiactivo a los procesos industriales que tienen lugar en ellas.

Los pequeños recolectores de chatarra, que suelen actuar de forma individual o en pequeños grupos, manipulan directamente los materiales recuperados y pueden reconocer visualmente una fuente radiactiva si disponen de información básica para ello. En este sentido, este grupo podrían realizar una inspección visual de la chatarra, para lo cual es aconsejable que se les proporcione material gráfico con imágenes de las fuentes que pudieran encontrar, así como instrucciones elementales de cómo proceder en caso de encontrar una fuente radiactiva.

Las pequeñas y medianas empresas recuperadoras de metales que habitualmente manejan unos miles de toneladas anuales, necesitan complementar la inspección visual con vigilancia radiológica mediante el uso de equipos portátiles para detectar material radiactivo a la entrada del patio de chatarra. Estas empresas pueden convertirse también en una vía eficaz para distribuir el material divulgativo entre los pequeños recolectores de chatarra.

Las grandes empresas recuperadoras, las acerías y las fundiciones de metales, que manejan cientos de miles de toneladas anuales e incorporan procesos que pueden dañar las fuentes y dispersar el material radiactivo que contienen, necesitan disponer de dispositivos de detección que reduzcan la

probabilidad de que ocurran incidentes, sin perturbar su ritmo productivo. En este caso es aconsejable que la vigilancia radiológica se realice mediante portales de detección y equipos instalados en grúas o sistemas de movimiento de chatarra, complementada con equipos radiométricos portátiles para su uso, en caso de detección de radiación en algún punto de su proceso industrial. Adicionalmente, es también aconsejable que la vigilancia radiológica se extienda a los productos finales, subproductos y desechos generados en las acerías, fundiciones e instalaciones que cuenten con cizalladoras o fragmentadoras.

4.3. MEDIOS DE DETECCIÓN

Los sistemas de detección empleados en esta vigilancia (portales de detección, equipos portátiles, detectores en polvos de humos, espectrómetros gamma para la medición de muestras de coladas y escoria) podrían adecuarse específicamente a las características de las instalaciones y de los materiales involucrados en su proceso industrial. En particular, los equipos de detección necesitan ser lo suficientemente sensibles para detectar, discriminar y alertar ante cualquier incremento de radiación significativo sobre el fondo natural.

De igual manera, para garantizar la eficacia de la vigilancia, es aconsejable que los dispositivos fijos de detección se ubiquen teniendo en cuenta la proximidad y características del material a monitorear, la estabilidad de las condiciones en las que se ejerce la vigilancia y las posibles perturbaciones ocasionadas por los materiales y operaciones que pudieran existir en su entorno.

Una vez instalados los sistemas de detección, estos pueden ser configurados, operados y mantenidos siguiendo los estándares de calidad aplicables y pueden ser verificados acorde a las instrucciones de su fabricante, y calibrados de acuerdo con los procedimientos que le sean aplicables.

En vista de los diversos tipos de actividades asociadas al mercado de la chatarra que involucran desde pequeños recolectores hasta grandes acerías, los recursos técnicos y humanos necesarios para detectar la presencia inadvertida de material radiactivo, necesitan ser acordes a las características de las instalaciones.

Los recursos necesarios para un control adecuado dependen del volumen y complejidad de las operaciones de la industria del reciclado en cada país, por lo cual estos recursos necesitan graduarse razonablemente en función de estos factores, con características que consideren requisitos mínimos para lograr que sean eficaces y contribuyan a una adecuada prevención y respuesta.

El TECDOC describe los recursos técnicos y humanos que son necesarios para prevenir incidentes debido a la presencia de materiales radiactivos en la chatarra, así como las capacidades técnicas necesarias para la detección del material radiactivo en los distintos procesos en que se ve envuelta la chatarra y la preparación del personal involucrado en estos procesos.

4.3.1. Recursos técnicos

Los recursos técnicos que se necesitan para realizar el control efectivo sobre la chatarra son diversos y pueden agruparse en medios no instrumentales y los que usan instrumentos de detección.

4.3.2. Medios de detección

Los medios no instrumentales para detectar fuentes radiactivas son aquellos que aprovechan los signos o marcas que pueden asociarse con una fuente radiactiva y que, a través de una revisión directa, permiten detectarlas.

El uso de este método depende de la información preparada y de la capacitación de las personas inmersas en su aplicación.

Dado que en la mayoría de los casos no es posible detectar la presencia de materiales radiactivos mediante medios de reconocimiento visual, se hace necesario disponer de equipamiento de detección si se desea establecer un programa de control que sea adecuado.

Si bien los costos asociados a estos equipos, en algunos casos pueden ser una inversión económica de importancia, cualquier situación de incidente radiológico, justifica ampliamente su uso o empleo.

Los medios instrumentales están conformados por equipos de detección que necesitan ser lo suficientemente sensibles para poder detectar pequeños incrementos sobre el nivel de radiación natural (fondo natural), y la ubicación de los mismos será lo más cercana posible al material a monitorear, teniendo en cuenta las características del material a medir, y que podrían estar entre 10 a 20 cm del material. Teniendo en consideración las características del material a inspeccionar, los detectores pueden ser:

- (a) Portales o pórticos de detección, útiles para monitorear grandes volúmenes de chatarra y ubicados en puntos donde estos circulan permanentemente (accesos a instalaciones de reciclaje, almacenamiento, fundiciones, etc.). Detectan básicamente fuentes emisoras gamma y son de muy alta sensibilidad a éstas (Fig. 1).



FIG. 1. Portales de medición de chatarra a la entrada de una acería.



FIG. 2. Portales de medición de chatarra a la entrada de una acería.

- (b) Detectores portátiles de radiación, que se utilizan para inspeccionar manualmente en la superficie externa de una carga de chatarra, productos de su fundición y subproductos, como son los polvos de humos, a fin de detectar niveles de radiación superiores al fondo. Detectan básicamente fuentes radiactivas emisoras de radiación gamma y en algunos casos también beta (Fig. 2).



FIG. 2. Detectores portátiles de radiación.

- (c) Detectores fijos, con características y respuesta similares a los detectores portátiles. Su aplicación al programa de vigilancia puede ser dentro de las industrias metalúrgicas en ubicaciones seleccionadas dentro de la línea de producción (grúas, entrada a hornos, línea de humos), donde sea más probable que detecten cualquier fuente radiactiva que circule. Algunos dispositivos de tecnologías más evolucionadas permiten la transmisión de datos de forma remota. Esto quiere decir que existen programas para almacenar esta información e informar a las personas autorizadas sobre la detección de material radiactivo por ejemplo a través de señal

de celular, mail u otras formas de información, lo que permite tener un monitoreo exhaustivo de forma permanente (Fig. 3).



FIG. 3. Carga de chatarra en una cesta



FIG. 4. Espectrómetro gamma para probetas

- (d) Espectrómetros gamma para análisis de productos o subproductos (Fig. 4). Estos equipos se instalan en laboratorios de la propia acería o fundición. Permiten identificar y cuantificar en la colada o escoria de fundición, la presencia de radionucleidos emisores gamma. Esta medición, si bien se realiza en el momento de tener la colada lista para ser utilizada en la fabricación de productos, es el último momento en el cual se puede producir la detección, si todos los dispositivos enunciados previamente no detectaron la presencia de material radiactivo. Este análisis es acompañado de otros estudios metalográficos que se realizan a dicha probeta, para

verificar la composición del acero (Fig. 5). Es aconsejable disponer de un recipiente blindado para almacenar la probeta que pudiera contener material radiactivo.

