
Manual genérico para la ayuda en la gestión de áreas habitadas contaminadas después de una emergencia radiológica en Europa



V e r s i ó n 2

Activity number:
Deliverable number:

CAT1RTD03
D18C1R4



EURANOS

European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies

Nuclear Fission / Radiation Protection

Integrated Project FI6R-CT-2004-508843

EURANOS(CAT1)-TN(09)-03

MANUAL GENÉRICO PARA LA AYUDA EN LA GESTIÓN DE ÁREAS HABITADAS CONTAMINADAS DESPUÉS DE UNA EMERGENCIA RADIOLÓGICA EN EUROPA

EURANOS(CAT1)-TN(09)-03

A.F. Nisbet, J. Brown, T. Cabianca & A.L. Jones

HPA-RPD – Radiation Protection Division
Health Protection Agency
Chilton, Didcot, Oxon
OX11 0RQ, UK

K.G. Andersson

Risø National Laboratory for Sustainable Energy
Technical University of Denmark
Frederiksborgvej 399
P.O. Box 49
DK-4000 Roskilde, Denmark

R. Hänninen and T. Ikäheimonen

STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority
P.O. Box 14, FIN-00881, Helsinki
Finland

G. Kirchner

BfS - Federal Office of Radiation Protection
Koepenicker Allee 120-130
10318 Berlin
Germany

V. Bertsch and M. Heite

University of Karlsruhe,
Hertzstr. 16,
D-76187 Karlsruhe,
Germany

| Fecha de publicación | Revisión | Preparado/revisado por: | Comentado por: | Aprobado por: |
|-----------------------------|-------------------|---|-----------------------|----------------------|
| Marzo de 2010 | Versión 2 | Anne Nisbet | Jane Simmonds | Anne Nisbet |
| Septiembre de 2013 | Traducción | Rafael Iglesias Ferrer, Alfonso Uruburu Rodríguez, Eduardo Gallego Díaz. Departamento de Ingeniería Nuclear. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). | | |

Agradecimientos

El desarrollo de este manual no habría sido posible sin las críticas constructivas y las aportaciones de los paneles de todas las partes interesadas que participan en el proyecto en Finlandia, Francia, Alemania, Holanda y la República Eslovaca. Los autores reconocen con agradecimiento su contribución al proyecto. El trabajo en el manual fue parcialmente financiado por el Sexto Programa Marco de la Comisión Europea (Fisión Nuclear/Protección Radiológica) bajo el proyecto integrado EURANOS: Enfoque europeo para la gestión de emergencias nucleares y radiológicas y estrategias de rehabilitación (Contrato No: FI6R-CT-2004-508843).

Copyright

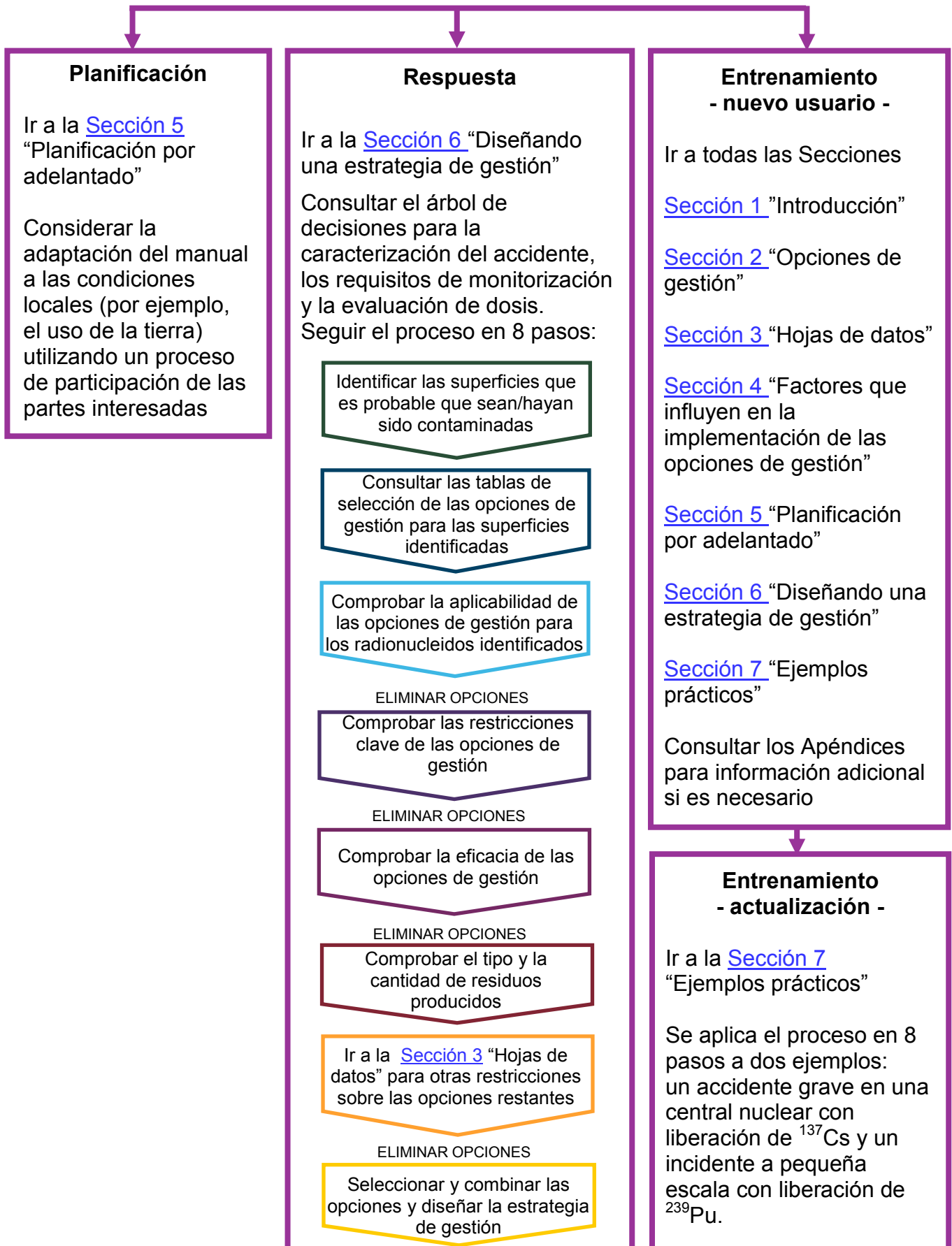
Copyright © Health Protection Agency (HPA), 2010

Se permite la copia, distribución y/o modificación de este manual siempre que cualquier nueva versión del mismo garantice la misma libertad a terceros y reconozca la autoría del manual original.

Limitación de responsabilidad

La información contenida en este documento se proporciona tal cual, y no se garantiza que su uso sea adecuado para ningún fin determinado. El usuario utiliza esta información bajo su propio riesgo y responsabilidad.

¿Para qué propósito quiero usar el Manual de Áreas Habitadas?



1 INTRODUCCIÓN AL MANUAL PARA ÁREAS HABITADAS

- 1.1 Objetivos del Manual de Áreas Habitadas
- 1.2 A quién está dirigido
- 1.3 Aplicación
- 1.4 Contexto
- 1.5 Alcance
- 1.6 Estructura del Manual de Áreas Habitadas
- 1.7 Tipos de contaminantes, peligros y vías de exposición
- 1.8 Áreas habitadas
- 1.9 Determinación de la naturaleza y el alcance del incidente y caracterización de la contaminación
- 1.10 Principios y criterios generales de protección radiológica
- 1.11 Criterios de protección radiológica para áreas habitadas
- 1.12 Estimación de dosis en áreas habitadas
- 1.13 Referencias

2 OPCIONES DE GESTIÓN

- 2.1 Opciones de blindaje
- 2.2 Opciones de eliminación
- 2.3 Opciones de gestión de autoayuda
- 2.4 Implementación de opciones de gestión con personas *in situ*
- 2.5 La decisión de no implementar ninguna opción de gestión
- 2.6 Referencias

3 HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

- 3.1 La plantilla de hoja de datos
- 3.2 Las hojas de datos

4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

- 4.1 Factores temporales y espaciales
- 4.2 Eficacia de las opciones de gestión
- 4.3 Protección de los trabajadores
- 4.4 Eliminación de residuos contaminados radiactivamente
- 4.5 Aspectos sociales y éticos de la estrategia de recuperación
- 4.6 Impacto medioambiental
- 4.7 Coste económico
- 4.8 Cuestiones de información y comunicación
- 4.9 Referencias

5 PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO

6 DISEÑANDO UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN

- 6.1 Pasos clave en la selección y combinación de opciones
- 6.2 Tablas de selección
- 6.3 Aplicabilidad de las opciones de gestión para situaciones que incluyen diferentes radionucleidos
- 6.4 Lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión
- 6.5 Eficacia de las opciones de gestión
- 6.6 Cantidades y tipos de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión
- 6.7 Comparación de las opciones de gestión restantes
- 6.8 Referencias

7 EJEMPLOS PRÁCTICOS

- 7.1 Ejemplo 1 – Accidente grave en una central nuclear con liberación de ^{137}Cs
- 7.2 Ejemplo 2 – Incidente de pequeña escala con dispersión de ^{239}Pu

8 GLOSARIO

APÉNDICE A Tipos de peligros y radionucleidos

APÉNDICE B Estimación de dosis en el área afectada

APÉNDICE C Gestión de residuos contaminados procedentes de la limpieza

APÉNDICE D Recomendaciones prácticas para la participación de las partes interesadas en la gestión de áreas contaminadas

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 1

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUCCIÓN AL MANUAL PARA ÁREAS HABITADAS | 9 |
| 1.1 | Objetivos del Manual de Áreas Habitadas | 9 |
| 1.2 | A quién está dirigido | 10 |
| 1.3 | Aplicación | 10 |
| 1.4 | Contexto | 11 |
| 1.5 | Alcance | 11 |
| 1.5.1 | Temas no cubiertos por el Manual de Áreas Habitadas | 11 |
| 1.6 | Estructura del Manual de Áreas Habitadas | 12 |
| 1.7 | Tipos de contaminantes, peligros y vías de exposición | 13 |
| 1.8 | Áreas habitadas | 16 |
| 1.8.1 | Importancia de diferentes superficies que influyen en la exposición a la radiación | 17 |
| 1.9 | Determinación de la naturaleza y el alcance del incidente y caracterización de la contaminación | 19 |
| 1.10 | Principios y criterios generales de protección radiológica | 20 |
| 1.10.1 | Prácticas e intervenciones | 21 |
| 1.10.2 | Aspectos fundamentales de las nuevas Recomendaciones de 2007 sobre la fase de recuperación | 23 |
| 1.11 | Criterios de protección radiológica para áreas habitadas | 24 |
| 1.12 | Estimación de dosis en áreas habitadas | 24 |
| 1.13 | Referencias | 25 |
| | Tabla 1.1 Emisiones predominantes y periodos de semidesintegración para cada radionucleido considerado en el Manual de Áreas Habitadas | 15 |
| | Tabla 1.2 Tipos de subáreas en áreas habitadas | 16 |
| | Tabla 1.3 Superficies en áreas habitadas | 17 |
| | Figura 1.1 Estructura del Manual de Áreas Habitadas y a quién va dirigido | 13 |
| | Figura 1.2 Vías de exposición primaria de relevancia para la fase de recuperación de un incidente radiológico | 14 |
| | Figura 1.3 Relación entre tipos de áreas habitadas y superficies | 17 |
| | Figura 1.4 Posible importancia de las superficies en la contribución a la dosis externa | 18 |
| | Figura 1.5 Papeles generales de la monitorización medioambiental para áreas habitadas | 20 |

1 INTRODUCCIÓN AL MANUAL PARA ÁREAS HABITADAS

El Manual para Áreas Habitadas o Manual de Áreas Habitadas es una herramienta de apoyo para los responsables de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación tras un incidente radiactivo. El Manual es una recopilación de información para ayudar a los usuarios a identificar las cuestiones importantes y evaluar las opciones de gestión. Se ha elaborado con el apoyo financiero de la Comisión Europea como parte del proyecto integrado “EURANOS”. El objetivo global del proyecto es incrementar la coherencia de la preparación para, y la gestión de emergencias en Europa, tras la liberación accidental o deliberada de radionucleidos al medio ambiente. Este manual se centra en las áreas habitadas. Otros dos manuales complementarios tratan la contaminación de los sistemas de producción de alimentos y los suministros de agua potable (<http://www.euranos.fzk.de>). El Manual de Áreas Habitadas debería considerarse un documento vivo que requiere de revisiones periódicas para permanecer actualizado.

Áreas habitadas contaminadas – ¿cuál es el problema?

Tras un accidente radiactivo, puede ocurrir que se contamine un área habitada. A consecuencia de ello, podrían quedar afectados muchos tipos de superficies y áreas que requieren tipos específicos de opciones de gestión para reducir las dosis externas y las debidas a inhalación de material resuspendido. La limpieza puede dar lugar a grandes volúmenes de material contaminado que requiera su eliminación.

¿Cómo puede ayudar el Manual de Áreas Habitadas?

El Manual de Áreas Habitadas proporciona a los responsables de tomar las decisiones y a otras partes interesadas una guía sobre cómo gestionar las múltiples facetas de un incidente radiactivo. Contiene información científica y técnica sobre qué hacer durante la emergencia, así como herramientas para ayudar en la selección de una estrategia de recuperación teniendo en cuenta el amplio abanico de factores que pueden influir. El Manual de Áreas Habitadas también es útil para la planificación de contingencias.

1.1 Objetivos del Manual de Áreas Habitadas

El Manual de Áreas Habitadas ha sido desarrollado para cumplir varios objetivos interrelacionados:

- proporcionar información actualizada sobre las opciones de gestión para reducir las consecuencias de la contaminación en un área habitada
- dar una idea general de los múltiples factores que influyen en la implementación de estas opciones

- proporcionar una guía sobre la planificación de la recuperación con anterioridad a un incidente
- ilustrar cómo seleccionar y combinar las opciones de gestión y con ello construir una estrategia de recuperación.

El Manual de Áreas Habitadas tiene también una serie de objetivos secundarios:

- concienciar sobre la preparación para emergencias y las opciones de gestión para la recuperación en áreas habitadas
- fomentar el diálogo constructivo entre todas las partes interesadas
- identificar en condiciones de no-crisis problemas específicos que podrían surgir, incluyendo el establecimiento de grupos de trabajo para encontrar soluciones prácticas
- elaborar planes y/o estructuras para la gestión de áreas habitadas contaminadas a nivel local, regional y nacional.

1.2 A quién está dirigido

El Manual de Áreas Habitadas está dirigido específicamente a:

- departamentos y agencias del gobierno central
- expertos en protección radiológica
- ayuntamientos y representantes
- autoridades responsables del agua y la salud
- personal de respuesta ante emergencias (policía, ambulancias y servicios de extinción de incendios y rescate)
- otras partes interesadas que pudieran verse afectadas/implicadas, dependiendo de la situación.

1.3 Aplicación

El Manual de Áreas Habitadas puede considerarse solo como un documento de referencia que contiene información sobre los aspectos científicos, técnicos y sociales relevantes para la gestión de áreas habitadas contaminadas. Sin embargo, se pretende que sea utilizado como parte de un proceso participativo con el fin de alcanzar todo su potencial. Algunos ejemplos de las aplicaciones más probables del Manual son:

- en la fase de preparación, en condiciones de no-crisis para implicar a las partes interesadas y para desarrollar planes/estructuras/herramientas a nivel local, regional y nacional
- en las fases postaccidente como parte del proceso de ayuda para la toma de decisiones por las partes interesadas locales y nacionales
- con fines de entrenamiento
- en la preparación para y durante los ejercicios de emergencias.

1.4 Contexto

El objetivo primario del Manual de Áreas Habitadas es la protección radiológica, o, en otras palabras, reducir la exposición de los humanos a la radiación. Sin embargo, la experiencia de sucesos de contaminación pasados, en particular del accidente en la central nuclear de Chernobyl, ha mostrado que las consecuencias de una contaminación extensa y de larga duración son complejas y multidimensionales. La protección radiológica debería ser considerada solo como un aspecto de la situación. Se ha reconocido que, para ser eficiente y sostenible, la gestión de las consecuencias de la contaminación radiactiva debe tener en cuenta otras dimensiones de las condiciones de vida, como cuestiones económicas, sociales, culturales y éticas. Por lo tanto, este Manual también recoge aspectos que van más allá de la protección radiológica (ver [Sección 4](#)). El manual se basa en la premisa de que aquellos que viven y trabajan en las áreas contaminadas todavía desean hacerlo tras un accidente nuclear o un incidente radiológico. Ello dependerá en parte del apoyo proporcionado por las autoridades.

1.5 Alcance

Las fuentes de contaminación consideradas en el Manual de Áreas Habitadas son accidentes en un emplazamiento nuclear o en el transporte de armas. Sin embargo, muchas de las opciones de gestión descritas serán también relevantes para otros incidentes radiactivos (por ejemplo, un dispositivo terrorista improvisado) aún cuando el patrón de la contaminación fuera diferente.

Este Manual solo cubre la parte de recuperación de la fase postaccidente, centrándose en la reducción de las dosis debidas a la exposición externa a la contaminación radiactiva y a la inhalación de material resuspendido en el aire. Tras una emergencia radiológica habrá una fase de emergencia inicial crítica en la que se requieran medidas urgentes como el confinamiento o la evacuación para proteger a los individuos de los riesgos relativamente altos a corto plazo. Debería considerarse que la fase de recuperación comienza justo después de que el incidente haya sido contenido; no obstante, no hay límites exactos entre las dos fases. Y continúa hasta que se alcancen los criterios de recuperación acordados. Aunque el Manual trata solo de la fase de recuperación, también podría utilizarse en la fase crítica para proporcionar información útil y consejo sobre la gestión a largo plazo del incidente y para ver las implicaciones de las medidas urgentes iniciales sobre cualquier estrategia de recuperación posterior.

1.5.1 Temas no cubiertos por el Manual de Áreas Habitadas

Los temas que no cubre el Manual de Áreas Habitadas incluyen:

- orientación para establecer un esquema detallado de monitorización
- listas y detalles de contactos y contratistas y las responsabilidades de las organizaciones en el caso de una emergencia radiológica
- enlaces entre las respuestas a diferentes niveles, por ejemplo, local, regional...
- planificación detallada para emergencias radiológicas incluyendo notas de prensa elaboradas previamente y respuestas estandarizadas

- estrategia de comunicación
- cuestiones socioeconómicas más amplias de daño, compensación, recuperación de la actividad, pérdidas personales y privadas.

1.6 Estructura del Manual de Áreas Habitadas

La estructura global del Manual de Áreas Habitadas se ilustra en la [Figura 1.1](#). La [Sección 1](#) establece el contexto, alcance y a quién está dirigido el Manual, su aplicación, y describe la importancia de varias superficies y peligros en áreas habitadas. La [Sección 2](#) proporciona una visión de conjunto de las opciones de gestión para diferentes tipos de áreas habitadas; las hojas de datos para cada opción de gestión se presentan en la [Sección 3](#). Los factores que influyen en la implementación de las opciones de gestión en áreas contaminadas se describen en la [Sección 4](#). Se da información sobre la planificación para la recuperación con antelación a un incidente en la [Sección 5](#). La estructura principal de ayuda a la decisión, incluyendo un ejemplo práctico, se recogen en la [Sección 6](#) y [Sección 7](#), respectivamente. Se puede encontrar un glosario detallado en la [Sección 8](#), e información de apoyo y antecedentes en los Apéndices. Como se señala en la [Sección 1.3](#), el Manual de Áreas Habitadas debería usarse como parte de un proceso participativo que incluyera a las partes interesadas locales y nacionales en el desarrollo de una estrategia de recuperación (es decir, el segmento inferior de la [Figura 1.1](#)).