- (e) Dosímetros electrónicos personales. Este tipo de instrumento puede ser implementado con la idea de registrar la dosis recibida por el trabajador/operador que participa en las tareas de detección y respuesta. Modernos y pequeños dispositivos se ofrecen en el mercado actual, de manera de obtener información dosimétrica personal en tiempo real, a la vez que disponen de alarmas que pueden informar al trabajador/operador sobre la presencia de radiación o un incremento importante de ella.

La utilización de estos recursos técnicos estará definida por el tamaño, características y complejidad



FIG. 5. Probetas de las coladas

de los establecimientos. Considerando estos factores, en las pequeñas instalaciones de recuperación de metales, así como los intermediarios que acopian o recolectan cantidades pequeñas, se necesita realizar como mínimo una inspección visual de la chatarra que permita identificar la presencia eventual de material radiactivo. Es necesario que posean una preparación mínima que les permita identificar o sospechar de la presencia de una fuente o material radiactivo, así como de la respuesta necesaria. En el caso de acopiadores o recolectores de mayor volumen, podría disponerse además de detectores portátiles u otro medio de detección instrumental.

4.3.3. Recurso necesario

Personal capacitado para poder distinguir o identificar una fuente o material radiactivo o equipo radiactivo. En este caso se puede utilizar información específicamente preparada en folletos o instrucciones.

En la entrada de los grandes patios de chatarra, de las instalaciones con cizalladoras y fragmentadoras, de las acerías y de las fundiciones de metales, además del procedimiento de inspección visual, se necesita disponer de instrumentación de vigilancia para la detección de material radiactivo. Asimismo, dada la posibilidad de fusión de una fuente radiactiva en acerías y fundidoras es aconsejable extender la vigilancia a los productos finales, subproductos y desechos generados en el proceso.

4.3.4. Recurso necesario

Dependiendo de las características de la instalación, se pueden utilizar portales de detección, equipos instalados en grúas o sistemas de movimiento de chatarra, así como con equipos portátiles y equipamiento de análisis de muestras por espectrometría. En este caso se necesita también la presencia de personal capacitado en identificar y distinguir una fuente o material radiactivo.

En la Tabla 1, se presenta el resumen de los recursos técnicos necesarios de acuerdo al tipo de instalación.

Del mismo modo, es importante que el órgano regulador establezca los valores de concentración de actividad en la chatarra, que permitan decidir si este material puede procesarse sin restricciones, desde el punto de vista de la seguridad radiológica. Para ello se puede utilizar un estándar internacional como *Aplicación del concepto de exención* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-17) [44] y *Aplicación del concepto de dispensa* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-18) [45]. Es aconsejable tener en cuenta las tablas que se encuentran en los documentos mencionados previamente:

- (a) Radionucleidos de origen natural;
- (b) Radionucleidos de origen artificial;
- (c) Mezcla de radionucleidos.

4.3.5. Recurso necesario

Evaluar concentraciones de radionucleidos en materiales (chatarra, polvos, humos, materiales fundidos, etc.)

Operatividad y mantenimiento de los instrumentos de detección.

Todos los instrumentos de detección y medición son calibrados previa a la operación de los mismos y recalibrados periódicamente.

Es aconsejable que las calibraciones de los instrumentos de detección sean realizadas a través de los laboratorios de calibración de cada país. En los casos de los portales de detección las calibraciones pueden ser realizadas siguiendo los protocolos del fabricante o a través de una entidad reconocida en el país.

Asimismo, la operatividad de los instrumentos es chequeada frecuentemente para asegurar su respuesta adecuada.

Las verificaciones periódicas son realizadas con aquellas fuentes radiactivas que sean necesarias para garantizar el correcto funcionamiento de los detectores.

Es recomendable mantener un registro de cada una de las calibraciones y/o verificaciones realizadas al/los instrumento/s, que se incluyen en los procesos de gestión del sistema de calidad propios de la instalación.

Estos registros serán conservados al menos hasta la siguiente calibración del instrumento.

TABLA 1. RESUMEN DE RECURSOS TÉCNICOS

| Instalación | Riesgo | Mecanismo | Medios empleados |
|---|--|---|---|
| Pequeños recolectores de chatarra | Aparición de fuentes radiactivas | Inspección visual | Carteles y folletos instructivos que permitan identificar fuentes radiactivas |
| Pequeños almacenes de chatarra | Aparición de fuentes radiactivas | Inspección visual e instrumental a la entrada de la instalación | Carteles y folletos instructivos que permitan identificar fuentes radiactivas. Monitores portátiles de radiactividad |
| Grandes almacenes de chatarra | Aparición de fuentes radiactivas | Inspección visual e instrumental a la entrada de la instalación | Además de lo indicado a los pequeños almacenes de chatarra, se incluye la inspección a la entrada de la instalación mediante portales de detección. |
| Reducidores de chatarra con cizallas de fuerza de corte menores que 500 ton. | Aparición de fuentes radiactivas | Inspección visual e instrumental a la entrada de la instalación | Carteles y folletos instructivos que permitan identificar fuentes radiactivas. Monitores portátiles de radiactividad. |
| Reducidores con fragmentadoras o cizallas de fuerza de corte a partir de 500 ton. | Aparición de fuentes radiactivas y/o contaminación por rotura de fuente radiactiva | Inspección visual e instrumental a la entrada y la salida de la instalación | Además de lo indicado para reducidos de chatarra con pequeñas cizallas es recomendable la inspección a la entrada y salida de la instalación mediante portales de detección. |
| Fundiciones metálicas no ferrosas | Aparición de fuentes radiactivas y/o contaminación por fusión de fuente radiactiva | Inspección visual e instrumental a la entrada de la instalación | Carteles y folletos instructivos que permitan identificar fuentes radiactivas. Monitores portátiles de radiactividad. En caso de grandes volúmenes de material a procesar es conveniente la inspección a la entrada de la instalación mediante portales de detección. |

| Instalación | Riesgo | Mecanismo | Medios empleados |
|--------------------|--|---|---|
| Acerías | Aparición de fuentes radiactivas y/o contaminación por fusión de fuente radiactiva | Inspección instrumental a la entrada de la instalación. Inspección instrumental de productos, subproductos y desechos generados en el proceso. | Portales de detección en la entrada de chatarra. Estos dispositivos se pueden complementar con detectores instalados en grúas y cintas de transporte. Los productos, subproductos y desechos generados en el proceso pueden ser vigilados con portales de detección, a la salida de la instalación que pueden ser sustituidos o complementados con espectrómetros gamma, detectores fijos en la línea de polvos de humos y monitores portátiles de radiactividad. |

Cuando se disponga de portales, también se puede contar con detectores portátiles para separar los materiales o fuentes radiactivas del resto. En todos los casos es necesario contar con folletos, instructivos y guías que permitan identificar fuentes radiactivas.

4.4. RECURSOS HUMANOS

Un elemento fundamental para la prevención y detección de fuentes radiactivas, así como para una adecuada respuesta, es disponer de personal calificado y entrenado en estos aspectos. La construcción de la capacidad nacional necesita basarse en un programa que tome en cuenta las necesidades de calificación de los actores con el objetivo de concientizarlos e involucrarlos en los problemas provenientes de chatarra con presencia inadvertida de material radiactivo, así como en el conocimiento necesario para prevenir, detectar y responder en la medida de lo necesario.

En general, el programa de capacitación necesita facultar a los actores a reconocer las fuentes radiactivas y los equipos que las contienen, a aplicar medidas técnicas de detección, utilizar equipos de medición, efectuar chequeos operacionales y verificaciones, así como a responder apropiadamente ante el hallazgo de fuentes radiactivas en chatarra.

El enfoque de la capacitación del personal siempre es gradual en consideración de las diversas funciones y responsabilidades que poseen, así como sus diversos niveles de conocimiento y percepción de los riesgos existentes.

4.4.1. Objetivos de la capacitación

La capacitación del personal necesita cumplir los siguientes objetivos:

- (a) Concientizar sobre la posibilidad de hallar una fuente radiactiva;
- (b) Adquirir conocimientos básicos sobre las radiaciones ionizantes y sus efectos;

- (c) Adquirir formación sobre los métodos de detección visual de las fuentes y de sus contenedores o blindajes, así como en el manejo de los equipos de detección;
- (d) Conocer y haber recibido formación sobre las medidas a adoptar en caso de detectarse o sospecharse la presencia de una fuente radiactiva.

Métodos de capacitación e información

Las organizaciones industriales representativas del sector de la recuperación y del reciclado de metales, junto con las administraciones públicas y el órgano regulador, necesitan elaborar distintos cursos de formación, guías y materiales de divulgación (boletines, trípticos, carteles, multimedia, etc.) para que sean usados por los trabajadores de la industria de chatarra y, de ser posible, sirvan de difusión para la población.

Los métodos que se podrían emplear para la información y capacitación son:

- (a) Información para Administraciones y público en general: Charlas inductivas, seminarios, folletos, carteles y página web de los organismos reguladores.
- (b) Información para trabajadores de la industria de recuperación y reciclado (manipuladores, operadores de pórticos, responsables de seguridad, otros): se prepara un set de capacitación acorde a los distintos niveles de participación, cursos con información general y cursos específicos. Asimismo, pueden desarrollarse instructivos y boletines informativos.

4.4.2. Enfoque gradual de la capacitación

En el caso de los trabajadores de la industria, la intensidad y profundidad de la capacitación necesita ser concordante con las funciones que realizan las personas, es decir, que les facilite su desarrollo efectivo, a saber:

- (a) Manipuladores:
 - (i) Revisar visualmente el material acopiado;
 - (ii) Informar los hallazgos de material radiactivo;
 - (iii) Ante sospechas comunicar al encargado o solicitar la asistencia de personal especializado (órgano regulador, responsable de seguridad, etc.)
- (b) Operadores de pórticos:
 - (i) Chequear la operatividad de equipos;
 - (ii) Registrar las alarmas del equipo (tanto reales como falsas);
 - (iii) Registrar anomalías durante el funcionamiento de los equipos;
 - (iv) Notificar al encargado o responsable, ante alarmas de hallazgo de material;
 - (v) Ordenar la separación de los productos, con señales de radiactividad.
- (c) Responsables de seguridad:
 - (i) Verificar que el equipamiento opere correctamente;
 - (ii) Asegurar que se encuentran debidamente calibrados;
 - (iii) Segregar el material radiactivo con el uso de monitores portátiles;
 - (iv) Dictar medidas iniciales de protección ante el hallazgo de material radiactivo o en caso de fuentes radiactivas fundidas;
 - (v) Comunicar hallazgos a organismos de control.

- (d) Organismos reguladores:
 - (i) Asesorar en las medidas de protección a aplicar en casos de detección y/o fusión de material radiactivo;
 - (ii) Verificar que se realizó la gestión del material radiactivo de forma adecuada;
 - (iii) Aprobar los planes de acción ante casos de fusión de material radiactivo.

4.4.3. Contenido de la capacitación

Los temas a impartir incluyen aspectos afines al control radiológico de la chatarra, y conceptos y criterios de protección radiológica que pueden aplicarse al caso. Es recomendable realizar cursos de refresco al personal ya capacitado, con la frecuencia que se considere conveniente.

El contenido fundamental de los cursos de capacitación necesita incluir al menos los temas que se enumeran a continuación:

- (a) Marco legal;
- (b) Visión general sobre las radiaciones ionizantes y sus efectos biológicos;
- (c) Principios básicos de radio protección;
- (d) Riesgos radiológicos y problemas causados por la presencia de materiales radiactivos en la chatarra;
- (e) Visión general de los monitores de radiación empleados, ventajas y desventajas, aplicación de portales al control de materiales metálicos, monitores portátiles y equipamiento utilizado para la identificación de nucleídos, y otros dispositivos (detectores en grúas, polvos de humos);
- (f) Cómo actuar en caso de detección;
- (g) Emergencias radiológicas y lecciones aprendidas;
- (h) Experiencia internacional y recomendaciones.

4.5. MATERIAL RADIATIVO NATURAL

Dentro de los materiales metálicos que se reprocessan en la industria del reciclado, es común que se detecte la presencia de pequeñas cantidades de material naturalmente radiactivo, conocido como material radiactivo natural (NORM).

Esta presencia es generalmente detectada por los portales ubicados a la entrada de las instalaciones, generando alarmas.

Normalmente se los encuentran en tuberías que han estado en contacto con procesos relacionados con el gas y el petróleo. Los NORM pueden generar valores de tasa de dosis en contacto, de algunas decenas de $\mu\text{Sv/h}$.

Se necesita instruir al personal que realiza el control de ingreso de chatarra, así como al personal/operador que interviene en caso de una detección, sobre la presencia de materiales NORM.

Es aconsejable que el órgano regulador establezca los valores que considere adecuados para la gestión de estos materiales.

Es aconsejable analizar y definir dichos valores, utilizando lo que establece GSG-17 [45] y GSG-18 [46]. En dichas publicaciones se encuentran las tablas que especifican los valores de concentración de actividad de radionucleidos de origen natural.

4.6. MEDIDAS PARA LA RESPUESTA

La detección de material radiactivo en las instalaciones que tienen implantados de forma adecuada, sistemas y procedimientos de vigilancia radiológica, puede dar lugar a dos tipos de escenarios que necesitan respuestas de naturaleza diferente:

- (a) La detección de material radiactivo en la chatarra;
- (b) La detección de radiación en los procesos industriales y en los productos resultantes.

Es aconsejable que las partes implicadas, en colaboración con el órgano regulador, establezcan planes de actuación para ambos escenarios y para gestionar los materiales radiactivos detectados en ambos casos. Los planes de actuación necesitan contemplar también el tratamiento de las personas que resulten expuestas a la radiación en cualquiera de los escenarios.

Si bien esta publicación no describe los planes de respuesta aplicables en cada caso, se considera necesario mencionar que los mecanismos de mitigación y respuesta radiológica aplicables a estas situaciones, contemplan los escenarios posibles y forman parte del plan nacional de emergencia radiológica del país.

Las disposiciones relativas a la respuesta a la emergencia en caso de que esta se produjera, necesitan estar detalladas en los correspondientes procedimientos de emergencia que conforman el plan local.

En cualquier caso, es necesario asegurar una adecuada transición de la respuesta del incidente a la respuesta a la emergencia, tomando como referencia la magnitud del evento, principalmente por parte del propietario o responsable de la instalación, adoptando una serie de disposiciones que se pueden recoger en su plan de emergencia o contingencias.