Figura 1.1 Estructura del Manual de Áreas Habitadas y a quién va dirigido



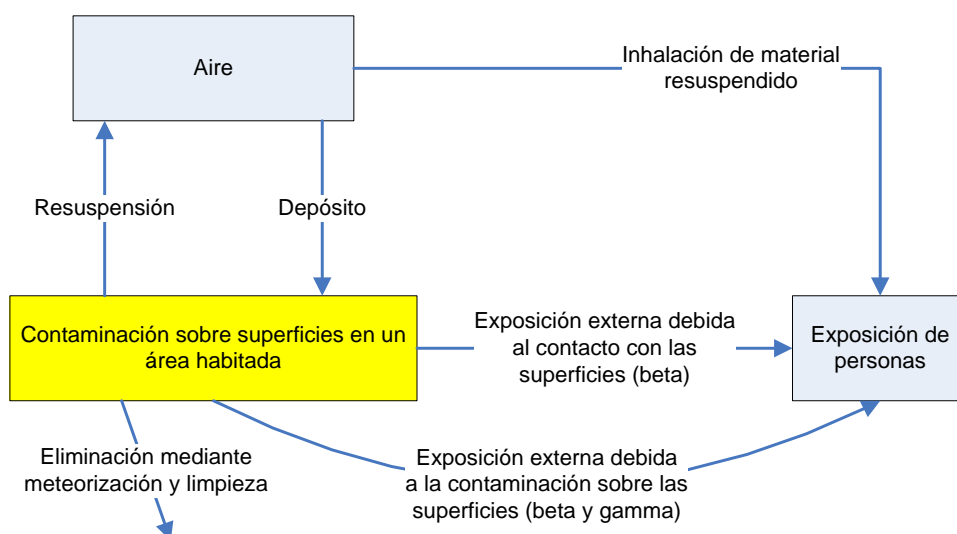
1.7 Tipos de contaminantes, peligros y vías de exposición

Tras un incidente radiológico, los peligros para la salud de los humanos dependen de las características de los radionucleidos involucrados y del periodo de exposición, así como de la distancia desde el lugar donde vive la gente a la contaminación y de la presencia de cualquier material de blindaje. Se puede encontrar más información sobre los peligros radiológicos en el [Apéndice A](#).

La [Figura 1.2](#) muestra los procesos más importantes de transferencia de radionucleidos en un área habitada, los diferentes peligros planteados y las vías de exposición para humanos. Las vías de exposición que contribuyen de manera más significativa a la exposición de los humanos en un área habitada son la exposición externa a la contaminación de superficies y la inhalación de material contaminado resuspendido. En ciertos casos, otras vías de exposición, como por ejemplo la ingestión inadvertida de material contaminado, pueden justificar su investigación. Esta vía ha sido considerada para personas que trabajen con residuos contaminados, pero no se trata en detalle en el Manual. La ingestión de comida contaminada, aunque no se debate en este Manual, es también una vía de exposición importante. Se debería consultar el Manual para los Sistemas de Producción de Alimentos a fin de obtener información adicional sobre esta vía y cómo se podría reducir la transferencia de radionucleidos.

Los radionucleidos considerados en el Manual se han agrupado de acuerdo con sus periodos de semidesintegración radiactiva y según su peligro surja principalmente de la emisión de radiación gamma, beta o alfa. En la [Tabla 1.1](#) se dan los periodos de semidesintegración y los tipos de radiación emitida por los radionucleidos incluidos en el Manual.

Figura 1.2 Vías de exposición primaria de relevancia para la fase de recuperación de un incidente radiológico



En general se espera la liberación de una combinación de radionucleidos al medio ambiente tras un incidente radiológico. Como se muestra en la [Tabla 1.1](#), a menudo un radionucleido emite predominantemente un solo tipo de radiación y, como resultado, normalmente domina una vía de exposición para dicho radionucleido. Sin embargo, para algunos radionucleidos y dependiendo de las circunstancias del incidente, de los hábitos de la gente y de si son miembros del público o trabajadores de recuperación, puede haber casos en los que debieran considerarse otras vías de exposición.

INTRODUCCIÓN AL MANUAL PARA ÁREAS HABITADAS

Tabla 1.1 Emisiones predominantes y periodos de semidesintegración para cada radionucleido considerado en el Manual de Áreas Habitadas

| Radionucleido | | | | | | |
|---|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--|
| Símbolo | Nombre | Alfa (MeV) | Beta (MeV) | Gamma (KeV) | Tipo de radiación dominante | Periodo de semidesintegración radiactiva |
| ⁶⁰ Co | Cobalto-60 | – | 1.48 (0.1%) 0.31 (99%+) | 1173 (100%) 1332 (100%) | Gamma | 5.27 a |
| ⁷⁵ Se | Selenio-75 | – | – | 265 (60%) 136 (57%) | Gamma | 119.8 d |
| ⁹⁰ Sr + ⁹⁰ Y | Estroncio-90 + Ytrio-90 | – | 0.546 2.27 | – | Beta | 29.12 a |
| ⁹⁵ Zr | Zirconio-95 | – | 0.89 (2%) 0.396 | 724 (49%) 756 (49%) | Gamma | 63.98 d |
| ⁹⁹ Mo + ^{99m} Tc | Molibdeno-99 + Tecnecio-99m | – | 1.23 | 740 (12%) 81 (7%) | Gamma | 66 h |
| ¹⁰³ Ru | Rutenio-103 | – | 0.70 (3%) 0.21 | 497 (88%) 610 (6%) | Gamma | 39.28 d |
| ¹⁰⁶ Ru + ¹⁰⁶ Rh | Rutenio-106 + Rodio-106 | – | 3.54 | 512 (21 %) 622 (11%) | Gamma | 368.2 d |
| ¹³² Te | Telurio-132 | – | 0.22 | 53 (17%) 230 (90%) | Gamma | 78.2d |
| ¹³¹ I | Yodo-131 | – | 0.606 | 364 (82%) 637 (6.8%) | Gamma | 8.04 d |
| ¹³⁴ Cs | Cesio-134 | – | 0.662 | 796 (99%) 605 (98%) | Gamma | 2.062 a |
| ¹³⁶ Cs | Cesio-136 | – | 0.341 0.657 | 819 (100 %) 1048 (80%) | Gamma | 13.1 d |
| ¹³⁷ Cs + ^{137m} Ba | Cesio-137 + Bario-137m | – | 1.176 (7%) 0.514 | 662 (85%) | Gamma | 30 a |
| ¹⁴⁰ Ba | Bario-140 | – | 1.02 | 438 (5%) 537 (34%) | Gamma | 12.74 d |
| ¹⁴⁴ Ce | Cerio-144 | – | 0.318 0.238 | 133.5 (100%) | Gamma | 284.3 d |
| ¹⁶⁹ Yb | Iterbio-169 | – | – | 63(45%) 198 (35%) | Gamma | 32.01 d |
| ¹⁹² Ir | Iridio-192 | – | 0.67 | 317 (81%) 468 (49%) | Gamma | 74.02 d |
| ²²⁶ Ra | Radio-226 | 4.78 (95%) 4.60 (6%) | 3.3 | 186 (4%) 260 (0.007%) | Alfa | 1.6 10 ³ a |
| ²³⁵ U | Uranio-235 | 4.40 (57%) 4.37 (18%) | 0.3 | 185 (54%) 143 (11%) | Alfa/ Gamma* | 7.04 10 ⁸ a |
| ²³⁸ Pu | Plutonio-238 | 5.50 (72%) 5.46 (28%) | – | 99 (0.008%) 150 (0.001%) | Alfa | 87.74 a |
| ²³⁹ Pu | Plutonio-239 | 5.16 (88%) 5.11 (11%) | – | 52 (0.02%) 129 (0.005%) | Alfa | 2.4 10 ⁴ a |
| ²⁴¹ Am | Americio-241 | 5.49 (85%) 5.44 (13%) | – | 60 (36%) 101 (0.04%) | Alfa/ Gamma* | 432.2 a |

Notas:

*: Para estos radionucleidos, las dosis de inhalación causadas por el material resuspendido son principalmente debidas a la radiación alfa emitida, pero, si la contaminación está fijada a las superficies y no es susceptible de resuspensión, solo la exposición externa a la radiación gamma contribuye a la dosis

1.8 Áreas habitadas

¿Qué es un “área habitada”?

Áreas habitadas son lugares donde la gente pasa su tiempo. Se pueden dividir en una serie de subáreas como residencial, industrial y recreativa. Estas subáreas contienen una variedad de superficies como edificios, calles, bosques y parques.

Las subáreas y superficies que se pueden encontrar en las áreas habitadas se describen en la [Tabla 1.2](#) y la [Tabla 1.3](#) respectivamente.

La [Figura 1.3](#) muestra los tipos de superficie que se puede encontrar en cada subárea.

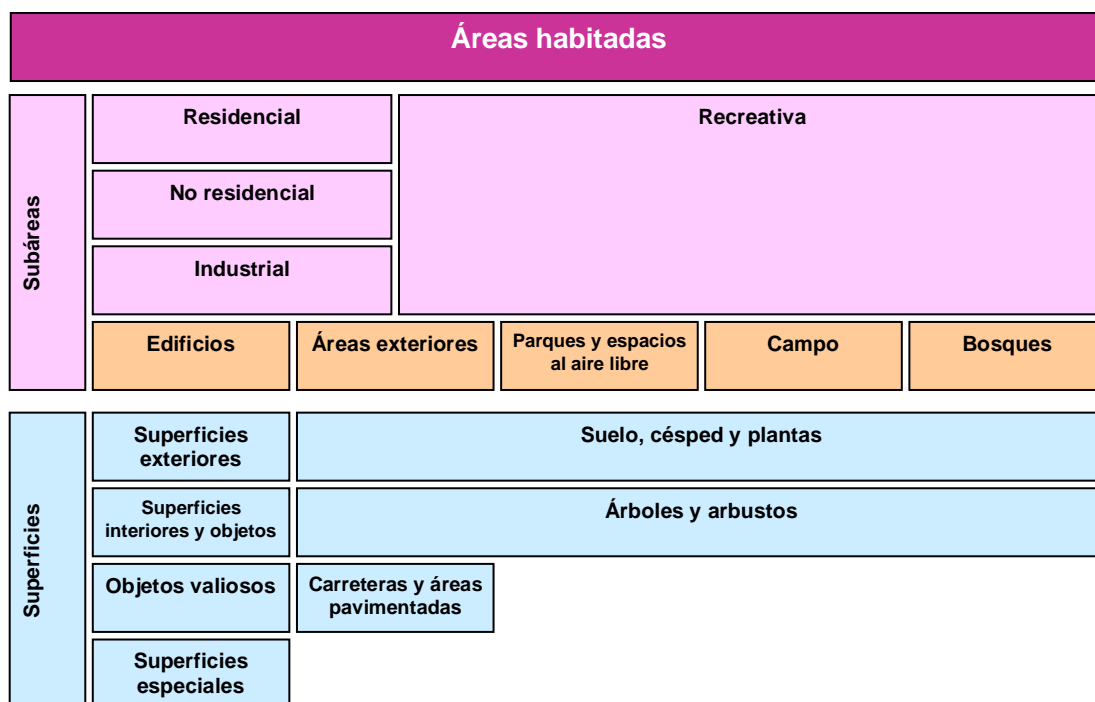
Tabla 1.2 Tipos de subáreas en áreas habitadas

| Subárea | Descripción |
|--|--|
| Residencial | Áreas usadas para fines residenciales (por ejemplo, casas, pequeños asentamientos, urbanizaciones, bloques de pisos). |
| No residencial | Áreas a las que el público acude por servicios y empleo (por ejemplo, distritos comerciales, centros comerciales, supermercados, centros de pueblos y ciudades). |
| Industrial | Áreas no residenciales donde se lleva a cabo la producción y/o actividades comerciales (por ejemplo, zonas industriales, fábricas). |
| Recreativa | Áreas al aire libre a las que el público acude con fines recreativos. |
| Las subáreas pueden comprender: | |
| Edificios | Edificios usados con fines residenciales, públicos, comerciales e industriales. También se incluyen los edificios clave para proveer de infraestructuras a un área, como estaciones de tren y plantas de tratamiento de aguas. |
| Áreas al aire libre | Áreas con acceso privado desde las viviendas (por ejemplo, áreas de juegos, entradas de coches, patios, jardines) y áreas con acceso público (por ejemplo, caminos, pavimentos, campos deportivos, parques infantiles). |
| Parques y espacios abiertos | Todos los jardines, parques, áreas de juego infantiles y campos deportivos de acceso público. El tamaño de estas áreas es generalmente mayor de 300 m ² . |
| Bosques | Bosques de coníferas y de árboles de hoja caduca, gestionados o no, y bosques de uso con fines recreativos por parte del público. |
| Áreas de campo | Áreas usadas con fines recreativos por parte del público, gestionadas o no (por ejemplo, senderos, parques nacionales, páramos). |

Tabla 1.3 Superficies en áreas habitadas

| Superficie | Descripción de la superficie |
|--|--|
| Edificios-superficies exteriores | Superficies duras exteriores (por ejemplo, paredes, tejados, ventanas y puertas de todos los edificios) |
| Edificios-superficies interiores y objetos | Superficies interiores de los edificios (por ejemplo, paredes, suelos, techos, muebles y tapicerías) |
| Edificios-objetos valiosos | Objetos para los cuales la eliminación es inaceptable y a los cuales los métodos de descontaminación normales causarían un daño inaceptable (por ejemplo, piezas de museo, obras de arte, documentos originales y artículos personales) |
| Edificios-superficies especiales | Superficies metálicas, plásticas y revestidas que se encuentran en edificios industriales y comerciales. También incluye los sistemas de ventilación. |
| Carreteras y áreas pavimentadas | Todas las carreteras, pavimentos, grandes áreas pavimentadas o asfaltadas (por ejemplo, campos de juegos, patios y aparcamientos) |
| Suelo, césped y plantas | Incluye parcelas de césped, flores y hortalizas asociadas a los jardines de edificios residenciales, paisajismo en torno a edificios públicos y comerciales, parcelas, parques, campos de deporte y otras áreas verdes gestionadas. |
| Árboles y arbustos | Incluye todas las plantas leñosas (por ejemplo, árboles, arbustos y matorrales) asociadas a los jardines de edificios residenciales, paisajismo en torno a edificios comerciales/públicos, huertas, parcelas, parques, campos de deporte y otras áreas verdes gestionadas. |

Figura 1.3 Relación entre tipos de áreas habitadas y superficies

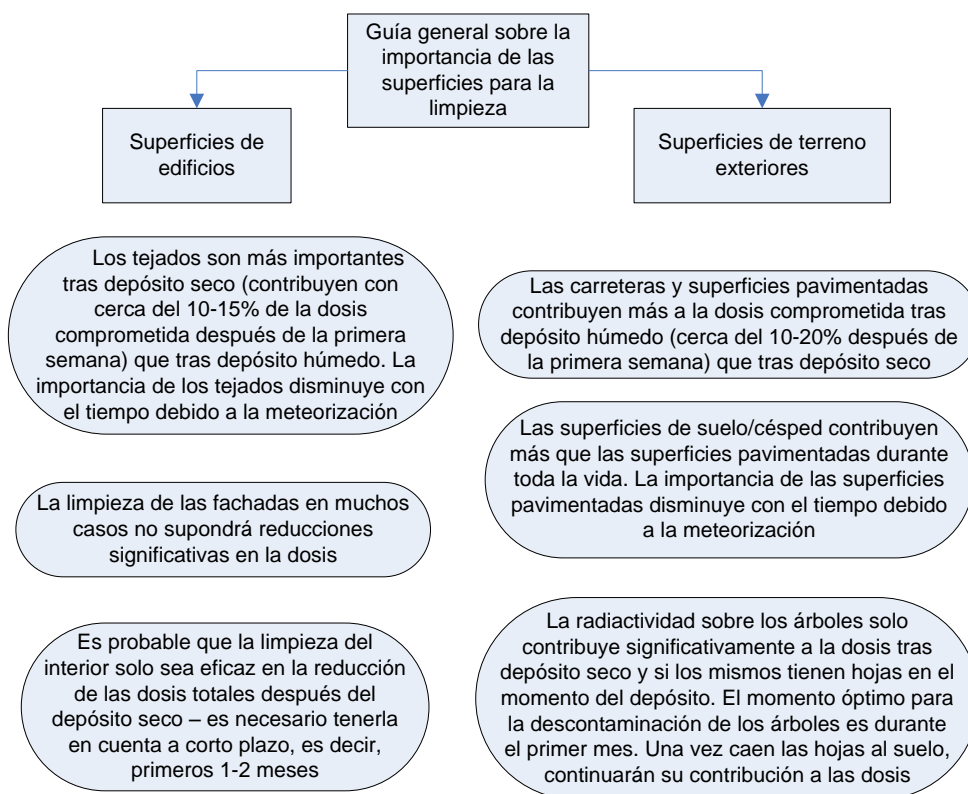


1.8.1 Importancia de diferentes superficies que influyen en la exposición a la radiación

La importancia relativa de las distintas superficies que contribuyen a las dosis debidas a la exposición externa depende de un número de factores específicos, como los radionucleidos liberados y sus formas físicas/químicas, el tipo de área, la cantidad de precipitación en el momento del depósito, el desgaste y la redistribución de los

radionucleidos sobre otras superficies. Si la fuente de contaminación está al aire libre, la contaminación sobre las superficies exteriores juega siempre un papel principal. Si el depósito se produce mientras llueve (depósito húmedo), las dosis debidas al depósito sobre superficies interiores es probable que sean mucho menores que las dosis debidas al depósito sobre superficies exteriores. Si el depósito ocurriera en un momento en el que no llueve (depósito seco), las dosis debidas a las superficies interiores cobran una mayor importancia. Además, el depósito de material radiactivo bajo condiciones de tiempo seco o húmedo tiene como resultado diferentes distribuciones de la contaminación sobre las distintas superficies (ver el [Apéndice A](#) para más información). Por ejemplo, el depósito húmedo sobre las paredes de las casas es mínimo, debido a su orientación vertical. Además, las superficies con la mayor contaminación radiactiva puede que no sean las que más contribuyan a la exposición de los habitantes de un área contaminada, ya que estas personas pasarán más tiempo cerca de superficies menos contaminadas. Por lo tanto, es necesario, a la hora de estimar las dosis al público, evaluar cuidadosamente las contribuciones a la exposición debidas a la contaminación sobre cada superficie. La [Figura 1.4](#) da una indicación de la probable importancia de las superficies que se encuentran en áreas habitadas en la contribución a las dosis gamma externas tras el depósito de un radionucleido de vida larga, como por ejemplo el ¹³⁷Cs, en un área habitada típica tras una liberación en el exterior de la misma, como por ejemplo un accidente en un reactor (Brown et al, 1996). La importancia relativa del tiempo que se pasa al aire libre y en el interior en las dosis se tiene en cuenta asumiendo que la gente pasa el 90% de su tiempo en el interior.

Figura 1.4 Posible importancia de las superficies en la contribución a la dosis externa



La información en la [Figura 1.4](#) también es posiblemente aplicable a radionucleidos de vida larga emisores beta, como el ^{90}Sr . Esta información no es necesariamente apropiada para liberaciones que tengan lugar dentro de un área habitada (por ejemplo, una bomba sucia), puesto que la distribución de la contaminación entre las superficies puede que sea muy diferente.