A este respecto se puede tener en cuenta los siguientes criterios:

- (a) Se necesita adoptar una adecuada estrategia de protección de manera que en la fase de preparación se elaboren, justifiquen y optimicen procedimientos y protocolos que, en el momento de la emergencia, permitan adoptar eficazmente medidas mitigadoras, protectoras y otras actuaciones de emergencias.
- (b) Se asegura de que existan las disposiciones necesarias para identificar y notificar prontamente una emergencia y activar eficazmente la respuesta.
- (c) Se asegura de que existan las disposiciones necesarias para aplicar medidas mitigadoras en caso de emergencia o incidente radiológico.
- (d) Se asegura de que existan las disposiciones necesarias para evaluar las condiciones de emergencia y aplicar eficazmente medidas protectoras urgentes y otras medidas de respuesta en la instalación, en caso necesario.
- (e) Se asegura de que existan las disposiciones necesarias para proteger a los trabajadores de emergencias y a los respondedores en general. Son de especial importancia los primeros auxilios a los posibles irradiados o contaminados, y en su caso el traslado a centros hospitalarios.
- (f) Se asegura de que existan disposiciones adecuadas para aprovechar la asistencia internacional en materia de preparación y respuesta para casos de emergencia radiológica de gran magnitud.
- (g) Se asegura de que existan y se apliquen disposiciones para poner fin a una emergencia radiológica, teniendo en cuenta la necesidad de que se restablezcan la recuperación de la actividad económica y social.

4.7. RESPUESTA A LA DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO EN LA CHATARRA

El plan de actuación ante la detección de material radiactivo en la chatarra, necesita incluir acciones para confirmar la detección y posteriormente segregar, caracterizar y almacenar en condiciones seguras, el material radiactivo hallado, hasta su transferencia a un gestor autorizado.

En el Anexo III se presentan procedimientos de actuación en caso de detección de material radiactivo a la entrada de las instalaciones.

En estos casos, es recomendable que las empresas notifiquen al órgano regulador, tan pronto como sea posible, cualquier detección de material radiactivo que tenga lugar en sus instalaciones.

En el Anexo IV se presenta un modelo de formulario para notificar al órgano regulador.

Es aconsejable que el órgano regulador y la entidad gestora de desechos radiactivos, presten apoyo técnico a las empresas para la gestión del material radiactivo detectado, incluyendo su transferencia a un gestor autorizado y, especialmente, cuando se trate de fuentes radiactivas encontradas en chatarra importada.

4.8. RESPUESTA A LA DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO EN LOS PROCESOS O PRODUCTOS

En caso de detectarse radiación en cualquier fase de los procesos industriales de una instalación o en sus productos o subproductos resultantes, el plan de actuación necesita incluir procedimientos para confirmar que la alarma procedente de los sistemas de vigilancia es real, determinar el alcance e intensidad de la contaminación y adoptar medidas inmediatas para evitar su dispersión.

Es recomendable que las actuaciones a realizar por la empresa contemplen la notificación inmediata al órgano regulador y a todos los destinatarios que pudieran haber recibido los productos afectados por el incidente.

Una vez que el órgano regulador ha tenido conocimiento de la ocurrencia de un incidente de este tipo, es necesario evaluar si se necesita poner en marcha medidas de emergencia y, en caso de ser apropiado, recomendar a toda otra autoridad competente de forma inmediata, la activación de los planes de emergencia aplicables.

Una vez confirmada la presencia de contaminación en una instalación, sus productos, subproductos o residuos, su titular necesita elaborar un plan de actuación para la limpieza y descontaminación de las instalaciones, y para la gestión de los productos afectados y los desechos radiactivos generados.

Se considera necesario que sean analizados los diferentes escenarios posibles que resulten contaminados (escorias, acero, sistemas de filtrado, polvos de humos, tuberías, etc.) de manera de establecer los riesgos asociados al proceso y las medidas a adoptar, reduciendo todo lo posible el riesgo radiológico, la exposición de personas y la dispersión de la contaminación.

En el Anexo V, se describe un procedimiento para la mitigación, limpieza y descontaminación, en caso de ruptura o fusión de una fuente radiactiva.

Es aconsejable que el titular cuente con la participación de personal experto en protección radiológica para la elaboración y puesta en práctica del plan de actuación. Antes de su puesta en práctica, el plan de actuación necesita ser evaluado y aprobado por el órgano regulador, para asegurar que se cumplen

los requisitos de seguridad radiológica aplicables. Las actuaciones contempladas en el plan no se pueden dar por concluidas hasta que el órgano regulador evalúe y dictamine que se han alcanzado los objetivos radiológicos establecidos al respecto.

El órgano regulador junto con la entidad gestora de desechos radiactivos necesita dar el apoyo técnico necesario a las empresas para minimizar el volumen de residuos generados y el tiempo necesario para que éstas reinicien la operación normal de las instalaciones afectadas, garantizando siempre que se cumplan los requisitos de protección radiológica de los trabajadores, público y ambiente.

4.9. GESTIÓN DE FUENTES HUÉRFANAS RECUPERADAS Y OTROS DESECHOS RADIATIVOS GENERADOS EN LA INDUSTRIA DEL RECICLADO DE METALES

Es recomendable que las autoridades nacionales establezcan mecanismos para la gestión de las fuentes y los materiales radiactivos detectados en la chatarra; así como de los residuos radiactivos que se pudieran generar en caso de la incorporación de fuentes radiactivas al proceso industrial. [44–48]

La gestión de las fuentes y los materiales radiactivos detectados en la chatarra necesita llevarse a cabo teniendo en cuenta el riesgo radiológico asociado, pudiéndose establecer vías específicas para gestionar las fuentes radiactivas propiamente dichas, los materiales contaminados con radionucleidos de origen natural (NORM), los productos de consumo (detectores iónicos de humo, pararrayos, indicadores con pintura luminiscente, etc.) y otros productos que pudieran contener pequeñas cantidades de material radiactivo.

Si se detecta una fuente radiactiva en la chatarra, tanto la empresa como el órgano regulador necesitan colaborar para investigar su procedencia y, de ser posible, identificar a su fabricante o distribuidor para su devolución. El anexo VI ofrece un mecanismo para estos casos.

Si ello no sea posible, la fuente radiactiva puede ser transferida a un gestor autorizado para manipular y almacenar material radiactivo. En ambos casos, la transferencia se realiza sin dilación, para lo que es necesario facilitar al máximo los trámites reguladores necesarios.

En todo caso, una vez detectada la fuente radiactiva, es necesario aplicar los procedimientos legales, establecidos en el marco regulador existente en el país.

Cuando se trate de fuentes radiactivas detectadas en chatarra importada, la colaboración entre las empresas, la entidad gestora de residuos y el órgano regulador es especialmente importante. En este caso es necesario efectuar todos los esfuerzos posibles para devolver la fuente al país del que procede la chatarra, lo que podría necesitar de la correspondiente negociación con el suministrador y con las autoridades del país de procedencia.

La incorporación de fuentes radiactivas al proceso puede generar grandes volúmenes de material contaminado lo cual implica contar con instalaciones que tengan capacidad para el almacenamiento, tratamiento y gestión definitiva de los residuos resultantes. Por todo ello es aconsejable que las autoridades nacionales tengan en cuenta esta problemática, en el momento de definir sus políticas de gestión de residuos radiactivos, y establezcan las vías de colaboración necesarias para la implementación de los planes de actuación.

Las fuentes huérfanas que ingresen inadvertidamente en la industria del reciclado de metales podrían resultar en desechos radiactivos, necesitándose la debida gestión segura de los mismos, con el fin de

proteger a las personas involucradas directamente (por ejemplo, los trabajadores de un patio de chatarra), indirectamente (el público en la vecindad), las instalaciones afectadas y el medio ambiente.

En la industria del reciclado de metales, básicamente se pueden diferenciar tres categorías de desechos radiactivos con diferente problemática:

- (a) Fuentes selladas en desuso de baja actividad y baja tasas de exposición (generalmente encontradas sin blindaje);
- (b) Fuentes selladas en desuso de alta actividad y alta tasa de exposición (halladas con o sin blindaje);
- (c) Fuentes abiertas de baja tasa de exposición, pero gran volumen, producto de la rotura o fundición de fuentes selladas en el proceso de reciclado y en la consecuente limpieza para descontaminación de partes o zonas de la instalación o el desmantelamiento de las partes de la instalación que fueron contaminadas.

Si bien en la industria radiactiva o nuclear formalizada (es decir, la que cuenta con la autorización regulatoria para la tenencia y uso de material radiactivo) la gestión de los desechos radiactivos de acuerdo con las normas nacionales, es responsabilidad exclusiva de dicha industria, en el caso de la industria de reciclado de metales no existe esa responsabilidad primaria, que sí tienen los usuarios de material radiactivo autorizados.

La gestión de desechos radiactivos puede ser realizada en un marco de cooperación entre la industria afectada, el órgano regulador y el plan nacional de gestión de desechos radiactivos.

Es conveniente que existan acuerdos previos entre las tres partes responsables como los que propicia le presente estrategia, que cubre esta publicación, de modo que esa cooperación necesaria sea preestablecida.

La problemática de la gestión de residuos es completamente diferente en los tres tipos de fuentes citadas e involucran distintos riesgos radiológicos y la necesidad de procedimientos muy diferentes.

En resumen:

- (a) Las fuentes de baja actividad pueden ser gestionadas fácilmente en instalaciones del plan nacional de gestión de desechos radiactivos, con medidas simples de acondicionamiento;
- (b) Las fuentes selladas de alta actividad pueden ser gestionadas en las instalaciones del plan nacional de gestión de desechos con medidas complejas de acondicionamiento.
- (c) Los desechos de fuentes abiertas necesitan acciones en el sitio de manera de clasificar y separar las cantidades que puedan ser dispensadas (sin necesidad de gestión especial) y de acondicionamiento para aquellas cantidades que serán tratadas como desechos radiactivos de baja actividad específica, en instalaciones apropiadas del plan nacional de gestión de desechos.

En todos los casos, al final de la opción de gestión autorizada por el órgano regulador, es necesario un monitoreo radiológico de la instalación que fue afectada, para asegurar que no queda material radiactivo residual por encima de los criterios que establezca la autoridad regulatoria.

Es importante remarcar que en la fase temprana de identificación de las fuentes es necesario aplicar medidas precautorias de manera de evitar exposiciones a la radiación no deseadas. También es importante que toda etapa de la gestión de desechos (caracterización, segregación,

acondicionamiento, transporte al destino de disposición o almacenamiento) se realice bajo la supervisión de expertos en gestión de desechos radiactivos, usando equipos de detección de radiación adecuados y con autorización del órgano regulador nacional.

La instauración de mecanismos de detección temprana de fuentes huérfanas en la industria de la chatarra (por ejemplo, portales de detección o procedimientos de vigilancia con detectores portables) es la forma más eficiente y menos costosa de proteger una instalación y sus trabajadores.

Asimismo, la posibilidad de detectar las fuentes radiactivas selladas intactas minimiza los esfuerzos para su gestión como desecho.

En el caso que las fuentes huérfanas que ingresen inadvertidamente en los procesos de reciclado y contaminen la producción de metales y las instalaciones, la descontaminación y el desmantelamiento de instalaciones, así como la gestión de los desechos radiactivos originados es muy compleja y puede ser muy costoso, incluyendo períodos prolongados de lucro cesante.

El OIEA ha desarrollado guías de seguridad y otras publicaciones que son aplicables al desmantelamiento de instalaciones, cuyas recomendaciones son aplicables en el caso de la industria del reciclado de metales, en particular, en el caso de una instalación que ha sido afectada por una fuente huérfana entrante al proceso de la planta industrial sin ser detectada. *Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities* (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SSG-49) [48], es de gran utilidad para discutir técnicamente sobre los mecanismos y procesos que podrían emplearse para su limpieza.

SSG-49 [48] establece recomendaciones para la gestión segura, tanto de las fuentes radiactivas en desuso encontradas intactas, como para los grandes volúmenes de materiales contaminados, resultantes de la entrada de la fuente en el proceso de reciclado o en la descontaminación y desmantelamiento de partes de la planta contaminadas.

Los criterios radiológicos utilizados para la clasificación, segregación, acondicionamiento, dispensa, transporte y disposición de desechos radiactivos involucrados, así como los niveles de dosis de radiación para la protección de trabajadores, miembros del público y el ambiente, son establecidos por la autoridad regulatoria nacional Ref. [48–50].

Recomendaciones para este tipo de situaciones se proporcionan en GSR Parte 3 [22]. Recomendaciones sobre los criterios radiológicos para la liberación de materiales equipos y sitios desde el control regulatorio se proporcionan en GSG-17 [45] y GSG-18 [46].

4.10. REGISTROS

Las autoridades reguladoras necesitan establecer un registro en el que figure la identificación detallada de las empresas involucradas en la implantación de la estrategia y las detecciones de material radiactivo e incidentes que le sean notificadas por las empresas. Es recomendable que la información contenida en estos registros esté disponible para los titulares de las instalaciones y público en general, de acuerdo con unos criterios de confidencialidad y transparencia establecidos específicamente para este propósito.

En el Anexo I, se muestran ejemplos de dichos registros y en el Anexo VIII se describe un procedimiento para la notificación vía un sistema informático (web), permitiendo a la vez, la actualización y consulta de los diferentes registros en la base de datos, de manera oportuna, mediante un módulo de registro, notificación, reportes e informes.

Por su parte, las empresas propietarias de instalaciones en las que se lleva a cabo la vigilancia radiológica necesitan registrar las detecciones realizadas, las falsas alarmas producidas y las pruebas o ensayos que se realicen a los sistemas de detección. Los compromisos que articula la estrategia comprenden las condiciones bajo las cuales la autoridad reguladora podría acceder a los registros.

Estos registros necesitan formar parte de los sistemas de calidad de la instalación y ser guardados por un lapso de tiempo lo suficientemente amplio, de manera de permitir la revisión o auditoria de funcionamiento de los dispositivos de detección.

Es de utilidad almacenar esta información en archivos electrónicos en forma de planilla de cálculo, lo cual facilita el estudio estadístico.

En el Anexo IX, se presenta un ejemplo de registro del funcionamiento de los sistemas de detección en los lugares donde se encuentran instalados, el cual, sirve como modelo.

Si bien el listado incluye las áreas de interés para la comprobación del funcionamiento de los equipos de detección, pueden existir otros registros que puedan ser considerados relevantes, de acuerdo al tipo de instalación y funcionalidad de los mismos.