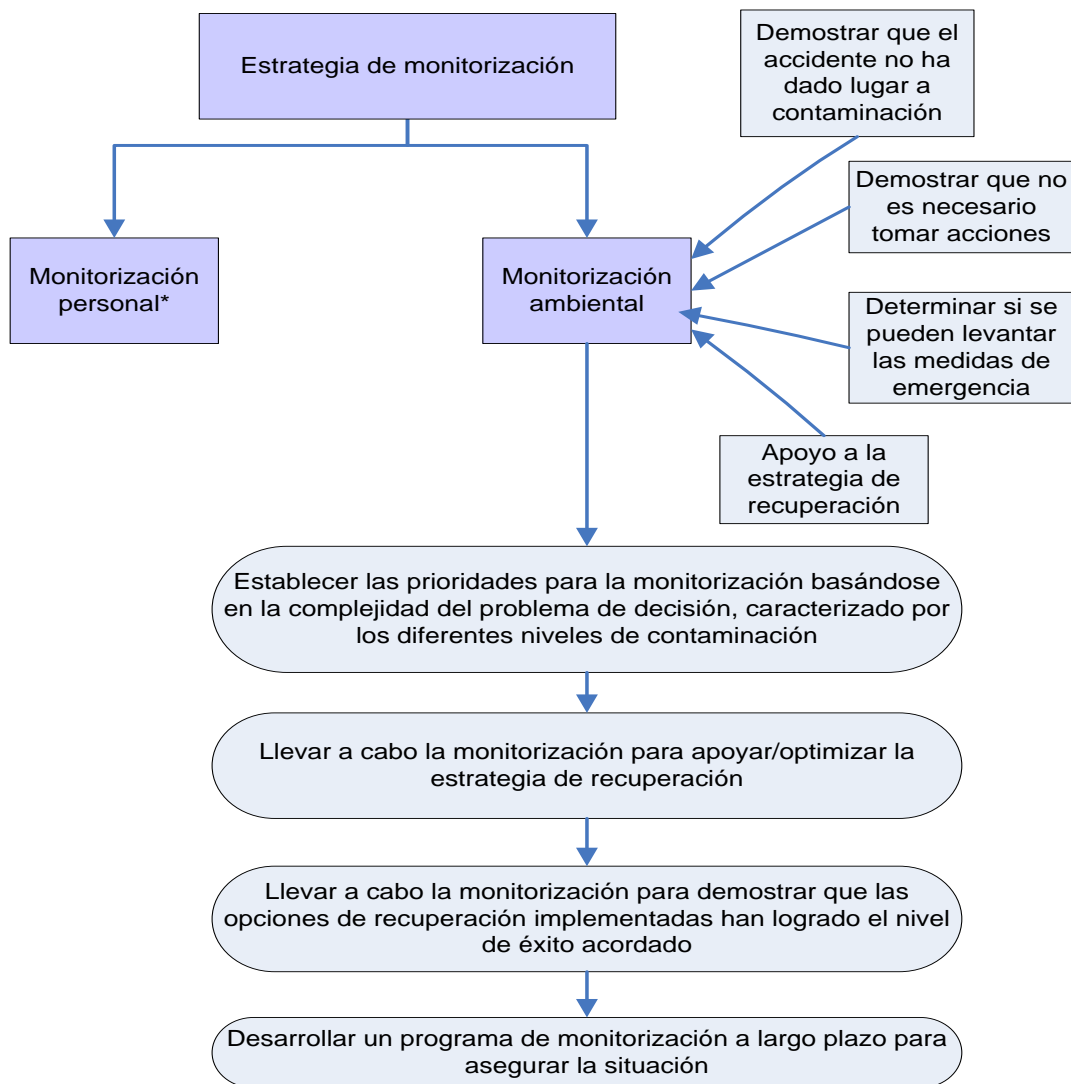
1.9 Determinación de la naturaleza y el alcance del incidente y caracterización de la contaminación

Es improbable que, al inicio de la fase de recuperación, los responsables de tomar decisiones tengan una visión detallada de la distribución completa de la contaminación depositada sobre el terreno. Puesto que es importante basar las decisiones de recuperación en una imagen lo más clara posible del patrón de contaminación y de las dosis probables a las personas, es necesario implementar una adecuada estrategia de monitorización detallada, tanto para las personas como para el medio ambiente (Morrey et al, 2004). Esta estrategia tiene que identificar las prioridades para la monitorización así como los tipos y escalas de la misma necesarios, y debería considerar también las necesidades de monitorización en diferentes situaciones. Los requisitos clave para la monitorización son:

- demostrar que no se ha producido contaminación a consecuencia del incidente
- demostrar que no es necesario llevar a cabo acciones
- determinar si se pueden levantar las contramedidas de emergencia
- determinar la exposición de las personas (monitorización personal)
- respaldar una estrategia de recuperación, es decir, determinar dónde es necesario limpiar y demostrar que las opciones implementadas han alcanzado un nivel de éxito acordado
- proporcionar tranquilidad a largo plazo.

La [Figura 1.5](#) recoge una visión de conjunto del papel de la monitorización medioambiental en la fase de recuperación. No se trata con posterioridad el desarrollo de una estrategia de monitorización detallada.

Figura 1.5 Papeles generales de la monitorización medioambiental para áreas habitadas



* No se considera la monitorización personal más allá en este Manual.

1.10 Principios y criterios generales de protección radiológica

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (*ICRP*) es el principal organismo internacional encargado de emitir recomendaciones sobre normas de protección radiológica. Después de un proceso de consulta de varios años, en 2007 la *ICRP* publicó las nuevas recomendaciones para un sistema de protección radiológica en la Publicación 103 (*ICRP* 2007), que sustituyen a las Recomendaciones de 1990 (*ICRP* 1991a). Sin embargo, pasarán varios años antes de que la Publicación 103 sea incorporada a la legislación nacional, de manera que esta sección se refiere principalmente a las Recomendaciones de 1990.

1.10.1 Prácticas e intervenciones

Las Recomendaciones de 1990 distinguen dos situaciones para las cuales se aplica el sistema de protección radiológica, “prácticas” e “intervenciones”.

1.10.1.1 Prácticas

Las “prácticas” son situaciones que están bajo control y que conducen al aumento de la exposición de los individuos, como por ejemplo durante la operación de las centrales nucleares. El énfasis está en el control de la fuente de exposición y, por regla general, se puede planificar con antelación al inicio de la práctica. Los principios de protección de la *ICRP* para las prácticas son:

- ninguna práctica que implique exposición a la radiación debería ser adoptada a menos que produzca un beneficio suficiente para los individuos expuestos o la sociedad que compense el perjuicio por radiación que ocasiona. Esto se conoce como la **justificación** de la práctica
- en relación con cualquier fuente particular dentro de una práctica, la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones donde no se tiene la certeza de que se vayan a recibir, deberían mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales. Este procedimiento debería ser limitado por las restricciones de dosis a las personas (restricciones de dosis), o por los riesgos para los individuos en el caso de exposiciones potenciales (restricciones de riesgo), a fin de limitar la desigualdad que pudiera derivarse de las evaluaciones sociales y económicas inherentes. Esto se conoce como la **optimización** de la protección
- la exposición de personas como resultado de la combinación de todas las prácticas relevantes debería estar sujeta a **límites de dosis**, o a algún tipo de control de riesgo en el caso de exposiciones potenciales. Estos tienen el objetivo de garantizar que ningún individuo está expuesto a riesgos de radiación que sean considerados inaceptables para estas prácticas en cualquier circunstancia normal.

En términos más simples, estos principios se pueden expresar de la siguiente manera: la radiación puede causar daños y por lo tanto, cualquier uso debería valer la pena (**justificación**) y, siendo este el caso, deberían tomarse todas las medidas razonables para reducir la exposición a una sola fuente por debajo de las restricciones predefinidas (**optimización**). Las dosis y los riesgos para un individuo derivados de todas las fuentes de radiación relevantes deberían mantenerse dentro de unos límites predefinidos (**limitación de la dosis y el riesgo**).

1.10.1.2 Intervenciones

Las “intervenciones” son situaciones donde las fuentes, las vías de exposición y los individuos expuestos ya están en marcha en el momento de tomar una decisión sobre su control, como sucede en las acciones adoptadas para reducir la exposición al radón existente. En tales situaciones, la protección solo se puede lograr mediante la eliminación o modificación de las fuentes o vías de exposición existentes, o la reducción del número de personas expuestas. La *ICRP* (*ICRP*, 1991b) ha recomendado los siguientes principios generales que rigen el sistema de protección radiológica para una intervención:

- las contramedidas deberían introducirse si con ellas se espera lograr más beneficios que daños. Esto se conoce como **justificación** de la intervención
- los criterios cuantitativos utilizados para la introducción y retirada de las contramedidas deberían ser tales que la protección del público sea optimizada. Esto se conoce como **optimización** de la intervención
- los efectos deterministas graves sobre la salud deberían ser evitados mediante la introducción de contramedidas para mantener las dosis a las personas en niveles inferiores a los valores umbrales de estos efectos.

En la mayoría de los casos, la intervención no se puede aplicar a la fuente de exposición y tiene que aplicarse al medio ambiente y, en particular en el caso de accidentes, a la libertad de acción de los individuos. Debido a esto, un programa de intervención siempre tendrá algunas desventajas, pero siempre debería estar justificado en el sentido de que se produce más beneficio que daño. De ello se deduce que el uso de límites de dosis o restricciones, especificadas para las prácticas como base para decidir sobre el nivel en el que se recurre a la intervención, podría suponer la adopción de medidas que serían desproporcionadas en relación al beneficio obtenido y, por tanto, entrarían en conflicto con el principio de justificación. Por ello, los límites de dosis para prácticas (y, en consecuencia, las restricciones de dosis) no determinan si debería llevarse a cabo o no la intervención. Por supuesto, habrá cierto nivel de dosis, cercano al que pudiera causar efectos deterministas graves, para el que se requiera casi siempre algún tipo de intervención.

Es evidente que la intervención tiene por objeto evitar o prevenir la exposición a la radiación. Por lo tanto, un factor importante en la toma de decisiones sobre la intervención es el nivel de dosis evitado mediante la adopción de medidas correctoras (dosis evitable). Sin embargo, para las acciones realizadas durante la fase de recuperación, se debería reconocer que un objetivo igualmente importante es el de promover un pronto retorno a la “vida normal”. Así, las personas encargadas de tomar decisiones deberían considerar, no solo las consecuencias esperadas de la aplicación de la estrategia (por ejemplo, la dosis evitable, los costes, los recursos necesarios, la duración probable, el nivel de disfunción, etc.), sino también cómo la aplicación de esta estrategia contribuirá al restablecimiento de la “normalidad”, incluyendo, en particular, los criterios sobre los cuales las medidas de protección se considerarán exitosas (y así puedan ser finalizadas).

Para las situaciones que requieren una intervención, puede ser útil el concepto de un nivel de dosis, o cantidad que puede medirse directamente, por encima de la cual se deberían tomar medidas. Tales criterios se denominan niveles de acción (NA). Los NA genéricos pueden ser desarrollados antes de un accidente (por ejemplo, aquellos adoptados para los alimentos) o, en el caso de un accidente, teniendo en cuenta las circunstancias específicas.

1.10.1.3 *¿Qué tipo de sistema de protección para la fase de recuperación?*

Los sistemas de protección tanto para las prácticas como para las intervenciones son relevantes para la fase de recuperación. El sistema de protección para las intervenciones se utilizaría en el proceso de decisión sobre la forma y la escala de las acciones tomadas para la recuperación de la contaminación del medio ambiente producto de liberaciones accidentales de radiactividad. Sin embargo, los trabajadores

que realicen estas acciones estarían siendo potencialmente expuestos a una fuente de radiación adicional, por lo que su exposición sería controlada mediante el sistema de protección para prácticas. Del mismo modo, la manipulación y eliminación de cualquier residuo producido durante las acciones de recuperación lejos del área contaminada, estaría controlada mediante el sistema de protección para prácticas.

1.10.2 Aspectos fundamentales de las nuevas Recomendaciones de 2007 sobre la fase de recuperación

Los principios fundamentales de protección radiológica – justificación, optimización y aplicación de límites de dosis -, siguen siendo los mismos y los límites de dosis no se han modificado desde las Recomendaciones de 1990. Sin embargo, la *ICRP* ha realizado algunos cambios en la estructura del sistema de protección con el fin de mejorar la claridad del mismo.

En las Recomendaciones de 2007, la *ICRP* ha dividido las situaciones de exposición en tres tipos, que abarcan toda la gama de situaciones de exposición posibles: situaciones de exposición planificada que implican la introducción y operación deliberada y legítima de las fuentes; situaciones de exposición existentes que son situaciones donde las exposiciones ya existen en el momento de tomar una decisión sobre la protección; y situaciones de exposición de emergencia que requieren medidas urgentes para evitar o reducir exposiciones indeseables. En el marco descrito en las Recomendaciones de 2007, la respuesta de emergencia y sus secuelas evolucionan a través de dos tipos de situaciones de exposición: situaciones de exposición de emergencia y situaciones de exposición existentes. La *ICRP* utiliza la clasificación de las situaciones de exposición para resaltar las diferencias en la forma en que estas son gestionadas: puede que no existan límites claramente definidos entre los atributos físicos de las propias exposiciones. La gestión de las situaciones de exposición de emergencia se caracteriza por el reconocimiento de que la situación es “anormal” y de que se requieren acciones para proteger a las personas y para ayudar al restablecimiento de la situación a un estado “normal”. La gestión de la respuesta frente a emergencias está por lo tanto relacionada con el inicio y la gestión del cambio en un breve espacio de tiempo. Las situaciones de exposición existentes como resultado de emergencias, por otra parte, son situaciones en las que los riesgos radiológicos en curso son tolerables, incluso solo con acciones de protección limitadas o sin ellas, aunque la contaminación medioambiental y las exposiciones potenciales se reconoce que son mayores que las que serían aceptadas para situaciones planificadas. En resumen, se reconoce que el impacto de una recuperación medioambiental significativa sobre las personas afectadas y, en general, sobre la sociedad, tendría más peso que cualquier beneficio esperado. De esta forma, se puede establecer una nueva “normalidad”, que requiere mantenimiento. La gestión de situaciones de exposición existentes se caracteriza por tanto por permitir y promover una vida normal en un área en la que se reconoce que existen exposiciones potenciales más altas que en otras zonas. Esto puede implicar el continuar con medidas de protección menos disruptivas, como la monitorización regular del medio ambiente, pero el foco de la gestión debería estar en el mantenimiento de la vida normal, y no en un cambio a una vida normal. El Manual de Áreas Habitadas es posible aplicarlo a ambas situaciones de exposición, de emergencia y existentes, aunque la atención se centra más en la segunda.

1.11 Criterios de protección radiológica para áreas habitadas

Cualquier criterio de protección destinado a reducir los riesgos de efectos estocásticos sobre la salud, es decir, cáncer, tiene que tener en cuenta todas las consecuencias más amplias de la medida de protección propuesta, con el coste y la disfunción, y sopesar estos aspectos con los beneficios esperados resultantes de la implementación de las medidas, incluyendo la tranquilidad del público. Este equilibrio tiene que tener en cuenta las circunstancias específicas del suceso, que pueden variar entre diferentes tipos de incidente y contaminación. Actualmente no hay normas internacionales o nacionales que den una idea de los criterios que podrían usarse directamente tras un incidente radiactivo. Algunas técnicas de limpieza requieren una cantidad de recursos considerablemente mayor y conllevan más trastornos que otras. Por eso, tras un incidente, deberían llevarse a cabo evaluaciones de todas las posibles consecuencias de una gama de estrategias de limpieza. Estas consecuencias deberían incluir costes, plazos, aceptabilidad pública y la disponibilidad de los recursos necesarios, así como la reducción esperada en los riesgos de efectos para la salud. Naturalmente, la recopilación por adelantado de información relevante para estas evaluaciones, como la posible eficacia y los recursos requeridos por las diferentes opciones de limpieza, y la identificación y preparación previas de equipamientos adecuados y contratistas, facilitarían la oportuna finalización de estas evaluaciones en el caso de un incidente. Las posibles estrategias que impliquen altos niveles de costes y trastorno, solo deberían adoptarse si la reducción esperada del riesgo de efectos estocásticos sobre la salud es también elevada, manteniendo de este modo un equilibrio entre los daños esperados y los beneficios de la estrategia. Las directrices internacionales actuales (*ICRP*, 2007) recomiendan que se lleve a cabo cualquier esfuerzo para evitar a los individuos dosis integradas a lo largo de toda su vida mayores de 1 Sv, para lo que deberían ser considerados todos los tipos de medida de protección.

1.12 Estimación de dosis en áreas habitadas

Como se ha mencionado en la [Sección 1.8.1](#), la dosis a un individuo debida a la exposición a una cantidad dada de material radiactivo depositado tras un incidente radiológico puede variar ampliamente, dependiendo de los radionucleidos implicados, la dispersión de la contaminación entre las diferentes superficies y el tiempo que pasan los individuos en lugares con diferentes niveles de contaminación. La dosis que recibe un individuo que vive en un entorno contaminado es la suma de las dosis derivadas de los diferentes niveles de contaminación sobre distintas superficies en una variedad de lugares. La dosis total recibida por un individuo depende por tanto, del tiempo que pasa en cada lugar y la tasa de dosis en ese lugar, la cual varía en el tiempo a medida que la actividad de los radionucleidos decae.

En general, los miembros del público deberían estar igualmente protegidos en todas las áreas donde pasan tiempo o, en otras palabras, las tasas de dosis en las áreas donde trabajan y pasan su tiempo libre no deberían ser mayores que aquellas en donde viven. Esto significa que las dosis consideradas en las distintas categorías de opciones deberían calcularse asumiendo que la gente pasa todo su tiempo en esa localización, teniendo en cuenta el tiempo que pasen a cubierto en la localización si es necesario.

Si hay muy buenas razones por las que pueda ser necesario exponer a las personas a tasas de dosis mayores, por ejemplo, aquellas que se encarguen del mantenimiento de instalaciones e infraestructuras críticas, las dosis a estas personas deben controlarse y el resto de la gente debe excluirse de la zona. En este caso, sería razonable tener en cuenta la cantidad de tiempo que se pasa en el entorno específico que se está considerando.

Idealmente, la estimación de dosis en un área debería tener en cuenta las características de dicha área (por ejemplo, la tipología edificatoria en el área, el nivel de urbanización, la superficie de áreas ajardinadas, parques y otros equipamientos) y la variación temporal de la contaminación como función del tiempo. El [Apéndice B](#) recoge algunas orientaciones sobre métodos básicos para estimar las dosis en áreas habitadas a partir de los niveles de contaminación dados.

1.13 Referencias

- ICRP (1991a). 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60. *Annals of ICRP*, 21 (1-3)
- ICRP (1991b). Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63. *Annals of ICRP*, 22 (4)
- ICRP (2007) Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103. *Annals of ICRP* 37 (2-4)
- Morrey M, Nisbet A, Thome D, Savkin M, Hoe S and Brynildsen L (2004). Response in the late phase to a radiological emergency. *Radiation Protection Dosimetry*, 109, 89-96.

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 2

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2 | OPCIONES DE GESTIÓN | 27 |
| 2.1 | Opciones de blindaje | 32 |
| 2.1.1 | Tipos de blindaje | 32 |
| 2.2 | Opciones de eliminación | 33 |
| 2.3 | Opciones de gestión de autoayuda | 34 |
| 2.4 | Implementación de opciones de gestión con personas <i>in situ</i> | 35 |
| 2.5 | La decisión de no implementar ninguna opción de gestión | 36 |
| 2.6 | Referencias | 37 |
| | Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de las opciones de blindaje | 33 |
| | Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de las opciones de eliminación | 34 |
| | Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de la implementación de opciones de autoayuda | 34 |
| | Tabla 2.4 Factores técnicos a considerar para las opciones de gestión de autoayuda | 35 |
| | Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de no llevar a cabo ninguna opción de recuperación | 36 |
| | Figura 2.1 Opciones de gestión para edificios | 28 |
| | Figura 2.2 Opciones de gestión para carreteras y áreas pavimentadas | 29 |
| | Figura 2.3 Opciones de gestión para suelo, césped y plantas | 30 |
| | Figura 2.4 Opciones de gestión para árboles y arbustos | 31 |

2 OPCIONES DE GESTIÓN

El término “opción de gestión” se define como una acción destinada a reducir o evitar la exposición de las personas a la contaminación radiactiva. Las opciones de gestión se denominaban anteriormente “contramedidas”. Este Manual ha identificado 59 opciones de gestión posibles para su uso en áreas habitadas contaminadas; 11 de ellas cubren las fases previa a la liberación y de emergencia de un incidente; 48 son para la fase de recuperación. El Manual se centra principalmente en las 48 opciones para la fase de recuperación. Estas se pueden dividir en dos grandes grupos: opciones que blindan a las personas de la contaminación (opciones de blindaje) y aquellas que eliminan la contaminación (opciones de eliminación, también llamadas opciones de descontaminación o limpieza). La implementación de las opciones de gestión es, por norma general, responsabilidad de las autoridades, aunque las opciones de autoayuda que pueden ser implementadas por parte de la población afectada pueden ser también útiles (ver [Sección 2.3](#)). También es importante señalar que la opción “evolución natural sin acciones (no hacer nada)” puede ser una alternativa válida; se aporta más información sobre este tema en la [Sección 2.5](#).

Las Figuras 2.1 – 2.4. recogen las opciones consideradas en el Manual para cada tipo de superficie descrita en la [Figura 1.2](#). En estas figuras, las opciones de blindaje están sombreadas en verde y las opciones de eliminación están sombreadas en amarillo. El número entre paréntesis se refiere a la hoja de datos pertinente ([Sección 3](#)). En estas figuras solo se tienen en cuenta las opciones para la fase de recuperación.

Figura 2.1 Opciones de gestión para edificios

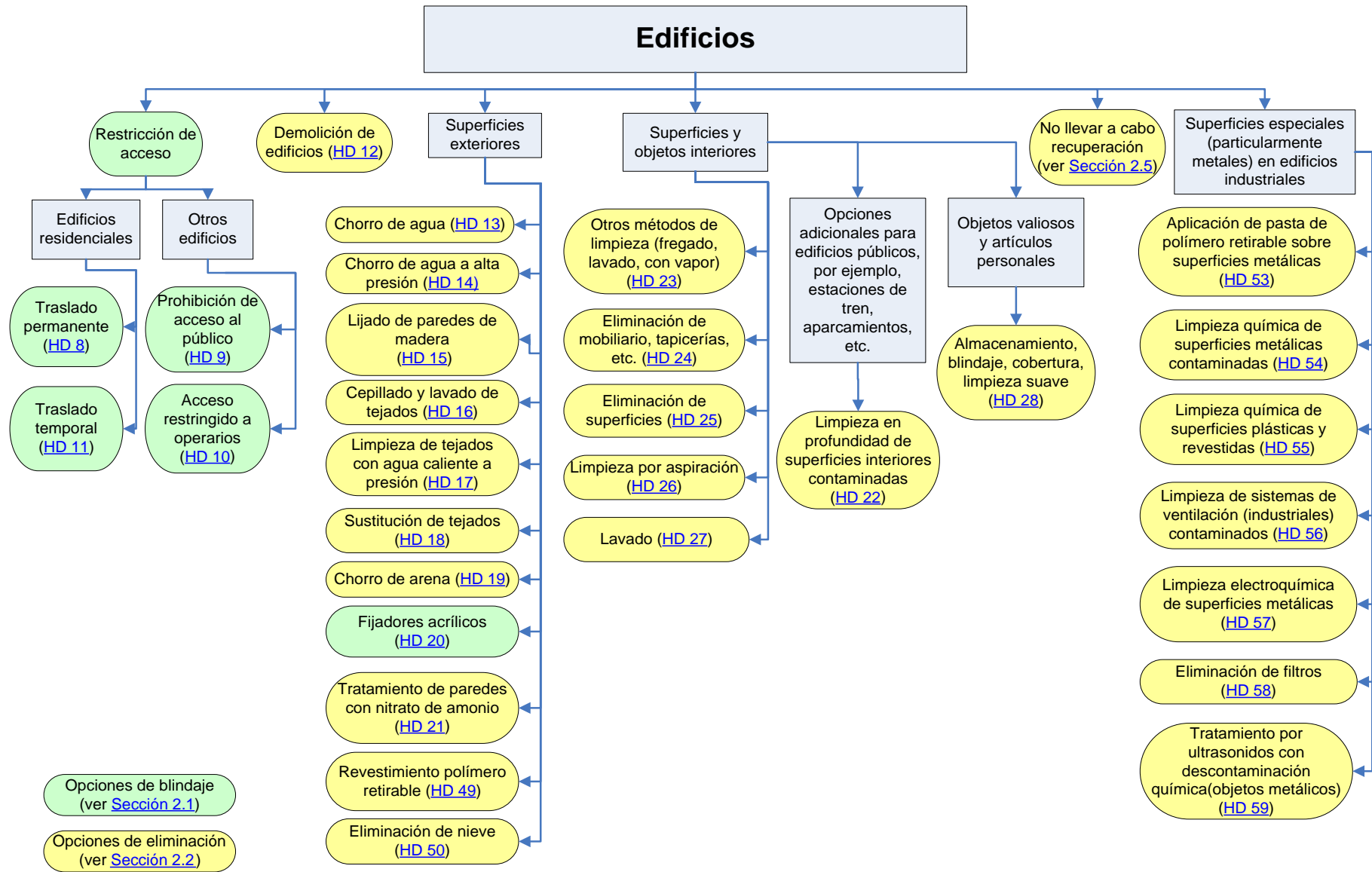


Figura 2.2 Opciones de gestión para carreteras y áreas pavimentadas

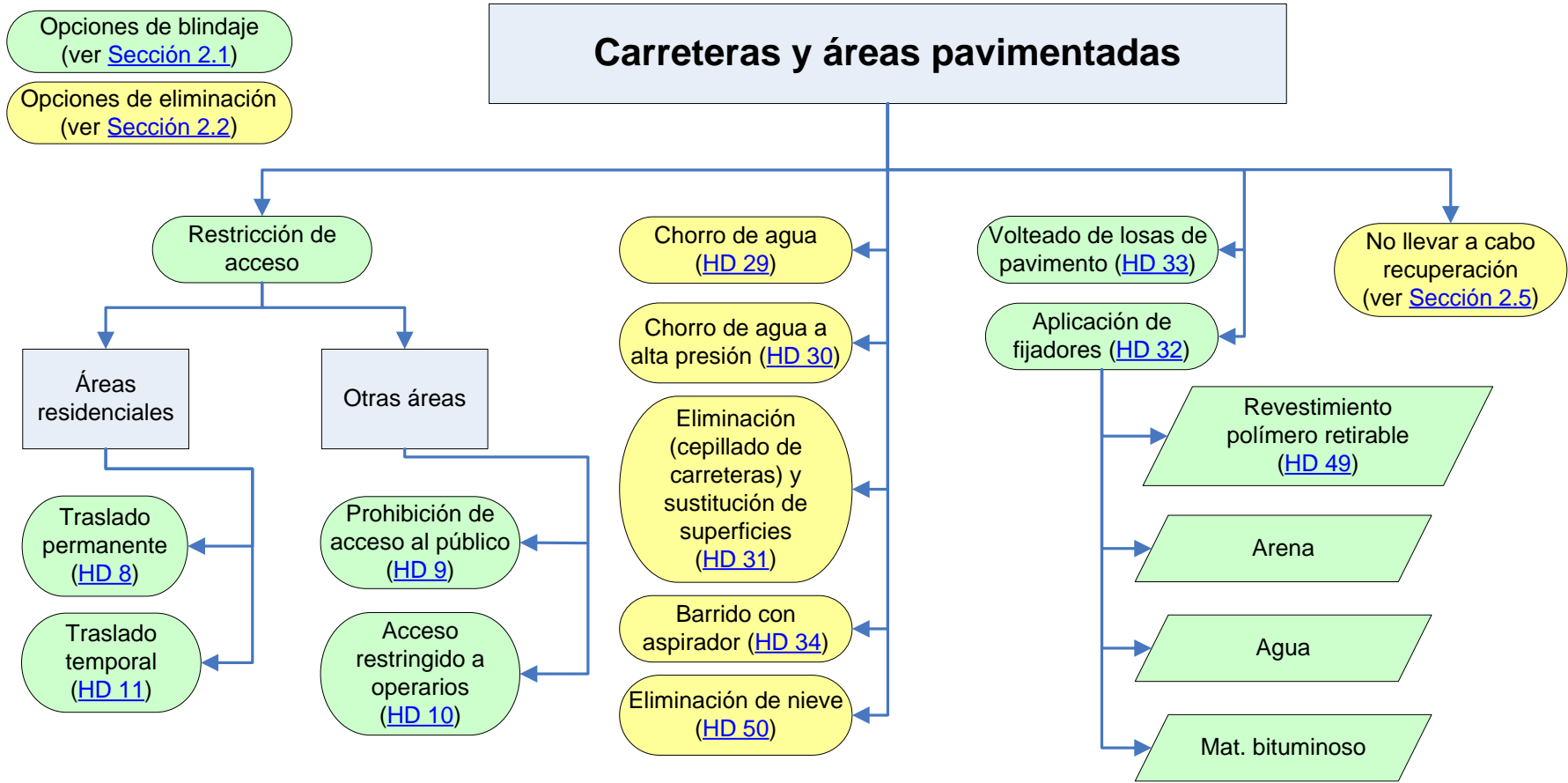


Figura 2.3 Opciones de gestión para suelo, césped y plantas

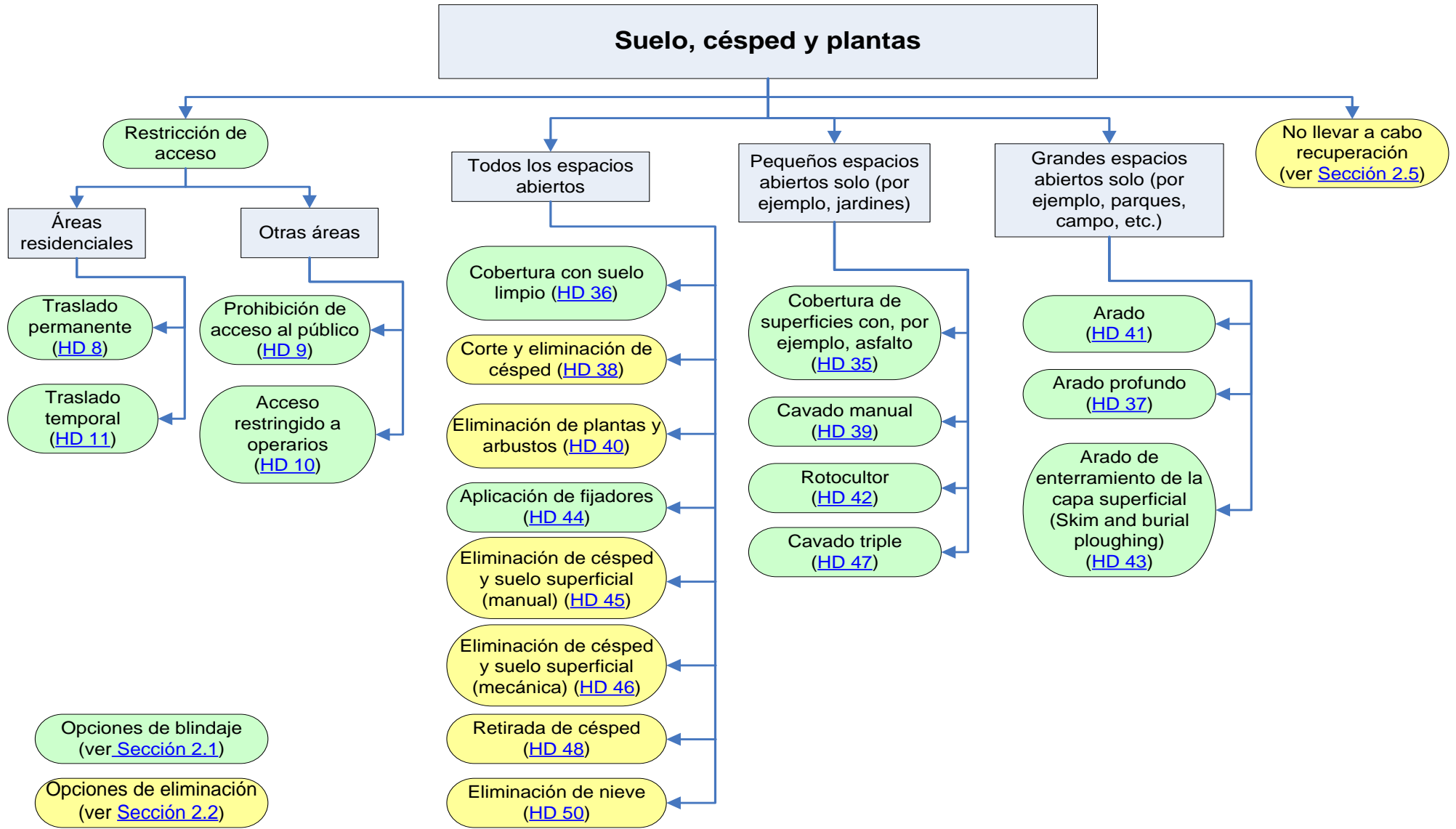
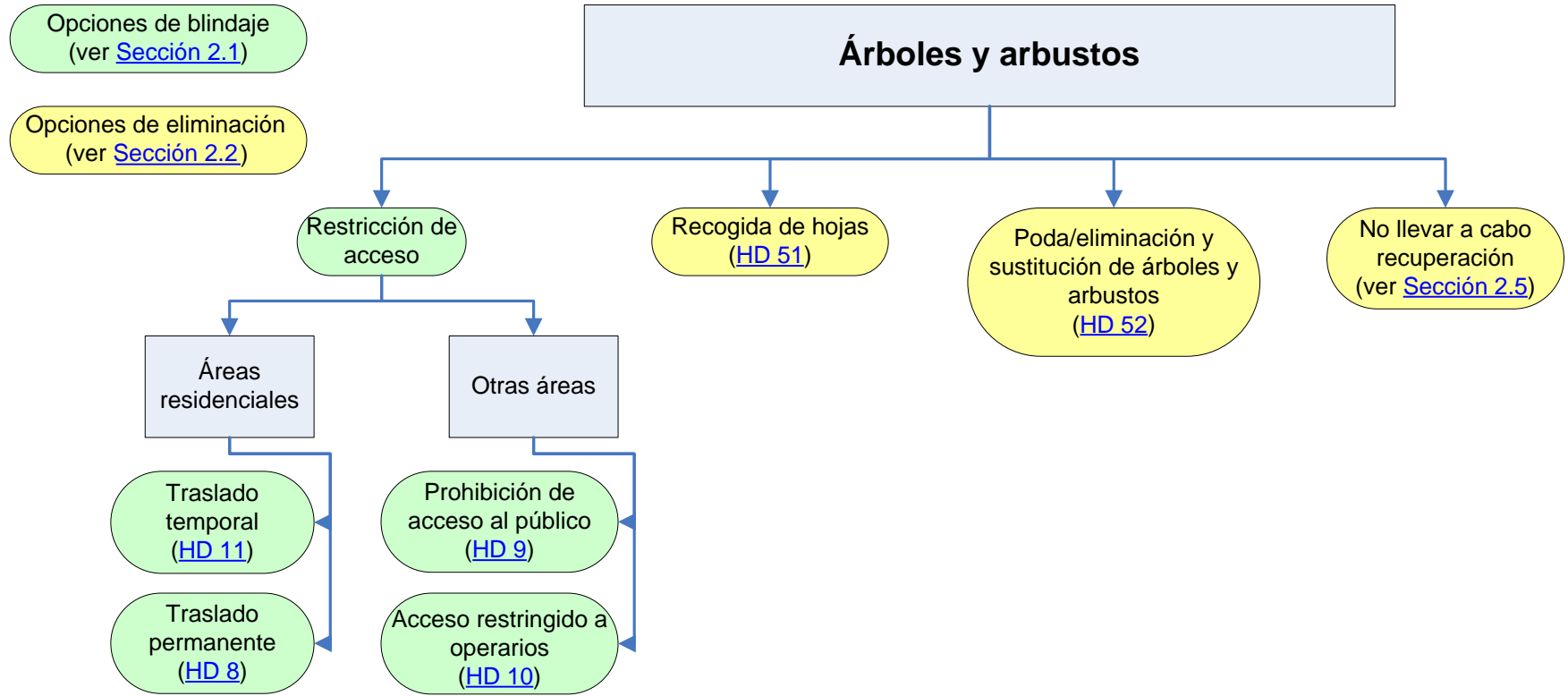


Figura 2.4 Opciones de gestión para árboles y arbustos



2.1 Opciones de blindaje

Las opciones de blindaje se pueden usar para reducir tanto la exposición externa como la incorporación de material contaminado, pero en general son especialmente efectivas en la protección frente a una de estas vías de exposición. El uso de materiales de blindaje es una opción potencialmente muy efectiva para radionucleidos emisores de radiación alfa o beta, particularmente si son de vida relativamente corta. Algunas opciones de blindaje más permanentes, como el enterramiento de material contaminado o el traslado permanente de personas de un área contaminada, también son eficaces para radionucleidos de vidas largas y emisores gamma. El [Apéndice A3](#) recoge información detallada sobre el uso de materiales de blindaje para la reducción de dosis.

2.1.1 Tipos de blindaje

Hay tres tipos principales de opciones de blindaje:

- enterramiento y cobertura de objetos
- restricción de acceso de personas o traslado de personas del área, incluyendo el almacenamiento de objetos
- fijación de la contaminación

Si el objetivo principal es reducir la exposición externa, los materiales de blindaje pueden colocarse entre la contaminación y las personas (enterramiento y cobertura de objetos). Los ejemplos incluyen el uso de capas superficiales de suelo limpio en jardines y otras áreas abiertas y el volteado de losas de pavimento. En general, estos tipos de opciones son más eficaces en la reducción de las tasas de dosis externas debidas a radionucleidos emisores de radiación beta que para aquellos emisores de radiación gamma. Las dosis de inhalación debidas a material resuspendido también se reducen mientras el material de blindaje está colocado.

También se puede obtener una reducción en la exposición externa mediante el traslado de personas del área contaminada o la restricción de acceso a áreas contaminadas u objetos. En este caso, el aire actúa como el medio de blindaje. Tales opciones son 100% efectivas frente a todos los contaminantes radiactivos mientras están en su lugar, puesto que la gente no recibe ninguna dosis procedente del área cuyo acceso está restringido.