4.11. FORMACIÓN E INFORMACIÓN

La implantación y el mantenimiento de la estrategia comprende los programas de formación e información que aseguren que la dirección y los trabajadores de las empresas de la recuperación y del reciclado de metales:

- (a) Sean informados de la posibilidad de hallar una fuente radiactiva;
- (b) Conozcan los procedimientos y vía de notificación de incidentes;
- (c) Tengan conocimientos básicos sobre las radiaciones ionizantes y sus efectos;
- (d) Conozcan y hayan recibido formación sobre los métodos de detección visual de las fuentes y de sus contenedores;
- (e) Estén capacitados para el manejo de los equipos de detección;
- (f) Conozcan y hayan recibido formación sobre las medidas a adoptar en caso de detectarse o sospecharse la presencia de una fuente radiactiva.

La responsabilidad de la puesta en práctica de estos programas de formación e información necesita ser realizada por las empresas implicadas en la implantación de la estrategia. Los programas tienen que estar orientados específicamente a la formación e información sobre las medidas de prevención, detección y respuesta establecidas en sus instalaciones, y estar dirigidos a todos los estamentos de su organización en función de sus responsabilidades. Estos programas necesitan prestar especial atención a la experiencia ganada desde la implementación de estas medidas en la propia instalación y en otras de naturaleza similar.

Es aconsejable que el órgano regulador emita guías sobre el alcance y contenido de los programas de formación, supervise su puesta en práctica y establezca mecanismos para facilitar la difusión de las experiencias ganadas en el país desde la implementación de la estrategia o en otros países que hayan llevado a cabo actuaciones similares.

Asimismo, es aconsejable que el órgano regulador, con la colaboración de las administraciones públicas y las empresas implicadas, elabore materiales divulgativos (boletines, trípticos, carteles,

multimedia, etc.) para la difusión entre la población de las actuaciones nacionales asociadas a la presencia inadvertida de material radiactivo en la chatarra.

En el Anexo X, se presentan ejemplos de dicho material informativo, que sirven para difundir el problema que presenta la aparición de material radiactivo en la industria de reciclado de metales.

4.12. COOPERACIÓN INTERNACIONAL E INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN

Los acuerdos y arreglos existentes en materias de seguridad radiológica entre las diversas autoridades y órganos reguladores de los países integrantes del FORO y de la región, necesitan establecer el alcance y mecanismos de colaboración bilateral o multilateral en materias de prevención, detección y respuesta ante la presencia inadvertida de material radiactivo en el proceso de reciclado de metales. Dicho alcance contempla al menos el intercambio de información, la prestación de asistencia mutua y la cooperación técnica para la resolución de situaciones concretas, tanto rutinarias como incidentales.

La colaboración tiene que concretarse en protocolos, acuerdos, convenios, o cualquier otro instrumento legal que pudiera resultar adecuado teniendo en cuenta el alcance y naturaleza de la cooperación que se pretende establecer, la legislación nacional y los compromisos internacionales suscritos por cada país que pudieran ser aplicables a la notificación y ayuda en caso de incidentes radiológicos. Asimismo, es aconsejable designar puntos nacionales de contacto que canalicen el intercambio de información, la solicitud de colaboración y la prestación de ayuda en caso necesario.

La colaboración podría extenderse también al conjunto de la región iberoamericana y otros Estados, con los que los países integrantes del FORO mantengan intercambios comerciales relacionados con el flujo de chatarra.

Las autoridades nacionales necesitan intercambiar información y cooperar con las organizaciones internacionales pertinentes y con otros países que pudieran verse afectados en caso de un incidente en el que se haya procesado alguna fuente radiactiva, sin perjuicio de las exigencias aplicables en materia de confidencialidad y de la normativa nacional.

En el intercambio, es importante tener en cuenta los acuerdos internacionales de carácter bilateral o multilateral suscritos por las partes en materia de pronta notificación y ayuda mutua.

En el ámbito internacional son de especial interés, los acuerdos de pronta notificación y ayuda mutua del OIEA, así como documentos de preparación y respuesta ante emergencias radiológicas.

Esta publicación trata el problema de la detección de material radiactivo inadvertidamente presente en la industria del reciclado de metales y aplica los conceptos desde el punto de vista de la seguridad radiológica, y no profundiza los aspectos de movimientos ilícitos de material radiactivo, por considerarlo fuera del alcance de esta publicación.

Cabe resaltar que, dentro de las implicancias nacionales e internacionales, se necesita evaluar llegado el caso, la pertinencia de informar aquella situación que sea considerada dentro de la aplicación del hallazgo de material radiactivo como tráfico ilícito, una vez confirmado. Para ello se es de suma importancia utilizar los canales oficiales que correspondan.

En el Anexo XI se presentan posibles mecanismos de notificación para la colaboración entre países del FORO y un modelo de texto de un acuerdo de colaboración.

En el Anexo XII, se presentan los resultados de la reunión de expertos iberoamericanos sobre vigilancia radiológica de la chatarra y recuperación de fuentes radiactivas, Veracruz, México – 2013, que contiene aspectos de la discusión regional realizada sobre los mecanismos para implementar estrategias nacionales y regionales que impacten positivamente en los países de Latinoamérica y en otros que deseen participar.

5. SEGUIMIENTO DE LA IMPLANTACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Las partes implicadas en la implantación de la estrategia necesitan constituir una comisión de seguimiento de todas las actuaciones que se lleven a cabo. Su función será realizar el seguimiento de los resultados de la estrategia. Para ello es aconsejable que establezca indicadores y objetivos cuantitativos, basados en la experiencia nacional e internacional, que permitan evaluar su grado de avance y eficacia. Entre estos podrían figurar el número de: empresas que cuentan con un programa sistemático de vigilancia, equipos instalados, detecciones anuales, incidentes ocurridos y personas que han sido capacitadas en el marco de la estrategia.

La comisión de seguimiento necesita estar constituida por representantes de las autoridades gubernamentales y reguladoras, de las empresas, de los gestores de residuos radiactivos y de las organizaciones empresariales y laborales relacionadas con el reciclado de metales. En algunos casos, es aconsejable también que la comisión de seguimiento cuente con grupos técnicos estables o creados ad-hoc para tratar asuntos concretos de naturaleza técnica.

La autoridad reguladora lidera y coordina la comisión de seguimiento y define su forma de proceder. Es aconsejable que la comisión establezca un calendario regular de reuniones y que se reúna cada vez que haya un incidente, que así lo amerite. Así mismo es aconsejable que la comisión canalice las relaciones técnicas entre cada país de la región y las demás partes del FORO.

Se necesita considerar la posibilidad de que cada país designe una persona como punto de contacto nacional, a los fines de realizar gestiones, organizar actividades, elaborar documentos o procedimientos, informar sobre las detecciones, así como para distribuir información y participar en reuniones para intercambiar experiencias, tanto a nivel nacional como internacional.

REFERENCIAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, El accidente Radiológico en Guainía, Publicaciones no seriales, OIEA, Viena (1989).
- [2] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Organización, gestión y dotación de personal del órgano regulador en aras de la seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-12, OIEA, Viena (2023).
- [3] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Funciones y procesos del órgano regulador relativos a la seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-13, OIEA, Viena (2023).
- [4] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad de los generadores de radiación y de las fuentes radiactivas selladas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º, RS-G-1.10, OIEA, Viena (2006).
- [5] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y física de las fuentes radiactivas, OIEA, Viena (2004).

- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials, Proceedings Series, IAEA, Vienna (1999).
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Control of Transboundary Movement of Radioactive Material Inadvertently Incorporated into Scrap Metal and Semi-finished Products of the Metal Recycling Industries, Non-serial Publications, IAEA, Vienna (2014).
- [8] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Directrices sobre la importación y exportación de fuentes radiactivas, OIEA, Viena (2013).
- [9] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Control de fuentes huérfanas y otros materiales radiactivos en las industrias de reciclado y producción de metales, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SSG-17, OIEA, Viena (2013).
- [10] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Estrategia nacional para recuperar el control de fuentes huérfanas y mejorar el control de fuentes vulnerables, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SSG-19, OIEA, Viena (2013).
- [11] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, Recommendations on Monitoring and Response Procedures for Radioactive Scrap Metal: Report of an International Group of Experts convened by the United Nations Economic Commission for Europe, ECE/TRANS/NONE/2006/8, UNECE, Geneva (2006).
- [12] EUROPEAN COMMISSION, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, Report on the improvement of the management of radiation protection aspects in the recycling of metal scrap, ECE/TRADE /278, UNECE, Geneva (2002).
- [13] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, Monitoring, Interception and Managing Radioactively Contaminated Scrap Metal (Proc. UNECE Group of Experts Mtg Geneva, 2004), ECE/TRANS/NONE/2004/31, UNECE, Geneva (2004).
- [14] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, Recommendations on Monitoring and Response Procedures for Radioactive Scrap Metal (Proc. UNECE Group of Experts on Monitoring Radioactive Scrap Metal, Geneva, 2006), ECE/TRANS/NONE/2006/7, UNECE, Geneva (2006).
- [15] UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE, International training and capacity building strategy for monitoring and response procedures for radioactive scrap metal, ECE/TRANS/NONE/2007/3, UNECE, Geneva (2007).
- [16] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Control and Management of Radioactive Material Inadvertently Incorporated into Scrap Metal, Proceedings Series, IAEA, Vienna (2011).
- [17] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Comunicación y consulta del organismo regulador con las partes interesadas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-6, OIEA, Viena (2024).
- [18] MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA, MINISTERIO DE FOMENTO, CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR, EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS RADIATIVOS S.A., UNIÓN DE EMPRESAS SIDERÚRGICAS, FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE LA RECUPERACIÓN, Protocolo de colaboración sobre la vigilancia radiológica de los materiales metálicos, Madrid (1999).

- [19] INTERNATIONAL NUCLEAR SAFETY ADVISORY GROUP, The Safe Management of Sources of Radiation: Principles and Strategies, INSAG Series No. 11, IAEA, Vienna (1999).
- [20] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Establecimiento de la infraestructura de seguridad radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SSG-44, OIEA, Viena (2023).
- [21] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Marco gubernamental, jurídico y regulador para la seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Parte 1 (Rev. 1), OIEA, Viena (2017).
- [22] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMISIÓN EUROPEA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: Normas básicas internacionales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Part 3, OIEA, Viena (2016). <https://doi.org/10.61092/iaea.u2pu-60vm>
- [23] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Método para elaborar disposiciones de respuesta a emergencias nucleares o radiológicas, Colección de Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia EPR-METHOD 2003, OIEA, Viena (2009).
- [24] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Manual para Primeros Actuantes ante Emergencias Radiológicas, Colección de Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia PRE-PRIMEROS ACTUANTES 2006, OIEA, Viena (2007).
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy, Safety Reports Series No. 17, IAEA, Vienna (2000).
- [26] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Identificación de fuentes y dispositivos radiactivos, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 5, OIEA, Viena (2009).
- [27] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Disposiciones de preparación para emergencias nucleares o radiológicas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GS-G-2.1, OIEA, Viena (2010).
- [28] Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, INFCIRC/335, OIEA, Viena (1986).
- [29] Convención sobre Asistencia en caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica, INFCIRC/336, OIEA, Viena (1986)
- [30] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Operations Manual for Incident and Emergency Communication, Emergency Preparedness and Response Series EPR-IEComm (2019), IAEA, Vienna (2020).
- [31] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Response and Assistance Network, Emergency Preparedness and Response Series EPR-RANET (2018), IAEA, Vienna (2018).

- [32] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Gestión previa a la disposición final de desechos radiactivos, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Parte 5, OIEA, Viena (2010).
- [33] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, Managing Potentially Radioactive Scrap Metal, NCRP Report No. 141, NCRP, Bethesda, Maryland (2002).
- [34] AGENCIA PARA LA ENERGÍA NUCLEAR DE LA OCDE, COMISIÓN PREPARATORIA DE LA ORGANIZACIÓN DEL TRATADO DE PROHIBICIÓN COMPLETA DE LOS ENSAYOS NUCLEARES, OFICINA DE COORDINACIÓN DE ASUNTOS HUMANITARIOS DE LAS NACIONES UNIDAS, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE POLICÍA CRIMINAL (INTERPOL), ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO, ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL, ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, Preparación y respuesta para casos de emergencia nuclear o radiológica, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSR Part 7, OIEA, Viena (2018). <https://doi.org/10.61092/iaea.3dbe-055p>
- [35] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Clasificación de las fuentes radiactivas, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º RS-G-1.9, OIEA, Viena (2009).
- [36] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Cantidades peligrosas de materiales radiactivos (valores D), Colección de Preparación y Respuesta para Casos de Emergencia EPR-D-Valúes 2006, OIEA, Viena (2010).
- [37] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre materiales nucleares y otros materiales radiactivos no sometidos a control reglamentario, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 15, OIEA, Viena (2012).
- [38] OFICINA EUROPEA DE POLICÍA, ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE ADUANAS, ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE POLICÍA CRIMINAL Detección de materiales radiactivos en las fronteras, IAEA-TECDOC-1312/S, OIEA, Viena (2004).
- [39] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Aplicación del sistema de gestión de instalaciones y actividades, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GS-G-3.1, OIEA, Viena (2016).
- [40] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Recomendaciones de seguridad física nuclear sobre materiales radiactivos e instalaciones conexas, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 14, OIEA, Viena (2012).
- [41] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Seguridad física de los materiales radiactivos durante su uso y almacenamiento y de las instalaciones conexas, Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA N.º 11-G, OIEA, Viena (2022).

- [42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical and Functional Specifications for Radiation Border Monitoring Equipment, IAEA Nuclear Security Series No. 1, IAEA, Vienna (2005).
- [43] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Principios fundamentales de seguridad, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º SF-1, OIEA, Viena (2007). <https://doi.org/10.61092/iaea.hmxn-vw0a>
- [44] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Aplicación del concepto de exención, Colección de Normas de Seguridad del OIEA N.º GSG-17, OIEA, Viena (2024).
- [45] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Predisposal Management of Waste from the Use of Radioactive Material in Medicine, Industry, Research, Agriculture and Education, IAEA Safety Standards Series No. SSG-45, IAEA, Vienna (2019).
- [46] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Concept of Clearance, IAEA Safety Standard Series No. GSG-18, IAEA, Vienna (2023).
- [47] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports Series No. 44, IAEA, Vienna (2005).
- [48] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-49, IAEA, Vienna (2019).
- [49] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation Strategy and Process for Areas Affected by Past Activities or Events, IAEA Safety Standards Series No. GSG-15, IAEA, Vienna (2022).
- [50] GARLAND, J.A., COX, L.C., The absorption of tritium gas by English soils, plants and the sea, *Water Air Soil Pollute.* **14** (1980) 103–114, <https://doi.org/10.1007/BF00291829>

ANEXOS: ARCHIVOS COMPLEMENTARIOS

Los anexos I a XII están disponibles como archivos complementarios en línea y se pueden encontrar en la página web individual de esta publicación en www.iaea.org/publications.

Anexo I

MECANISMOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Las fuentes radiactivas se utilizan en aplicaciones industriales, médicas, de investigación y docencia. Es crucial controlar y gestionar estas fuentes para evitar riesgos cuando quedan fuera del control regulatorio y generan riesgos radiológicos para el público y trabajadores.

Anexo II

METODOLOGÍA PARA LA CALIBRACIÓN Y VERIFICACIÓN DE PORTALES O PÓRTICOS DE DETECCIÓN

Los procesos aseguran que los monitores de radiactividad en empresas adheridas al protocolo o estrategia nacional funcionen correctamente. Es aconsejable realizar verificaciones iniciales y periódicas para garantizar su operatividad de forma continua.

Anexo III

PROCEDIMIENTOS DE ACTUACIÓN EN CASO DE DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO A LA ENTRADA DE LAS INSTALACIONES

Para la tasa de dosis máxima en contacto con la superficie del vehículo, se sugiere un valor de 50 $\mu\text{Sv/h}$, y para la tasa de dosis de acordonamiento y restricción del público, un valor de 1 $\mu\text{Sv/h}$, aunque la autoridad reguladora puede ajustar estos valores según las circunstancias y reglamentación local. Las actividades pueden ser realizadas solo por personal capacitado y autorizado, siguiendo un procedimiento que incluye la verificación de funcionamiento del detector, la medición del fondo natural de radiación, y la inspección del vehículo y su carga.

Anexo IV

REPORTE DE DETECCIÓN DE MATERIAL RADIATIVO EN LA ENTRADA DE LAS INSTALACIONES

El reporte permite identificar el sitio de la detección de material radiactivo, el tipo de cargamento, los niveles de radiación observados y otros detalles de interés para las tareas de identificación del posible origen del material radiactivo hallado, incluyendo fotografías.

Anexo V

PROCEDIMIENTO PARA LA MITIGACIÓN, LIMPIEZA Y DESCONTAMINACIÓN EN CASO DE RUPTURA O FUSIÓN DE UNA FUENTE RADIATIVA

El procedimiento describe cómo mitigar las consecuencias de una fusión o ruptura de una fuente radiactiva y los mecanismos para evaluar las instalaciones afectadas. Incluye medidas inmediatas y especializadas, aplicando el concepto ALARA para minimizar la exposición a la radiación.

Anexo VI

METODOLOGÍA PARA INVESTIGAR LA PROCEDENCIA DE LAS FUENTES DETECTADAS

La detección de material radiactivo en la industria del reciclado se notifica al órgano regulador, que investiga las causas y el origen en cooperación con las empresas. El objetivo es identificar otras fuentes radiactivas en condiciones similares y asignar responsabilidades al propietario de la fuente.

Anexo VII

EJEMPLOS DE AUTORIZACIÓN GENÉRICA PARA LA TRANSFERENCIA DE FUENTES RADIATIVAS DETECTADAS EN LA CHATARRA A UN GESTOR AUTORIZADO

Estos ejemplos describen mecanismos para la autorización para la transferencia de fuente radiactiva

Anexo VIII

EJEMPLO DE BASE DE DATOS PARA EL REGISTRO DE NOTIFICACIONES DE DETECCIONES EN INSTALACIONES VINCULADAS AL RECICLADO DE CHATARRA

Este sistema web permite notificar detecciones de materiales radiactivos en instalaciones de reciclado de chatarra y actualizar registros en la base de datos. Los usuarios registrados por la autoridad competente pueden acceder al sistema para gestión y consulta, garantizando su funcionamiento en diversas plataformas y navegadores.

Anexo IX

EJEMPLO DE REGISTRO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE DETECCIÓN EN LOS LUGARES DONDE SE ENCUENTRAN INSTALADOS

Los registros de verificación y calibración de instrumentos de detección son esenciales para estudios y auditorías, y se almacenan electrónicamente para facilitar el análisis estadístico. Estos registros incluyen actividades como aceptación inicial, alarmas, calibraciones, mantenimiento y pruebas de transmisión de datos.

Anexo X

MODELO DE POSTER PARA DIVULGACIÓN Y FOLLETOS INFORMATIVOS PARA LA POBLACIÓN Y LOS TRABAJADORES DEL SECTOR DE LA RECUPERACIÓN DE METALES

Modelo de tríptico para divulgación. Folletos informativos para la población y los trabajadores del sector de la recuperación de metales

Anexo XI

REGISTROS DE DETECCIONES DE MATERIAL RADIATIVO Y MECANISMOS DE NOTIFICACIÓN PARA LA COLABORACIÓN ENTRE LOS PAÍSES DEL FORO

El órgano regulador mantiene un registro informatizado de detecciones de materiales radiactivos en la industria del reciclado, incluyendo detalles como entidad, lugar, y medidas adoptadas. Además, establece mecanismos de notificación y cooperación con los países del FORO para intercambiar información y asistencia técnica.

Anexo XII

RESULTADOS DE LA REUNIÓN DE EXPERTOS IBEROAMERICANOS SOBRE VIGILANCIA RADIOLÓGICA DE LA CHATARRA Y RECUPERACIÓN DE FUENTES RADIATIVAS, VERACRUZ, MÉXICO, 11–15 FEBRERO 2013

El problema de las fuentes radiactivas huérfanas es común a todos los países presentes en la reunión, y solo España tiene instrumentos específicos para abordarlo. Los participantes reconocen la necesidad de una estrategia regional y la importancia de la cooperación entre organismos estatales y el sector privado, tomando como referencia el Protocolo Español y el trabajo del FORO.

CONTRIBUYENTES A LA REDACCIÓN Y REVISIÓN

| | |
|--------------|--|
| Aquino, J. | Comisión Nacional de Energía Nuclear, Brasil |
| Cabral, W. | Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección, Uruguay |
| Castro, I. | Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México |
| Jimenez, M. | Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México |
| Lopez, E. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Lopez, P. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Molina, I. | Centro Nacional de Seguridad Nuclear, Cuba |
| Morales, E. | Autoridad Reguladora Nacional en Radioprotección, Uruguay |
| Pacheco, R. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Pérez, S. | Ministerio de Salud, Chile |
| Quijada, R. | Instituto Peruano de Energía Nuclear, Perú |
| Renedo, J. | Consejo de Seguridad Nuclear, España |
| Rivera, J. | Secretaría Regional Ministerial de Salud de la Región Metropolitana, Chile |
| Tellería, D. | Organismo Internacional de Energía Atómica |
| Truppa, W. | Autoridad Regulatoria Nuclear, Argentina |

Reuniones de expertos

Viena, Austria: 1 al 5 de junio 2022



IAEA
International Atomic Energy Agency

CONTACT IAEA PUBLISHING

Feedback on IAEA publications may be given via the on-line form available at:
www.iaea.org/publications/feedback

This form may also be used to report safety issues or environmental queries concerning IAEA publications.

Alternatively, contact IAEA Publishing:

Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
Telephone: +43 1 2600 22529 or 22530
Email: sales.publications@iaea.org
www.iaea.org/publications

Priced and unpriced IAEA publications may be ordered directly from the IAEA.

ORDERING LOCALLY

Priced IAEA publications may be purchased from regional distributors and from major local booksellers.