Si el objetivo principal es proteger frente a la incorporación de material dentro del cuerpo, el material de blindaje se usa para fijar la contaminación a la superficie y restringir su movilidad. Las opciones de fijación tienen también el beneficio de que proporcionan blindaje frente a la exposición externa, pero la eficacia del blindaje es posiblemente secundaria frente a la reducción de dosis lograda para la exposición interna. Además, la retirada de los materiales de fijación puede eliminar también parte de la contaminación subyacente presente sobre la superficie en forma de polvo. En la [Tabla 2.1](#) se explican las principales ventajas y desventajas de las opciones de blindaje.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas de las opciones de blindaje**Ventajas**

No se generan residuos directamente.

Es poco probable que tengan un efecto negativo duradero sobre el entorno. Algunas opciones pueden hacer que el entorno parezca más limpio (por ejemplo, el repavimentado de carreteras).

La gente puede permanecer en el área durante la implementación, excepto en el caso de traslado.

Son más fáciles y rápidas de implementar que las opciones de eliminación, excepto en el caso de traslado.

La fijación de la contaminación a una superficie es muy efectiva en la protección frente a los emisores alfa y puede proporcionar también un buen blindaje frente a emisores beta y un blindaje limitado frente a emisores gamma, dependiendo del material usado y su grosor. Las opciones de fijación también previenen la resuspensión mientras el material de fijación está colocado.

Desventajas

La contaminación no se elimina del área afectada. Por ello puede ser necesario hacer frente a la percepción pública de que la contaminación, aunque blindada de las personas, todavía existe.

Si se implementan opciones de enterramiento como el arado, es importante asegurarse de que son efectivas para reducir las dosis así como de que no será necesario eliminar la contaminación más tarde. Una vez que se ha enterrado la contaminación, su eliminación posterior tendría como resultado la producción de más residuos radiactivos, aunque con niveles inferiores de contaminación.

La restricción de acceso a áreas, edificios y objetos limita la vuelta a las condiciones de vida normales.

El blindaje permanente mediante la fijación de la contaminación a la superficie puede ocasionar problemas relativos al mantenimiento futuro de la misma, lo que podría dar lugar a dosis para la mano de obra y problemas de eliminación de residuos.

La integridad del material de fijación puede disminuir con el tiempo, reduciéndose su eficacia.

Si el blindaje se realiza mediante la fijación temporal de la contaminación a una superficie, puede ser necesaria la eliminación de los materiales usados, puesto que pueden quedar contaminados.

2.2 Opciones de eliminación

Las opciones de eliminación se basan en la descontaminación o limpieza de las superficies y objetos contaminados. En la [Tabla 2.2](#) se enumeran las principales ventajas y desventajas de las opciones de eliminación. Una de las principales desventajas es que se producen materiales residuales contaminados, a menudo en grandes cantidades. También puede haber restricciones importantes sobre el uso de las opciones de eliminación en edificios históricos, o edificios que se encuentran en mal estado, en los que podría producirse un daño inaceptable. Por ejemplo, la limpieza con chorro de agua a alta presión y la limpieza con chorro de arena podrían causar un daño importante a los edificios de ladrillo o piedra con un mantenimiento deficiente.

De la misma manera, puede no ser posible llevar a cabo técnicas de descontaminación que afecten directamente a la superficie de los objetos debido al daño que tales técnicas pudieran causar. Por ejemplo, esto puede ser particularmente cierto para objetos que se encuentren en edificios históricos y museos. Estos objetos, sin embargo, podrían soportar un lavado suave o un aspirado sin causar daño a sus superficies. Es posible que la eliminación de estos objetos sea inaceptable debido a su valor económico o histórico y, por ello, si todas las técnicas de descontaminación resultan ser inaceptables o impracticables, se debería considerar el almacenamiento o el blindaje de dichos objetos. Debería tenerse en cuenta que estos objetos, en su mayoría, contribuirían relativamente poco a la dosis y que su limpieza tendría por ello el objetivo principal de asegurar la tranquilidad pública.

Tabla 2.2 Ventajas y desventajas de las opciones de eliminación

Ventajas

Eliminan la contaminación del área afectada.

Eficacia en la reducción de las dosis externas y las dosis por inhalación resultantes del material resuspendido. Sin embargo, es posible que las técnicas tengan que ser utilizadas sobre varias superficies para conseguir reducciones de dosis significativas.

La eliminación física funciona igualmente bien para todos los tipos de contaminantes, aunque el grosor de las capas superficiales a eliminar puede depender del tipo de contaminante(s). El uso de reactivos químicos puede ser específico para el tipo de contaminación o no.

Desventajas

Todas las opciones de eliminación generan residuos.

Generan trastornos.

Pueden producirse daños inaceptables a las superficies de los edificios y a los objetos, especialmente si son antiguos o están en mal estado.

Efecto negativo sobre el medio ambiente.

Puede quedar algo de contaminación en el área afectada a menos que se lleven a cabo opciones de eliminación drásticas y medioambientalmente dañinas.

Para algunas opciones puede ser necesario trasladar a las personas fuera del área mientras se elimina la contaminación. Esto implicaría casi con toda seguridad el cierre temporal de escuelas, hospitales y negocios, por ejemplo.

2.3 Opciones de gestión de autoayuda

Las opciones de gestión de autoayuda son medidas sencillas que pueden ser llevadas a cabo por parte de la gente que vive en las áreas afectadas más que por trabajadores cualificados y que, por lo general, no requieren habilidades específicas o experiencia para ser implementadas. La información sobre la idoneidad de las opciones de gestión consideradas en el Manual para autoayuda se da en cada hoja de datos bajo el encabezamiento “Habilidades requeridas” ([Sección 3](#)). Las ventajas y desventajas de las opciones de gestión a implementar por los habitantes afectados en lugar de por otros trabajadores se dan en la [Tabla 2.3](#). Tras el accidente de Chernobyl, los sistemas de autoayuda introducidos en las áreas altamente contaminadas de la antigua Unión Soviética han sido en general percibidos por las poblaciones afectadas como muy positivos (Beresford et al, 2001). Algunos factores técnicos requieren una reflexión específica antes del inicio de las opciones de gestión de autoayuda (ver [Tabla 2.4](#)).

Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de la implementación de opciones de autoayuda

Ventajas

Involucran a las personas afectadas en el esfuerzo para mejorar su propia situación. Esto puede ayudar a la gente a comprender la importancia relativa de las distintas rutas de exposición y conducir a una mejor comprensión sobre cómo se pueden reducir las exposiciones.

Los habitantes afectados consiguen una mejor sensación de que tienen el control de la situación y el conocimiento obtenido a través de la implicación directa puede evitar una ansiedad innecesaria.

Los habitantes afectados conocen exactamente qué se ha hecho para mejorar la situación y lo bien que se ha hecho.

Son relativamente rentables en términos de costes de mano de obra.

Tienen la ventaja de introducir un recurso de mano de obra adicional en los casos en los que es necesario tratar grandes áreas en periodos de tiempo relativamente cortos (por ejemplo, el corte y la recolección de césped).

Cumplen los importantes valores éticos de autonomía, libertad y dignidad.

Tabla 2.3 Ventajas y desventajas de la implementación de opciones de autoayuda**Desventajas**

Las personas que participan en las operaciones de recuperación estarían sujetas al sistema de limitación de dosis para miembros del público.

Las personas que participan en las operaciones de recuperación necesitarían protección.

Tienen que ser llevadas a cabo de manera voluntaria..

Sería necesaria una comunicación cuidadosamente redactada y detallada con las personas participantes. Esto podría llevar un tiempo considerable para su implementación.

Puede que las técnicas no se apliquen con eficacia.

Tabla 2.4 Factores técnicos a considerar para las opciones de gestión de autoayuda

| Factor | Comentario |
|---|---|
| Precauciones de seguridad | Se recogen en las hojas de datos (ver Sección 3). Puesto que las opciones de gestión de autoayuda introducen un mayor grado de autonomía, hay que resaltar que no se debería implementar ninguna opción de gestión antes de que se disponga de las instrucciones de seguridad y el equipamiento adecuado. |
| Protección específica de personas no cualificadas | Los métodos que impliquen un riesgo excesivo (por ejemplo, el trabajo a alturas elevadas o el uso de motosierras) tienen que ser excluidos por defecto. También puede que las personas no estén físicamente en forma para realizar el trabajo. |
| Seguridad en relación con el manejo de los residuos | Las personas pueden recibir dosis relativamente altas cerca de montones o contenedores que contengan el material contaminado concentrado generado por las medidas de autoayuda (por ejemplo, del corte y recogida del césped). Los habitantes necesitarían instrucciones cuidadosas para minimizar el tiempo que pasan en estos lugares antes de la recogida de los residuos. |
| Información sobre el objetivo | El objetivo de una opción de gestión debería estar claro. Esto puede llevarse a cabo parcialmente mediante folletos, pero para algunas opciones de gestión (por ejemplo, el cavado), sería recomendable una supervisión inicial, puesto que los efectos adversos de una incorrecta implementación pueden ser irreversibles. |
| Disponibilidad de equipamiento | La mayor parte del equipamiento principal requerido sería necesario que estuviera en la mayoría de los hogares. Puede que sea necesario proporcionar algún equipamiento adicional y tendría que estar disponible en el plazo requerido. |
| Monitorización para la optimización | La monitorización por parte de trabajadores cualificados para determinar la distribución de la contaminación debería preceder a las técnicas que impliquen excavación del suelo o la eliminación de capas del mismo. |

2.4 La implementación de opciones de gestión con personas *in situ*.

Puede ser difícil llevar a cabo opciones de gestión en un área en la que la gente todavía vive y trabaja, especialmente en áreas residenciales. Se reconoce, sin embargo, que puede que no sea posible trasladar a estas personas temporalmente durante este periodo, en particular si el número de ellas es elevado.

Si los responsables de la toma de decisiones desean evitar tanto el traslado temporal de las personas fuera de un área, como la restricción de acceso a la misma durante la implementación de las opciones de gestión, es necesario considerar los siguientes factores:

- ser conscientes de que mucha gente puede evacuarse de todas formas por su propia cuenta, caso en el que sería necesario asegurar la zona.
- prestación de un servicio de información integral. Con buenos consejos e información, mucha gente estará encantada de permanecer en sus hogares.

- las opciones de gestión deberían llevarse a cabo tan pronto como sea posible. Si se deja permanecer a la gente en un área residencial, el tiempo que se les puede pedir que permanezcan en el interior de sus casas mientras se implementan las opciones de gestión en el exterior circundante es limitado.
- es improbable que sea aceptable para los trabajadores que implementen las opciones de gestión el vestir ropas especiales y equipos de protección personal (EPP) si la gente permanece en la zona. Puede que sea necesario que los trabajadores utilicen máscaras respiratorias ya que pueden provocar algo de resuspensión con sus actividades. En este caso, sería necesario proporcionar información previa al público que lo vea para explicarles por qué no se les ha suministrado una protección similar a ellos.

2.5 La decisión de no implementar ninguna opción de gestión

En algunas circunstancias, las autoridades puede que decidan que la mejor actuación es no implementar ninguna opción de gestión. Es importante que si se tomara la decisión debería estar acompañada siempre por una estrategia de monitorización con el objetivo de tranquilizar a la población local. Esta opción debería tenerse en cuenta si la información disponible (mediciones de la monitorización medioambiental y resultados de las evaluaciones) indicara que las dosis a las personas que vivan en el área serían bajas. No se juzga aquí lo que constituiría una dosis baja. Otros factores podrían hacer atractiva la decisión de no implementar ninguna acción de recuperación, como por ejemplo la disponibilidad limitada de recursos o la gran extensión del área afectada. La [Tabla 2.5](#) recoge las principales ventajas y desventajas de no llevar a cabo ninguna recuperación.

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de no llevar a cabo ninguna opción de recuperación

Ventajas

La implementación de opciones de gestión puede ser percibida como indicador de que hay un problema incluso si las dosis son tan bajas que solo se están llevando a cabo para proporcionar tranquilidad

La percepción del área afectada desde el exterior puede ser mejor (es decir, el incidente no se percibe como un problema real; la gente vive con normalidad). El daño económico puede ser menor.

Se envía un mensaje claro de que los riesgos son bajos y se refuerza la confianza del público en los responsables de tomar las decisiones. Decir que el riesgo es bajo y aún así llevar a cabo opciones de gestión puede hacer que parezca que se envían mensajes contradictorios.

No se producen residuos. Algunas opciones de limpieza que pueden llevarse a cabo para tranquilidad del público pueden crear grandes cantidades de residuos, como cortar el césped.

Si se implementan opciones de gestión, el público puede ser reticente a volver a sus hogares.

Fomenta la vuelta a la vida normal en el área.

Tabla 2.5 Ventajas y desventajas de no llevar a cabo ninguna opción de recuperación**Desventajas**

Requiere muy buena comunicación con la comunidad para convencer a la gente de que los riesgos son bajos y de que deberían aceptar la decisión de no implementar ninguna opción de gestión.

La implementación de opciones de gestión es visible y puede proporcionar tranquilidad a la gente dentro y fuera del área contaminada.

Necesita estar unida a una estrategia de monitorización muy rigurosa. Dicha estrategia de monitorización puede no ser efectiva en cuanto a tiempo y recursos en comparación con la implementación de opciones de gestión.

No implementar ninguna opción de gestión puede enviar el mensaje de que los organismos de respuesta y otras organizaciones no se preocupan lo suficiente por la comunidad.

Los responsables de la toma de decisiones necesitan definir los límites del área en la que no se va a implementar ninguna opción de gestión.

Si se han aplicado restricciones al consumo de alimentos, será necesario explicar cuidadosamente por qué se ha requerido estas medidas mientras que no se emprende ninguna acción para tratar la contaminación en las áreas habitadas.

2.6 Referencias

Beresford NA, Voigt G, Wright SM, Howard BJ, Barnett CL, Prister B, Balonov M, Ratnikov A, Travnikova I, Gillett AG, Mehli H, Skuterud L, Lepicard S, Semiochkina N, Perepeliantnikova L, Goncharova N and Arkhipov AN (2001). Self-help countermeasure strategies for populations living within contaminated areas of Belarus, Russia and Ukraine. *Journal of Environmental Radioactivity*, 56, 215-239.

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 3

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3 | HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN | 39 |
| 3.1 | La plantilla de hoja de datos | 39 |
| 3.2 | Las hojas de datos | 41 |
| 3.2.1 | Historia de las hojas de datos | 41 |
| 3.2.2 | Referencias | 42 |
| | Tabla 3.1 Plantilla de hoja de datos* | 40 |
| | Tabla 3.2 Historia del documento de las hojas de datos | 42 |
| | Tabla 3.3 Índice de todas las opciones de gestión para áreas habitadas con enlaces a las hojas de datos | 44 |

3 HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

3.1 La plantilla de hoja de datos

Este Manual contiene 59 opciones de gestión que pueden ser implementadas en áreas habitadas tras un incidente radiológico. Los datos se presentan de manera sistemática en un formato estandarizado para facilitar las comparaciones entre diferentes opciones. El diseño de la plantilla se basa en el usado en el proyecto *STRATEGY* (Andersson *et al.*, 2003) pero ha sido adaptado con el fin de hacerlo más apropiado para la descripción de las medidas a implementar en áreas habitadas. La plantilla incluye la información que los responsables de la toma de decisiones podrían querer considerar al evaluar distintas medidas. Estas incluyen:

- los objetivos de la opción
- una breve descripción de la opción
- restricciones a su implementación
- eficacia
- requisitos
- residuos generados
- dosis recibidas por aquellos que implementen la opción
- costes
- efectos secundarios
- experiencia práctica

La [Tabla 3.1](#) presenta la plantilla con un breve resumen de la información que aparece debajo de cada encabezamiento.

Los valores para todos los datos cuantitativos presentados en las hojas de datos deberían ser tratados solamente como orientativos. Los valores reales dependerán de las circunstancias específicas. La inclusión de estos valores orientativos sirve tan solo para poder hacer comparaciones entre distintas opciones de gestión.

Tabla 3.1 Plantilla de hoja de datos*

| Nombre de la opción de gestión | |
|---|--|
| Objetivo | Objetivo principal de la opción de gestión (por ejemplo, la reducción de la dosis externa) |
| Otros beneficios | Objetivos secundarios de la acción (si hay alguno). Por ejemplo, el objetivo principal puede ser la reducción de la dosis externa, mientras que un beneficio adicional podría ser una reducción limitada en la dosis interna debida al consumo de alimentos. |
| Descripción de la opción de gestión | Breve descripción de qué es lo que la opción de gestión hace y cómo se implementa. |
| Objeto de interés | Tipo de área o superficie donde se implementarán las opciones de gestión. |
| Radionucleidos de interés | Radionucleido(s) o categorías de radionucleidos (por ejemplo, emisores alfa) frente a los que protegerá la opción de gestión. Los radionucleidos de vida larga se definen para el Manual como radionucleidos con periodos de semidesintegración radiactiva mayores de tres semanas. Los radionucleidos de vida corta se definen como radionucleidos con periodos de semidesintegración radiactiva inferiores a tres semanas. |
| Escala de aplicación | Indicación de si la opción de gestión puede ser aplicada a pequeña o a gran escala (pequeña escala $\leq 300 \text{ m}^2$; gran escala $> 300 \text{ m}^2$). |
| Tiempo de aplicación | Plazo en relación al accidente/incidente en el que se aplica la opción. Puede ser en la fase temprana (días), en la fase intermedia (semanas-meses), o en la fase de recuperación (meses-años). |
| Restricciones | Proporciona información sobre los distintos tipos de restricción que tienen que ser considerados antes de la aplicación de la opción de gestión. |
| Restricciones legales | Leyes relativas, por ejemplo, a la protección del medio ambiente, a la protección del patrimonio cultural, a las responsabilidades por daños a la propiedad, a la protección de los trabajadores. |
| Restricciones del entorno | Restricciones de naturaleza física que impidan o restrinjan la implementación (por ejemplo, heladas, tipo de suelo, pendiente y estructura del terreno). |
| Eficacia | Proporciona información sobre la eficacia de la opción de gestión y los factores que afectan a dicha eficacia. |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Reducción de la concentración de actividad en la superficie objetivo en el momento de la implementación, es decir, un factor de descontaminación (FD). |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Reducción de la tasa de dosis sobre una superficie. |
| Reducción de la resuspensión | Reducción de la concentración de actividad resuspendida en el aire sobre la superficie. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Factores técnicos que pueden influir en la eficacia del método (por ejemplo, el material de la superficie, la planeidad o pendiente de la superficie, las condiciones meteorológicas, el tipo de suelo). |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Factores sociales que pueden influir en la eficacia del método (por ejemplo, confianza en la conducta voluntaria, comportamiento de la población). |
| Viabilidad | Proporciona información sobre el equipamiento, infraestructuras y habilidades necesarias para llevar a cabo la opción de gestión. |
| Equipamiento | Equipamiento principal para llevar a cabo la opción de gestión. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Servicios públicos necesarios relacionados con la implementación de la opción de gestión (por ejemplo, suministros de agua y electricidad, redes de distribución que incluyan carreteras). |
| Consumibles | Consumibles necesarios para implementar la opción de gestión (por ejemplo, combustible). |
| Habilidades | Nivel de cualificación de los trabajadores requerido para implementar la opción. |
| Precauciones de seguridad | Precauciones de seguridad necesarias antes de que los trabajadores puedan implementar la opción. |
| Residuos | Algunas opciones de gestión generan residuos cuya gestión debe ser cuidadosamente considerada en el momento en que se seleccione la opción de gestión. |
| Cantidad y tipo | Naturaleza y volumen de los residuos. También se indica si los residuos están contaminados y si los residuos contaminados pueden ser segregados o minimizados. |
| Dosis | Proporciona información sobre cómo la opción de gestión introduce cambios en la distribución de dosis a los individuos y las poblaciones. |

| Nombre de la opción de gestión | |
|---|---|
| Dosis evitadas | Posible reducción en las tasas de dosis externas que podrían ser recibidas, reconociendo que cualquier ahorro en la dosis es fuertemente dependiente del escenario. |
| Dosis adicionales | Se incluyen aquí las dosis adicionales que podrían ser recibidas por los trabajadores al implementar las opciones de gestión. Se identifican las vías potenciales de exposición y se da una amplia indicación sobre las tasas de dosis expresadas como un multiplicador de la dosis al público. |
| Costes de intervención | Proporciona información sobre los costes directos en los que se puede incurrir debido a la implementación de la opción de gestión (sin incluir la eliminación de residuos). |
| Tiempo de operario | Tiempo necesario para implementar la opción por unidad de objetivo. |
| Factores que influyen en los costes | Por ejemplo, tamaño y accesibilidad de la superficie objetivo a ser tratada, disponibilidad de equipamiento y consumibles en el área contaminada, necesidad de mano de obra adicional, nivel salarial en el área, etc. |
| Efectos secundarios | Proporciona información sobre los efectos secundarios de la implementación de la opción de gestión. |
| Impacto medioambiental | Impacto que una opción de gestión puede tener sobre el medio ambiente (por ejemplo, con respecto a la contaminación, uso de la tierra). |
| Impacto social | Impacto que una opción de gestión puede tener socialmente (por ejemplo, superficies urbanas limpias y renovadas, influencia en el comportamiento de la población, pérdida de equipamientos, etc.) |
| Experiencia práctica | Experiencia en la puesta en práctica de la opción de gestión. |
| Referencias clave | Referencias a publicaciones clave que conducen a otras fuentes de información. |
| Versión | Número de versión de la hoja de datos. |
| Historia del documento | Historia del documento. |
| *adaptado de Brown <i>et al.</i> , 2007 | |

3.2 Las hojas de datos

Las hojas de datos son exhaustivas, concisas y destinadas a ser aplicables de manera general en toda Europa. El formato y contenido se basan en gran parte en documentos similares desarrollados inicialmente en el proyecto STRATEGY (Andersson *et al.*, 2003; Eged *et al.*, 2003) y más recientemente dentro del proyecto EURANOS mismo (Brown *et al.*, 2007). Se han hecho algunos cambios menores a las hojas de datos presentadas aquí para mejorar la consistencia y la compatibilidad con el Manual. De acuerdo con la terminología acordada para el Manual, el término “contramedida” se ha reemplazado por “opción de gestión”. Los hipervínculos que remiten a las secciones del Manual o a otras hojas de datos se indican mediante texto azul subrayado.

3.2.1 Historia de la hoja de datos

La historia del desarrollo de las hojas de datos se da en la [Tabla 3.2](#). Cualquier información adicional relevante, como los cambios en el nombre de la opción de gestión, se da en cada hoja de datos en el apartado “Historia del documento”.

Tabla 3.2 Historia del documento de las hojas de datos

| Número | Historia del documento |
|---|---|
| 14, 16, 17, 19, 22, 29, 30, 32, 35, 38-40, 42, 46, 48, 52 | <p>STRATEGY, 2006. Autores: KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark). Contribuciones: K Eged, Z Kis, R Meckbach (GSF, Germany), G Voigt (IAEA), DH Oughton (Agricultural University of Norway), J Hunt y R Lee (University of Lancaster, UK), NA Beresford (Centre of Ecology and Hydrology, UK) y FJ Sandalls (UK).</p> <p>STRATEGY, revisión por pares: B Johnsson (NFI/ISS, Sweden), SC Hoe (DEMA, Denmark), J Barikmo (Directorate for Nature Management, Norway), A Bayer (BfS, Germany), L Brynildsen (Ministry of Agriculture, Norway), O Harbitz (NRPA, Norway), D Humphreys (Cumbria County Council, UK) y K Mondon (FSA, UK).</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Autores: J Brown, GR Roberts y K Mortimer (HPA-RPD, UK). Actualizado para el Reino Unido y adición de material nuevo.</p> <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Desarrolladores: J Brown, K Mortimer (HPA-RPD, UK) y KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark). Hojas de datos actualizadas y ampliadas.</p> <p>UK Recovery Handbook, 2008. Desarrolladores: H Rochford y J Brown (HPA-RPD, UK). Hojas de datos EURANOS actualizadas para el Reino Unido.</p> |
| 18, 20, 33, 37, 43, 45, 47, 50, 53-59 | <p>STRATEGY, 2006. Autores: KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark). Contribuciones: K Eged, Z Kis, R Meckbach (GSF, Germany), G Voigt (IAEA), DH Oughton (Agricultural University of Norway), J Hunt y R Lee (University of Lancaster, UK), NA Beresford (Centre of Ecology and Hydrology, UK) y FJ Sandalls (UK).</p> <p>STRATEGY, revisión por pares: B Johnsson (NFI/ISS, Sweden), SC Hoe (DEMA, Denmark), J Barikmo (Directorate for Nature Management, Norway), A Bayer (BfS, Germany), L Brynildsen (Ministry of Agriculture, Norway), O Harbitz (NRPA, Norway), D Humphreys (Cumbria County Council, UK) y K Mondon (FSA, UK).</p> <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Desarrolladores: J Brown, K Mortimer (HPA-RPD, UK) y KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark). Hojas de datos actualizadas y ampliadas.</p> <p>UK Recovery Handbook, 2008. Desarrolladores: H Rochford y J Brown (HPA-RPD, UK). Hojas de datos EURANOS actualizadas para el Reino Unido.</p> |
| 8-13, 21, 24-27, 30, 32, 34, 41, 42, 49, 51 | <p>UK Recovery Handbook 2005. Autores: J Brown, GR Roberts y K Mortimer (HPA-RPD, UK).</p> <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Desarrolladores: J Brown, K Mortimer (HPA-RPD, UK) y KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark). Hojas de datos actualizadas y ampliadas.</p> <p>UK Recovery Handbook, 2008. Desarrolladores: H Rochford y J Brown (HPA-RPD, UK). Hojas de datos EURANOS actualizadas para el Reino Unido.</p> |
| 28 | <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Autores: J Brown, K Mortimer (HPA-RPD, UK) y KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark).</p> <p>UK Recovery Handbook, 2008. Desarrolladores: H Rochford and J Brown (HPA-RPD, UK). Hojas de datos EURANOS actualizadas para el Reino Unido.</p> |
| 1-7, 15 | <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Autores: J Brown, K Mortimer (HPA-RPD, UK) y KG Andersson y J Roed (Risoe National Laboratory, Denmark).</p> |
| 1-59 | <p>Traducción al castellano: Rafael Iglesias Ferrer, Alfonso Uruburu Rodríguez, Eduardo Gallego Díaz. Departamento de Ingeniería Nuclear. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).</p> |

3.2.2 Referencias

Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas. Riso-R-1396 (EN), Riso national laboratory, Denmark.

Brown J, Mortimer K, Andersson K, Duranova T, Mrskova A, Hänninen R, Kirchner G, Bertsch V, Gally F and Reales N (2007). Generic Handbook for assisting in the management of contaminated inhabited areas in Europe following a radiological emergency. EURANOS (CAT 1)-TN(07)-02. Disponible online en <http://www.uranos.fzk.de> [Consultado el 24/10/08]

Eged K, Kis Z, Voigt G, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear Accident. Part I: A holistic approach of countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, GSF, Germany.

Tabla 3.3 Índice de todas las opciones de gestión para áreas habitadas con enlaces a las hojas de datos

| No | Nombre | Página No. |
|---|---|---------------------|
| OPCIONES DE GESTIÓN PARA ÁREAS HABITADAS | | |
| Fases previa al depósito y de emergencia | | |
| 1 | Cierre de ventanas, puertas y tomas de aire, y control del intercambio de aire | 46 |
| 2 | Cobertura, almacenamiento o sellado de objetos personales/valiosos | 48 |
| 3 | Evacuación | 50 |
| 4 | Confinamiento | 53 |
| 5 | Profilaxis con Yodo estable | 56 |
| 6 | Uso de aspiradoras para limpieza del aire | 59 |
| 7 | Utilización de mascarillas para la protección respiratoria | 61 |
| Restricción de acceso | | |
| 8 | Traslado permanente de áreas residenciales | 63 |
| 9 | Prohibición de acceso a áreas no residenciales | 65 |
| 10 | Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales | 67 |
| 11 | Traslado temporal de áreas residenciales | 69 |
| Edificios – superficies exteriores | | |
| 12 | Demolición de edificios | 71 |
| 13 | Limpieza con chorro de agua | 74 |
| 14 | Limpieza con chorro de agua a alta presión | 78 |
| 15 | Lijado de paredes de madera | 82 |
| 16 | Cepillado y lavado de tejados | 85 |
| 17 | Limpieza de tejados con agua caliente a presión | 88 |
| 18 | Sustitución de tejados | 91 |
| 19 | Limpieza con chorro de arena | 94 |
| 20 | Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) | 98 |
| 21 | Tratamiento de paredes con nitrato de amonio | 100 |
| Edificios – superficies interiores | | |
| 22 | Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas | 103 |
| 23 | Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) | 106 |
| 24 | Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos | 109 |
| 25 | Eliminación de superficies | 112 |
| 26 | Limpieza por aspiración | 115 |
| 27 | Lavado | 118 |
| Objetos valiosos | | |
| 28 | Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos | 121 |
| Carreteras y áreas pavimentadas | | |
| 29 | Limpieza con chorro de agua | 124 |
| 30 | Limpieza con chorro de agua a alta presión | 127 |
| 31 | Eliminación y sustitución de superficies | 130 |
| 32 | Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) | 134 |
| 33 | Volteado de losas de pavimento | 137 |
| 34 | Barrido con aspirador | 140 |
| Suelo, césped y plantas | | |
| 35 | Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) | 143 |
| 36 | Cobertura con suelo limpio | 146 |

Tabla 3.3 Índice de todas las opciones de gestión para áreas habitadas con enlaces a las hojas de datos

| No | Nombre | Página No. |
|-------------------------------|---|---------------------|
| 37 | Arado profundo | 149 |
| 38 | Corte y eliminación de césped | 152 |
| 39 | Cavado manual | 155 |
| 40 | Eliminación de plantas y arbustos | 158 |
| 41 | Arado | 161 |
| 42 | Rotocultor (excavación mecánica) | 164 |
| 43 | Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) | 167 |
| 44 | Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) | 170 |
| 45 | Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) | 173 |
| 46 | Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) | 176 |
| 47 | Cavado triple | 180 |
| 48 | Retirada de césped | 183 |
| Todas las áreas al aire libre | | |
| 49 | Revestimiento polímero retirable | 186 |
| 50 | Eliminación de nieve | 189 |
| Árboles y arbustos | | |
| 51 | Recogida de hojas | 192 |
| 52 | Poda/eliminación de árboles y arbustos | 195 |
| Superficies especiales | | |
| 53 | Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas | 198 |
| 54 | Limpieza química de superficies metálicas | 200 |
| 55 | Limpieza química de superficies plásticas y revestidas | 203 |
| 56 | Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados | 206 |
| 57 | Limpieza electroquímica de superficies metálicas | 209 |
| 58 | Eliminación de filtros | 212 |
| 59 | Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química | 214 |

[Volver a la lista de opciones](#)

1 Cierre de ventanas, puertas y tomas de aire, y control del intercambio de aire

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las concentraciones de aire contaminado dentro de los edificios durante los periodos en los que las concentraciones en el exterior son altas, disminuyendo de este modo el depósito en el interior y las dosis interiores a más largo plazo debidas a la inhalación y a la ingestión accidental cuando la gente vuelva a vivir en el área. |
| Otros beneficios | Se reducen las dosis por inhalación en el interior si la gente está confinada en los edificios, mientras se controle el intercambio de aire en el interior del alojamiento. Se describe con mayor detalle en la Hoja de datos 4 , que trata del confinamiento de las personas. |
| Descripción de la opción de gestión | Se pueden reducir las concentraciones de aire contaminado en el interior cerrando las ventanas y las puertas mientras las concentraciones de aire contaminado en el exterior sean elevadas. Si los sistemas de ventilación mecánica están equipados con filtros eficaces frente a aerosoles, puede ser conveniente encenderlos, ya que con ello se crearía una sobrepresión dentro del edificio, de manera que virtualmente, todo el aire que entraría a las estancias lo haría a través de los filtros de la ventilación. Si no hay filtros eficaces, se debe cerrar las ventilaciones. |
| Objeto de interés | Todo tipo de edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos, con diferentes resultados de acuerdo con las formas fisicoquímicas. Ver la Parte III, Sección 3 para obtener información sobre los radionucleidos. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño. |
| Tiempo de aplicación | Fase inicial durante el paso de la nube radiactiva, mientras los niveles de contaminación del aire son elevados. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Acceso a la propiedad para gestionar la opción. Eliminación de los residuos procedentes del material de los filtros de la ventilación (altas concentraciones de actividad). |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación en el aire integrada en el tiempo | Se puede lograr un factor de descontaminación del aire (FD) de 2 durante el periodo de implementación para partículas en el rango de 0.5 µm, un FD de 8 para partículas en el rango de 4 µm, y un FD de 12 para Yodo elemental en estado gaseoso. No tiene efecto sobre gases no reactivos, como el CH ₃ I. |
| Reducción de la contribución a la tasa de dosis | Las tasas externas de dosis gamma y beta debidas al depósito en el interior se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | Las concentraciones debidas a la resuspensión en el aire interior se reducirán durante el periodo de implementación según el valor del FD. Las concentraciones de resuspensión en el aire interior posteriores puede que también se reduzcan debido a los menores niveles de contaminación dentro de los edificios. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las características físico-químicas de los contaminantes (como se ha mencionado anteriormente). La correcta implementación de la opción. El tiempo de operación (cuanto mayor sea el tiempo entre la aparición de la nube de contaminación y la implementación de la opción, menos eficaz será la técnica). La tasa de ventilación natural y el mobiliario de la vivienda. Se consigue una mayor eficacia si se introduce aire del exterior a través del filtro de la ventilación mecánica al interior de la vivienda. La ventilación poco después del paso de la nube puede incrementar aún más la eficacia, pero debería implementarse con sumo cuidado para asegurarse de que la nube contaminada realmente ha pasado. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | No se requiere equipamiento. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

1 Cierre de ventanas, puertas y tomas de aire, y control del intercambio de aire

| | |
|---|--|
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Es posible que solo sea necesaria una pequeña indicación para comunicar los objetivos. Las poblaciones que hayan permanecido en el área y a las que no se ha requerido el confinamiento pueden ser aconsejadas para implementar esta opción como medida de "autoayuda". |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Si se usa un sistema de ventilación con filtro: tipo de filtro (normalmente determinado por la masa del filtro). La actividad específica puede ser elevada y requiere la manipulación con cuidado. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Las dosis debidas al depósito de contaminantes en el interior durante este periodo (inhalación e ingestión inadvertida) se reducirán según los valores de los factores de descontaminación dados anteriormente debido a la reducción del depósito en el interior. Las dosis debidas a la resuspensión también se reducirán según los mismos factores que el depósito en el interior. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Tiempo y duración de la implementación. |
| Dosis adicionales | Esta opción es probable que sea implementada por personas que estén gestionando el área evacuada. Si el confinamiento está vigente, las personas que están confinadas implementarán la opción según instrucciones (ver Hoja de datos 4). |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 10 minutos por edificio para establecer la configuración. Tamaño del equipo: 1 persona. |
| Factores que influyen en los costes | |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | Puede requerir un exhaustivo esfuerzo de comunicación para hacer comprender los beneficios de esta opción, en particular para la variante en la que se introduce aire del exterior en el edificio de manera deliberada a través del sistema de ventilación. La eliminación de residuos puede que no sea aceptable. |
| Experiencia práctica | Se han llevado a cabo multitud de estudios de concentración en el aire interior-exterior, por ejemplo en Dinamarca, Alemania y EEUU, que respaldan los datos. |
| Referencias clave | Andersson KG, Fogh CL, Byrne MA, Roed J, Goddard AJH and Hotchkiss SAM (2002). Radiation dose implications of airborne contaminant deposition to humans. <i>Health Physics</i> 82(2), 226-232. Roed J (1985). Relationships in indoor/outdoor air pollution. Risø-M-2476, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. Roed J and Cannell R J (1987). Relationship between indoor and outdoor aerosol concentration following the Chernobyl accident. <i>Rad. Prot. Dosimetry</i> 21 (1/3), 107-110. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

2 Cobertura, almacenamiento o sellado de objetos personales/valiosos

| | |
|---|---|
| Objetivo | Evitar la contaminación de objetos personales/valiosos en áreas habitadas de manera que puedan ser utilizados por el público sin preocupación. La tranquilidad del público es el objetivo principal. |
| Otros beneficios | Reducirá significativamente la necesidad de llevar a cabo la descontaminación de objetos personales/valiosos. Los objetos almacenados en cajones y armarios todavía pueden ser objeto de algún depósito, aunque es probable que sea bajo. Reducirá la exposición debida a objetos contaminados. |
| Descripción de la opción de gestión | Con anterioridad a una liberación de material radiactivo a la atmósfera, los objetos personales y valiosos pueden ser cubiertos, almacenados o sellados para evitar que sean contaminados por los radionucleidos depositados. Esta es una medida preventiva y podría llevarse a cabo por parte del público como medida de autoayuda. Ejemplos: cubrir los artículos con film transparente; envolver los aparatos con film alveolar; cubrir el mobiliario con fundas para el polvo; sellar en bolsas de plástico fotografías, documentos legales, libretas del banco, guardar la joyería en estuches/cajones/armarios. Posteriormente, las coberturas/envoltorios se pueden retirar fácilmente para luego ser eliminadas. |
| Objeto de interés | Posesiones personales y objetos valiosos. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Ver la Tabla 1.1 para información sobre radionucleidos. |
| Escala de aplicación | Es particularmente apropiada para objetos pequeños. |
| Tiempo de aplicación | Se logra el máximo beneficio si se completa antes de la llegada de la pluma radiactiva. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Propiedad y acceso a los objetos valiosos en edificios públicos. Responsabilidades por el posible daño a los objetos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta medida evitará o reducirá significativamente la contaminación de los objetos. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La correcta implementación de la opción: por ejemplo, los objetos deben estar completamente cubiertos para evitar toda la contaminación y se deben desenvolver con cuidado para prevenir la contaminación posterior. La disponibilidad de material de cobertura (por ejemplo, telas, film transparente) El tiempo de implementación: los objetos deben estar cubiertos/almacenados/sellados antes del depósito. El aviso con antelación de que el área puede ser afectada por la pluma radiactiva. Si los objetos están colocados en, por ejemplo, armarios, que no son completamente herméticos, la eficacia más baja se dará para partículas contaminantes de tamaño en el rango 0.1-0.5 µm. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Esta es principalmente una medida de autoayuda, de manera que la disposición de la gente a cubrir/almacenar/sellar sus objetos personales/valiosos influirá en la eficacia. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Ninguno. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Ninguno. |
| Consumibles | Materiales de envoltura, fundas para el polvo, etc. Estos deben estar disponibles en las cantidades necesarias dentro de los edificios individuales, puesto que es posible que no se pueda abandonar dichos edificios durante el periodo en el cual esta opción se implementa. |
| Habilidades | No se necesitan habilidades especiales. El método podría ser implementado por la población como medida de autoayuda. Serían necesarias instrucciones sobre la implementación por parte de las autoridades competentes. |

[Volver a la lista de opciones](#)

2 Cobertura, almacenamiento o sellado de objetos personales/valiosos

| | |
|---|---|
| Precauciones de seguridad | Manipulación segura de objetos. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Materiales de envoltura, fundas para el polvo, etc. Las cantidades podrían ser de hasta unos pocos kg m ⁻² . |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Evitar dosis no es el objetivo principal de esta opción. Sin embargo, el 100 % de las dosis externas y de resuspensión debidas a la contaminación superficial de los objetos se puede evitar si los objetos están completamente protegidos. El almacenamiento de objetos en cajones y armarios reducirá significativamente la posterior exposición externa debida a los mismos. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La evitación de la contaminación posterior de los objetos si no se limpian otras superficies del interior. |
| Dosis adicionales | Esta opción es posible que sea implementada por las personas que viven o trabajan en el área y que están confinadas (ver Hoja de datos 4). |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Se trata principalmente una medida de autoayuda. |
| Factores que influyen en los costes | Ninguno. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | |
| Impacto social | La protección de objetos personales y valiosos reducirá la penalidad de tener que limpiar o eliminar estos artículos y proporcionará tranquilidad en el sentido de que los objetos puedan ser utilizados sin preocupación. Puede que se rompan artículos. |
| Experiencia práctica | Actualmente no hay pruebas disponibles de ninguna experiencia práctica en el uso de esta opción para la recuperación de áreas habitadas contaminadas radiactivamente. |
| Referencias clave | |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

3 Evacuación

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir la exposición debida a material radiactivo aéreo mientras la pluma de contaminación atraviesa áreas habitadas. La evacuación reducirá también las dosis debidas a emisores beta y gamma sobre superficies en el exterior durante el periodo de evacuación. |
| Otros beneficios | La evacuación de la población del área contaminada puede ayudar a la implementación de otras medidas. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>La evacuación es el traslado temporal de la población fuera de áreas altamente contaminadas.</p> <p>La evacuación puede tener como destino un área no afectada o un área con niveles de contaminación mucho menores.</p> <p>La evacuación puede ponerse en marcha según criterios de dosis como parte de los planes de emergencia para una instalación nuclear y puede ser considerada para proteger a las personas en las circunstancias siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - como precaución antes de que se produzca alguna liberación de radiactividad, lo que requiere de un preaviso del suceso con tiempo suficiente para completar la evacuación antes del mismo, en caso de que ocurra. - en escenarios donde se prevean grandes dosis a corto plazo (del orden de unas pocas decenas de mSv o superiores). - donde la incertidumbre sobre el progreso de un suceso accidental justifique la evacuación. - después de que se produzca una liberación, para evitar dosis externas a corto plazo relativamente altas debidas a los radionucleidos depositados. <p>También puede considerarse la evacuación tras una liberación para facilitar la implementación de la descontaminación y otras medidas.</p> <p>Antes de la evacuación es importante establecer un criterio/estrategia para el retorno de la población evacuada. Un levantamiento de la evacuación demasiado rápido, es decir, antes de que se haya evaluado el patrón completo de la contaminación ambiental, podría tener como resultado una exposición innecesaria de la población.</p> <p>Si la liberación se produce, la necesidad de retrasar el levantamiento de la evacuación hasta que se declare formalmente que la situación se ha hecho segura supone que los planes de emergencia deberían asumir que la evacuación durará entre varios días y quizás una semana o dos.</p> |
| Objeto de interés | Las personas que viven en áreas habitadas que puedan ser o sean afectadas por la contaminación radiactiva liberada al medio ambiente. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Proporcionará protección frente a niveles altos de radionucleidos de vida corta presentes en una liberación a la atmósfera. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. Sin embargo, debería tenerse en cuenta que la evacuación de grandes poblaciones es difícil y requiere mucho tiempo. En el entorno de los emplazamientos nucleares, la planificación previa de la evacuación está limitada normalmente a unos pocos kilómetros. |
| Tiempo de aplicación | Se logra el máximo beneficio si las personas son evacuadas antes de que la pluma radiactiva alcance el área y si la evacuación sigue vigente hasta que la liberación haya finalizado y se hayan reducido los niveles altos de radionucleidos de vida corta depositados sobre el terreno. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Se requiere un nivel apropiado de aprobación antes de su implementación. Cuestiones relativas a los derechos humanos. |
| Restricciones del entorno | La naturaleza del entorno y la infraestructura de transporte podrían dificultar el proceso de evacuación. Serían necesarios alojamientos temporales (por ejemplo, centro de evacuación, hoteles, centros deportivos). |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el medio ambiente. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |

[Volver a la lista de opciones](#)

3 Evacuación

| | |
|---|--|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La velocidad de implementación y la eficacia de los mecanismos de información, por ejemplo, sirenas, llamadas telefónicas, radio, televisión, puerta a puerta. Debería señalarse que puede llevar varios días evacuar grandes cantidades de personas, lo que podría afectar de manera significativa a la eficacia de la evacuación en cuanto a la reducción de dosis.</p> <p>El momento del inicio de la evacuación. La disponibilidad de datos radiológicos (estrategia de monitorización) y evaluaciones radiológicas ayudará a determinar los plazos y la escala de la evacuación.</p> <p>La disponibilidad de datos geográficos y demográficos.</p> <p>La disponibilidad de comunicadores eficaces, exhaustivos y de confianza.</p> <p>El tamaño del área y la población afectada.</p> <p>La facilidad de la evacuación, por ejemplo, si el área a evacuar incluye hospitales, hogares de personas mayores, procesos industriales.</p> <p>El tiempo atmosférico (las condiciones adversas afectan a la velocidad y la seguridad de la evacuación).</p> <p>La infraestructura de transporte, los medios de transporte y el tiempo necesario para evacuar diferentes comunidades (aldeas, pueblos, distritos).</p> <p>La ruta de evacuación: la evacuación a través de la pluma incrementará la dosis.</p> <p>La eficacia de la planificación previa y de las herramientas para la toma de decisiones a la hora de identificar el área de evacuación apropiada.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | <p>El cumplimiento por parte del público de la evacuación.</p> <p>La confianza del público en las autoridades.</p> <p>Las visitas supervisadas al área evacuada para recuperar posesiones o tener contacto con las mascotas/animales pueden reducir la presión para que se levante pronto la evacuación.</p> |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Transporte organizado (por ejemplo, autobuses) o evacuación propia en vehículo privado. Es posible que haya disponible transporte por carretera a nivel local; sin embargo, los conductores pueden ser reacios a entrar en las áreas afectadas.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Mecanismos para iniciar la medida: sirenas, llamadas telefónicas, radio, televisión, puerta a puerta.</p> <p>Centro de acogida y/o alojamiento. La evacuación prolongada requiere la provisión de condiciones de vida más confortables que las que pueden proporcionar muchos centros de evacuación.</p> <p>Servicios médicos y de asesoramiento para la población evacuada, incluyendo monitorización personal.</p> <p>Línea de ayuda para los familiares preocupados.</p> <p>Rutas de evacuación definidas (las congestiones afectarán a la velocidad de evacuación; la evacuación a través de una liberación en curso expondrá innecesariamente a la población evacuada).</p> <p>Mecanismos para recoger los detalles de todos los evacuados, para la posterior estimación de dosis y la toma de decisiones sobre los programas de seguimiento de la salud.</p> <p>Provisión de seguridad para las propiedades evacuadas.</p> <p>Mecanismos para que los afectados puedan participar en las decisiones sobre la estrategia de recuperación.</p> <p>Mecanismos para la información verbal y el diálogo con los evacuados antes de su regreso al área.</p> |
| Consumibles | <p>Alimentos y bebidas, camas, ropa, productos de higiene personal, etc.</p> |
| Habilidades | <p>Experiencia en moderación y habilidades organizativas. Aunque los habitantes pueden llevar a cabo una autoevacuación ("autoayuda"), es esencial una fuerte organización por parte de las autoridades para controlarla.</p> |
| Precauciones de seguridad | <p>Pueden ser necesarios equipos de protección personal (EPP) para las personas que entren al área a controlar la implementación de la evacuación y el transporte de gente fuera del área contaminada.</p> |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <p>Ninguno.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

3 Evacuación

| | |
|---|---|
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Se evitarán las dosis durante el periodo en el que esté vigente la evacuación. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La dosis evitada estará influida por el nivel de exposición en el lugar utilizado como destino de la evacuación y por la duración de la misma. |
| Dosis adicionales | Recibirán dosis adicionales aquellos que supervisen la implementación de la evacuación, los que transporten a los evacuados fuera del área contaminada y los que proporcionen la seguridad para el área evacuada. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Será necesario un gran equipo de gente para emitir recomendaciones, controlar el área evacuada y ayudar a la población evacuada. |
| Factores que influyen en los costes | El tamaño de la población evacuada. La duración de la evacuación. La eficacia de la planificación previa en la mejora de la eficiencia del proceso de evacuación. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Puede que haya un cambio temporal en el uso de la tierra. |
| Impacto social | Puede causar gran conmoción y preocupación entre la población afectada, en particular entre los ancianos y personas enfermas. El desplazamiento de grandes cantidades de personas puede conllevar accidentes de tráfico y muertes. Restricción a la libertad. Un impacto potencialmente alto en el sentido de refuerzo de la confianza, aunque los errores podrían suponer una pérdida de la misma. Las personas evacuadas podrían ser designadas "víctimas" del incidente. La designación de "Área Evacuada" afectará a la economía de la zona, por ejemplo al turismo, los negocios (incluso si el área no ha sido afectada por la pluma/contaminación). El espíritu comunitario puede salir reforzado a través de la experiencia compartida; por eso se debería evacuar a las comunidades en conjunto (no por partes). Protección de minorías importantes o subgrupos culturales (por ejemplo, los pastores de renos). Puede incitar a las poblaciones adyacentes no afectadas a emprender la evacuación por cuenta propia. Carga adicional sobre los servicios médicos y resto de servicios locales. |
| Experiencia práctica | Grandes cantidades de personas fueron evacuadas de Pripjat y la zona de exclusión circundante tras el accidente de Chernobyl en la antigua Unión Soviética. |
| Referencias clave | National Radiological Protection Board (1990). Board Statement on Emergency Reference Levels. Doc NRPB 1(4), Chilton, UK. International Atomic Energy Agency (1991). The International Chernobyl Project: An Overview. Report by an International Advisory Committee, IAEA, Vienna. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

4 Confinamiento

| | |
|-------------------------------------|--|
| Objetivo | Reducir la exposición debida al material radiactivo aéreo mientras la pluma de contaminación atraviesa áreas habitadas. El confinamiento también reducirá las dosis externas debidas a los emisores beta y gamma sobre las superficies en el exterior durante el periodo de confinamiento. |
| Otros beneficios | El confinamiento de la población en el área contaminada puede ayudar a la implementación de otras medidas. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>El "confinamiento" es la recomendación a la población de que entre en casa, permanezca en el interior hasta nuevo aviso, cierre puertas y ventanas y apague los sistemas de ventilación y aire acondicionado. En la hoja de datos 5 se da más información sobre la eficacia de cambiar la ventilación dentro del edificio y los beneficios de hacerlo.</p> <p>El confinamiento puede ponerse en marcha según criterios de dosis como parte de los planes de emergencia para instalaciones nucleares y puede ser considerado para proteger a las personas en las circunstancias siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - una liberación atmosférica que comprenda principalmente gases nobles (es decir, donde la irradiación externa debida a la pluma es dominante). - donde las dosis a corto plazo en ausencia de medidas se prevea que sean menores que las que justifican una evacuación pero lo suficientemente altas para que se necesite algún tipo de acción para reducir dichas dosis a corto plazo. - evitar la evacuación a través de la pluma debida a una liberación muy grande. - en circunstancias en las que la evacuación es poco práctica. - como precursor de la evacuación, de manera que sea más fácil controlar esta última. <p>La decisión de levantar el confinamiento estará influenciada por lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - duración: es improbable que sea factible confinar una población durante más de un día o dos. - estado de la liberación: puede aconsejarse el levantamiento parcial del confinamiento (por ejemplo, para reunir de nuevo a las familias) o una evacuación posterior por fases antes de que se notifique formalmente el levantamiento del confinamiento, por ejemplo, antes de que se hayan restablecido las condiciones de seguridad en el emplazamiento del incidente. - disponibilidad de información sobre los niveles de contaminación procedente de la monitorización (es posiblemente prioritario establecer una monitorización detallada en el área sometida a confinamiento). - planes para una estrategia de recuperación: habrá que tomar decisiones sobre continuar con la protección mediante el confinamiento de la población. <p>El levantamiento del confinamiento debería ser acompañado por la sugerencia de ventilar los edificios.</p> <p>El confinamiento temporal también puede ser usado mientras se implementan otras opciones de recuperación para ayudar a la misma y minimizar cualquier dosis añadida por inhalación de material resuspendido debido a la implementación de otras opciones de recuperación.</p> |
| Objeto de interés | Las personas que viven en áreas habitadas que puedan ser o sean afectadas por la contaminación radiactiva liberada al medio ambiente. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Proporcionará protección frente a niveles altos de radionucleidos de vida corta presentes en una liberación a la atmósfera. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. En el entorno de los emplazamientos nucleares, la planificación previa para el confinamiento (y otras medidas de emergencia) está normalmente limitada a unos pocos kilómetros. |
| Tiempo de aplicación | Se logra el máximo beneficio si las personas son confinadas antes de que la pluma radiactiva alcance el área y si el confinamiento sigue vigente hasta que la liberación haya finalizado. Sin embargo, también puede seguir siendo beneficioso después de que haya terminado la liberación, al reducir las dosis externas debidas a niveles elevados de radionucleidos de vida corta depositados sobre el terreno. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Requiere un nivel adecuado de aprobación antes de su implementación. Cuestiones relativas a los derechos humanos. |
| Restricciones del entorno | La naturaleza del entorno podría dificultar la comunicación de las notificaciones (para iniciar el confinamiento o levantarlo). |

[Volver a la lista de opciones](#)

| 4 Confinamiento | |
|---|---|
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el medio ambiente. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La velocidad de implementación y la eficacia de los mecanismos de asesoramiento o aviso, por ejemplo, sirenas, llamadas telefónicas, radio, televisión, puerta a puerta. La capacidad para cerrar los sistemas de ventilación, las ventanas y las puertas. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | El cumplimiento por parte del público del confinamiento y la permanencia en el interior si este dura más de unas pocas horas. La confianza del público en las autoridades. Debería evitarse las modificaciones del confinamiento (por ejemplo, extensión/duración). Sin embargo, para mantener la confianza del público, es posible que sea más aceptable implementar el confinamiento sobre un área mayor que la que estuviera justificada por motivos de protección radiológica y posteriormente reducirla gradualmente, que tener que ampliarla. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Ninguno. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Mecanismos para comunicarse con la población confinada. Para periodos prolongados de confinamiento, puede que sea necesario visitar a la población confinada para ofrecer tranquilidad, suministrar alimentos/agua y reunir a las familias. Servicios médicos y de asesoramiento, incluyendo monitorización personal. |
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Excelente capacidad para la comunicación y la moderación. Los habitantes, tras haber recibido asesoramiento, podrían jugar ellos mismos un papel importante en la implementación ("autoayuda"). |
| Precauciones de seguridad | Pueden ser necesarios equipos de protección personal (EPP) si se produce la entrada de personas al área para el control de la implementación del confinamiento. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Las dosis evitadas se maximizan si se avisa a la gente del confinamiento antes de la llegada de la pluma. Parte del material en partículas será eliminado por filtración en las grietas y poros de las superficies de los edificios a medida que el aire entra en ellos. Sin embargo, las concentraciones en el aire (y con ello, la dosis por inhalación) de material no depositable (por ejemplo, gases nobles) no se reducirán. Las concentraciones en el aire interior (y las dosis por inhalación durante el periodo de confinamiento) se podría esperar razonablemente que fueran menores en un factor 2 que las exteriores para vapor de Yodo y partículas de 1 µm, y en torno a un factor 5 menores para partículas de 4 µm. La eficacia será mayor para edificios con una menor tasa de intercambio natural de aire. Se pueden lograr reducciones adicionales de dosis para radionucleidos no depositables (por ejemplo, gases nobles) ventilando las viviendas tras el paso de la pluma. Durante el confinamiento, las dosis externas debidas al material radiactivo depositado en el exterior se reducen de manera significativa. El impacto de esta reducción sobre las dosis externas recibidas dependerá de la longevidad de los radionucleidos en el medio ambiente. El confinamiento puede ser especialmente efectivo en la reducción de dosis externas si la liberación contiene radionucleidos de vida corta. La reducción de las dosis externas debidas a la contaminación en el exterior depende de la energía de las emisiones de los radionucleidos y de la estructura y geometría del edificio. Las tasas de dosis externa gamma en el interior debidas a material depositado en el exterior, se podría esperar que fueran hasta de un factor 10 menores que aquellas en el exterior, para viviendas unifamiliares. Para edificios de varias plantas, se podría llegar hasta un factor 100 menores. Los sótanos y las bodegas ofrecen una protección muy alta. Las |

[Volver a la lista de opciones](#)

4 Confinamiento

| | |
|---|---|
| | <p>partículas beta de todas las energías serán detenidas por la mayoría de los materiales de construcción de edificios.</p> <p>Habría que reseñar que se seguirán recibiendo dosis externas debidas a los radionucleidos depositados sobre las superficies interiores de los edificios, mobiliario y otros objetos durante el confinamiento.</p> |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>Algunos de los factores principales que afectan a las reducciones de dosis que se podrían lograr son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - la construcción del edificio, en particular el grosor de paredes y tejados y el material de construcción empleado. - la ubicación de las personas dentro del edificio (la protección es mayor en la planta baja (y en los sótanos/bodegas) y lejos de las ventanas). - el tiempo de confinamiento. - el uso adecuado de la ventilación del edificio. - el tamaño de aerosol. |
| Dosis adicionales | Se recibirían dosis adicionales por parte de aquellos que supervisen la implementación del confinamiento y se aseguren de su cumplimiento si se aplica una vez ha comenzado la liberación. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Se necesitará un gran equipo de personas para facilitar asesoramiento, controlar el área bajo confinamiento y ayudar a la población confinada. |
| Factores que influyen en los costes | Ninguno. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Ninguno. |
| Impacto social | <p>Algunos impactos negativos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pérdida de producción económica. - pánico/preocupación en la población. - claustrofobia. - situación impuesta; restricción a la libertad. - las personas confinadas podrían ser designadas "víctimas" del incidente. - la designación de "área confinada" afecta a la economía, por ejemplo, turismo, negocios (incluso si no está afectada por la pluma/depósito). - separación de familias, por ejemplo, niños que no pueden volver a casa con sus familias desde las escuelas hasta que se levante el confinamiento. - puede animar a la gente a realizar una autoevacuación con la consiguiente pérdida de control sobre la población afectada. <p>Algunos impactos positivos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - el confinamiento preventivo podría reforzar la confianza pública. - el levantamiento del confinamiento debería verse como un paso positivo, es decir, el primer paso en el proceso de recuperación. |
| Experiencia práctica | El confinamiento se utiliza para incidentes no radiológicos a nivel local. Hay muy poca experiencia de confinamiento de grandes cantidades de personas. |
| Referencias clave | National Radiological Protection Board (1990). Board Statement on Emergency Reference Levels. Doc NRPB 1(4), Chilton, UK. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

5 Profilaxis con Yodo estable

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir la exposición debida a la inhalación de Yodo radiactivo aéreo mientras la pluma de contaminación atraviesa áreas habitadas. También reducirá las dosis debidas a la ingestión de Yodo radiactivo a corto plazo (los límites sobre las concentraciones de actividad en los alimentos servirán para controlar las exposiciones debidas a la ingestión de Yodo radiactivo en los mismos a medio y largo plazo). |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se ingieren pastillas de Yodo estable (por ejemplo en la forma de Yodato de Potasio) para evitar la captación de Yodo radiactivo por parte de la glándula tiroides. La recomendación de tomar las pastillas de Yodo estable puede emitirse según criterios de dosis como parte de los planes de emergencia para una instalación nuclear. Esta medida debería tenerse en cuenta en combinación con las otras medidas de emergencia, confinamiento (hoja de datos 4) y evacuación (hoja de datos 3), puesto que solo aporta protección frente al Yodo radiactivo incorporado al cuerpo vía inhalación o ingestión. La simple administración de Yodo estable no ofrece protección frente a radiación externa de ningún tipo o irradiación interna debida a otros radionucleidos. No es adecuado administrar Yodo estable para proteger frente a la contaminación medioambiental.</p> <p>Las pastillas tienen que estar distribuidas previamente (en el caso de algunos emplazamientos nucleares fijos) o deberían ser distribuidas tan pronto como se prevea, sospeche o confirme una liberación atmosférica de Yodo radiactivo.</p> <p>Debería priorizarse la administración de Yodo estable a bebés recién nacidos, niños menores de 10 años, y mujeres embarazadas y lactantes. Puede que solo se distribuyan las pastillas a subgrupos de población, por ejemplo a lactantes y a niños.</p> <p>Una dosis de Yodo estable protegerá durante alrededor de 24 horas. Si se detecta una liberación de Yodo radiactivo más de 24 horas después de que se haya administrado la primera dosis de Yodo estable, se debería considerar la evacuación preferiblemente a la administración de una segunda dosis. Sin embargo, si la evacuación es poco práctica, se debería dar prioridad a cualquier población confinada para recibir pastillas adicionales.</p> <p>Las pastillas deberían ir acompañadas por un folleto informativo que contenga, por ejemplo, por qué son necesarias, la dosis, cuándo tomarlas y los efectos secundarios.</p> <p>Deberían registrarse con todo detalle las circunstancias de aquellos que hayan recibido Yodo estable para el caso de que surjan problemas de salud posteriores. Además, es necesario monitorizar posteriormente la tiroides de los niños menores de 1 año y de los nacidos en un periodo de 9 meses tras el accidente si, tanto el niño como la madre han recibido Yodo estable.</p> |
| Objeto de interés | Poblaciones confinadas/evacuadas. Servicios de emergencia. |
| Radionucleidos de interés | Yodo radiactivo. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. Alrededor de los emplazamientos nucleares, la planificación previa para Yodo estable (y otras medidas de emergencia) está normalmente limitada a unos pocos kilómetros. |
| Tiempo de aplicación | La administración debería efectuarse de manera óptima justo antes de la captación del Yodo radiactivo, aunque la administración hasta varias horas después de la exposición todavía puede lograr un ahorro de dosis sustancial. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Puede ser necesaria la aprobación por parte de las autoridades en materia de salud. |
| Restricciones del entorno | La distribución, si las pastillas no están distribuidas previamente, podría ser dificultada por la geografía del área afectada. La disponibilidad de pastillas: número y proximidad de suministros al lugar del incidente. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el medio ambiente. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |

[Volver a la lista de opciones](#)

5 Profilaxis con Yodo estable

| | |
|---|---|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La dosis ingerida (es decir, ¿se ha ingerido la dosis correcta?).</p> <p>El momento en el que la pastilla(s) se ha tomado (es decir, ¿se ha tomado antes de la llegada de la pluma?).</p> <p>La eficacia del mecanismo de aviso/asesoramiento, por ejemplo, sirenas, llamadas telefónicas, radio, televisión, puerta a puerta y la disponibilidad de comunicadores eficaces, exhaustivos y de confianza.</p> <p>La eficacia de los acuerdos de distribución – distribución previa frente a distribución en el día o administración en el centro de recepción; ¿hay suficientes pastillas para todos?; ¿quién las va a distribuir?; mantenimiento de las reservas (fechas de caducidad).</p> <p>La eficacia de la planificación previa y las herramientas para la toma de decisiones para identificar las áreas apropiadas para la distribución de las pastillas.</p> <p>Si las personas están confinadas (ver hoja de datos 4), puede dificultar la distribución de las pastillas.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | <p>El cumplimiento por parte del público (¿está la gente dispuesta a tomar las pastillas?, ¿leerán/entenderán el folleto informativo correctamente?).</p> <p>La confianza del público en las autoridades.</p> |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Vehículos para distribuir las pastillas. |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>La provisión de una línea telefónica de ayuda.</p> <p>Mecanismos para iniciar la medida: sirenas, llamadas telefónicas, radio, televisión, puerta a puerta.</p> <p>Servicios médicos y de asesoramiento para la población, incluyendo monitorización personal.</p> <p>Línea de ayuda para familiares preocupados.</p> <p>Mecanismos para recoger los detalles de todos aquellos que hayan tomado pastillas de Yodo estable, para la posterior estimación de dosis y la toma de decisiones sobre programas de seguimiento de la salud.</p> |
| Consumibles | <p>Pastillas de Yodo estable suficientes para la población afectada.</p> <p>Folleto informativo que acompañe a las pastillas y que deberían incluir información sobre los efectos secundarios y cuándo buscar atención médica.</p> <p>Almacenamiento. Las pastillas de Yodo estable normalmente tienen una vida de almacenamiento bastante corta, puesto que están clasificadas como medicamentos.</p> |
| Habilidades | Habilidades organizativas y de comunicación excelentes. |
| Precauciones de seguridad | Puede que sean necesarios equipos de protección personal (EPP) para las personas que entren en el área para distribuir las pastillas de Yodo estable. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | <p>Esta medida es 100 % eficaz bloqueando la captación de Yodo radiactivo por parte de la glándula tiroides justo después de la ingesta de las pastillas. Una dosis mantendrá la protección a la tiroides durante alrededor de 24 horas.</p> <p>No se reducirán ni las dosis externas ni las internas debidas a otros elementos.</p> |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Ver "Factores técnicos que influyen en la eficacia" más arriba. |
| Dosis adicionales | Dependen de los acuerdos de distribución. Si es necesaria la distribución mientras una liberación está en marcha, aquellos que lleven a cabo dicha distribución recibirán dosis externas y por inhalación. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Se necesitará un gran equipo de personas para facilitar asesoramiento, distribuir las pastillas si es necesario y ayudar a la población afectada. |
| Factores que influyen en los costes | <p>Disponibilidad de reservas de pastillas.</p> <p>Tamaño/distribución de la población potencialmente afectada.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

| 5 Profilaxis con Yodo estable | |
|--------------------------------------|--|
| | Eficacia de la planificación previa en la ayuda a la eficiencia en la distribución de las pastillas. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Ninguno. |
| Impacto social | <p>Puede provocar una importante preocupación en la población afectada, especialmente entre personas mayores y enfermas, padres con familias jóvenes y mujeres embarazadas. Los efectos secundarios (reales o percibidos) de las tabletas pueden causar preocupación acerca de la salud. La gente puede ponerse nerviosa si han perdido las pastillas o no han recibido las distribuidas previamente.</p> <p>La necesidad de tomar las pastillas puede incrementar la ansiedad; sin embargo, a otras personas les puede tranquilizar el tomarlas. Reseñar que debería por ello comunicarse que la toma de Yodo estable es una medida de protección positiva.</p> <p>La toma de las pastillas puede dar a la gente una falsa sensación de seguridad con respecto a otros peligros de la radiación que pudieran estar presentes.</p> <p>La distribución previa ofrece la tranquilidad de que la gente se está ayudando a sí misma.</p> |
| Experiencia práctica | Tras el accidente de Chernobyl, se distribuyeron 10.5 millones de pastillas de yoduro potásico a los niños y 7 millones a los adultos en Polonia. |
| Referencias clave | <p>National Radiological Protection Board (1990). Board Statement on Emergency Reference Levels. Doc NRPB 1(4), Chilton, UK.</p> <p>National Radiological Protection Board (2001). Stable Iodine Prophylaxis. Recommendations of the 2nd UK Working Group on Stable Iodine Prophylaxis. Doc NRPB 12(3), Chilton, UK.</p> <p>WHO (1989). Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe, Environmental Health Series No. 35.</p> <p>WHO (1999). Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents: update 1999. Geneva, WHO/SDE/PHE/99.6.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

6 Uso de aspiradoras para limpieza del aire

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las concentraciones de contaminantes en el aire interior de los edificios cuando las concentraciones en el aire exterior son elevadas, reduciendo con ello las dosis debidas a inhalación y depósito en el interior. |
| Otros beneficios | Se reducirá la posterior resuspensión y transferencia por contacto de la contaminación en el interior. También se reducirá el depósito en el interior. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Dejando encendida una aspiradora en el interior de una habitación ocupada por personas, el aire interior es arrastrado a través de la bolsa de filtrado, que actúa como un filtro para aerosoles, reduciendo con ello las concentraciones de actividad en el aire "limpio". La aspiradora se coloca en un solo lugar sin accesorios (es decir, no se utiliza como aparato de limpieza).</p> <p>Debería señalarse que una bolsa llena de polvo ha resultado ser más eficiente como filtro que una vacía, de manera que el receptáculo de recogida de polvo no debería cambiarse.</p> <p>Se puede mejorar la eficacia si el aire es aspirado al interior desde el exterior, generando una sobrepresión, de manera que casi todo el aire entre en la vivienda a través del filtro de la aspiradora.</p> <p>Sin embargo, esto requiere un ajuste suficientemente hermético del conducto entre el interior y el exterior del edificio, por ejemplo, a través de una ventana.</p> <p>Debería señalarse que esta medida genera mucho ruido.</p> |
| Objeto de interés | Posiblemente solo es viable su uso en edificios residenciales. Sin embargo, se podría utilizar en oficinas, escuelas y otros edificios donde puede que las personas estén confinadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos, con efectos variables según las formas fisicoquímicas. Sin embargo, el efecto es despreciable sobre gases no reactivos. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. |
| Tiempo de aplicación | Durante el paso de la nube radiactiva, cuando los niveles de contaminación del aire son elevados. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Propiedad y acceso a edificios de propiedad privada (si no es implementada por los propietarios).</p> <p>La gestión de residuos de los filtros (altas concentraciones).</p> |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) del aire de 9 dentro de un edificio durante el periodo en el cual una aspiradora está en funcionamiento, dada una eficiencia del filtro de aire de 0.97, partículas en el rango de 0.5 µm y una velocidad de aspiración de 60 m ³ por hora. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Se reducirán las tasas de dosis externas gamma y beta debidas al depósito en el interior y las tasas de dosis por inhalación, según el valor del FD durante el periodo de implementación. |
| Reducción de la resuspensión | Las concentraciones de resuspensión en el aire interior se reducirán durante el periodo de implementación según el valor de FD. Las concentraciones de resuspensión en el aire interior posteriores también puede que se reduzcan debido a los menores niveles de contaminación en el interior de los edificios. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo de aspiradora (filtro, velocidad de aspiración). Con los modelos actuales con filtros HEPA, la eficacia será probablemente mayor.</p> <p>Las características fisicoquímicas de los contaminantes. Las concentraciones de Yodo elemental se reducirán enormemente; sin embargo, el efecto sobre el Yodo orgánico será escaso. La eficacia para partículas de mayor tamaño será mayor que los valores dados anteriormente.</p> <p>El tiempo de funcionamiento (cuanto mayor sea el tiempo entre la aparición de la nube contaminada y la implementación de la opción, menos eficaz será esta técnica).</p> <p>La tasa de ventilación natural y el mobiliario de la vivienda.</p> <p>Una mayor eficacia aspirando aire del exterior, pero el sellado del conducto entre exterior e interior tiene que ser efectivo.</p> <p>La ventilación poco después del paso de la nube puede incrementar aún más la eficacia pero debería realizarse con sumo cuidado para garantizar que la nube contaminada ha</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

6 Uso de aspiradoras para limpieza del aire

| | |
|---|--|
| | pasado realmente. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Puede resultar complicado comunicar con eficacia los beneficios de esta opción. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Aspiradora doméstica común con filtro. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamientos y residuos. |
| Consumibles | Suministro eléctrico. Bolsas de filtro. |
| Habilidades | Probablemente solo sean necesarias unas pequeñas instrucciones. El método podría ser implementado por la población como medida de autoayuda. Sin embargo, será necesaria una comunicación clara de los objetivos de manera que la gente no se confunda con el uso de las aspiradoras. |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Cantidad: domina posiblemente la masa de filtro. Tipo: papel de filtro con polvo. La actividad específica puede ser elevada y se requiere cuidado en su manejo. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No hay estimaciones realizadas. Sin embargo, se puede obtener una indicación de las reducciones en la dosis por inhalación recibida durante la implementación de los valores dados anteriormente. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Fracción de tiempo que se ha estado en el interior durante el paso de la pluma radiactiva por encima y durante un corto periodo posterior. Tiempo y duración de la implementación. |
| Dosis adicionales | Esta opción es posible que sea aplicada por personas que vivan o trabajen en el área y que estén confinadas (ver Hoja de datos 4). |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 10 minutos por edificio residencial para instalar las aspiradoras. Tamaño del equipo: 1 persona. |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo empleado en implementar la opción y, con ello, los costes laborales, están influidos por: - tipo de aspiradora usada. - accesibilidad y cantidad de contenidos en el edificio. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de residuos resultantes de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | Puede ser complicado comunicar de manera eficaz los beneficios de esta opción, en particular la variante en la que el aire es aspirado de manera deliberada desde el exterior al interior del edificio. La contaminación de las aspiradoras y la recogida de los filtros desechados pueden no ser aceptables. |
| Experiencia práctica | Se han realizado experimentos a pequeña escala en Dinamarca. |
| Referencias clave | Roed J (1985). Relationships in indoor/outdoor air pollution. Risø National Laboratory, Risø-M-2476. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

7 Utilización de mascarillas para la protección respiratoria

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir la dosis debida a inhalación de material radiactivo de la pluma y reducir la inhalación de material resuspendido de las superficies contaminadas en un área habitada durante los periodos en los que las concentraciones de actividad son elevadas. |
| Otros beneficios | El personal de intervención necesario para trabajar en áreas con baja contaminación puede estar tranquilo utilizando mascarillas. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se proporcionan mascarillas al personal de servicios de emergencia y miembros del público en áreas que puedan ser o hayan sido contaminadas por material radiactivo.</p> <p>La utilización de mascarillas se uniría a la recomendación de confinamiento. Para información adicional sobre el confinamiento, ver Hoja de datos 4.</p> <p>Estas mascarillas no sustituyen a los equipos de protección respiratoria completa que se utilizarían en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Debería señalarse que, con el fin de asegurar la eficacia, es necesario un ajuste individual.</p> <p>No se debería confiar en que las mascarillas reduzcan las dosis por inhalación si no han sido ajustadas individualmente y no se ha facilitado a los que las utilicen instrucciones sobre las mismas.</p> |
| Objeto de interés | Personas que vivan o a las que se requiera la entrada en un área que posiblemente sea o haya sido afectada por contaminación radiactiva. |
| Radionucleidos de interés | Radionucleidos unidos a aerosoles y gases reactivos. Dirigida en particular al ahorro de dosis debidas a radionucleidos en la fase de emergencia durante el paso de la pluma radiactiva. No protegerá frente a gases no reactivos. Ver Parte III, Sección 3 para información sobre radionucleidos. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala, aunque es mucho más fácil de implementar a pequeña escala. |
| Tiempo de aplicación | Se alcanza el máximo beneficio si las mascarillas se colocan antes de que el material radiactivo aéreo llegue al área. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Requiere un nivel adecuado de aprobación antes de su implementación.</p> <p>Las mascarillas no sustituyen a los equipos de protección respiratoria completa que serían necesarios para aquellos a los que se requiera la entrada/trabajar en áreas altamente contaminadas.</p> |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el medio ambiente. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El material del que están hechas las mascarillas.</p> <p>Los plazos de implementación de la medida.</p> <p>Las mascarillas deben ajustarse correctamente: el tamaño y forma de la cara, el vello facial, las gafas pueden afectar al ajuste de las mascarillas.</p> <p>Las mascarillas dificultarán la comunicación verbal normal.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La voluntad y capacidad de las personas para utilizar las mascarillas. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Mascarillas.</p> <p>Vehículos para distribuir las mascarillas.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras que permitan la distribución de las mascarillas. |
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Se necesitan excelentes habilidades de comunicación si las mascarillas se van a destinar al público para asegurar que los objetivos están claros y que la gente no se asusta. Aunque la distribución de mascarillas se lleva a cabo por parte de las autoridades, su uso eficaz presenta una componente de "autoayuda". |

[Volver a la lista de opciones](#)

7 Utilización de mascarillas para la protección respiratoria

| | |
|---|--|
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Será necesario eliminar las mascarillas después de su uso. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Para aerosoles, la protección ofrecida tendrá la menor eficacia para partículas en el rango de 0.1 – 2.0 µm, para las que la reducción en las tasas de dosis es posible que esté entre 10-25 %. Para partículas de mayor y menor tamaño, la reducción de las tasas de dosis podría llegar al 90 %. Para gases reactivos, las reducciones en las tasas de dosis podría estar entre el 10 y el 90 %. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Ver “Factores técnicos que influyen en la eficacia” más arriba. |
| Dosis adicionales | Es improbable que se den dosis adicionales para las personas encargadas de implementar esta opción. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | No estimado. |
| Factores que influyen en los costes | Número de mascarillas necesarias. Costes de administración/comunicación. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | Pánico/preocupación entre la población. El reparto preventivo de mascarillas puede reforzar la confianza en las autoridades. Si las mascarillas no se ajustan adecuadamente, su utilización puede dar lugar a una falsa sensación de seguridad con respecto a su eficacia. |
| Experiencia práctica | El uso de mascarillas se ha aplicado en varias operaciones de recuperación en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl. Sin embargo, no hay pruebas disponibles actualmente de ninguna experiencia práctica en su uso durante la fase de emergencia de un accidente. |
| Referencias clave | |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

8 Traslado permanente de áreas residenciales

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta debidas al material depositado sobre las superficies y las dosis por inhalación debidas al material resuspendido dentro de áreas habitadas contaminadas. |
| Otros beneficios | Cualquier otra opción de gestión necesaria será más fácilmente implementada mientras la población está ausente del área. |
| Descripción de la opción de gestión | El traslado de personas desde un área contaminada de manera permanente. Puede que se lleve a cabo el reasentamiento en un futuro. Alto impacto social y económico. |
| Objeto de interés | Personas que viven en áreas residenciales contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Solo radionucleidos de vida larga. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. Es improbable que sea viable para áreas muy densamente pobladas. |
| Tiempo de aplicación | El máximo beneficio se logra si se aplica poco después del depósito o durante la fase de emergencia. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Compensaciones por los hogares, las posesiones y la posible pérdida de ingresos. La construcción de nuevas áreas residenciales e instalaciones de residuos requerirá cumplir con la legislación y puede ser necesario garantizar la autorización para ello. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | No reducirá la contaminación en el área restringida. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Cumplimiento: la gente no puede ser obligada a abandonar sus hogares. Individuos que vuelvan a entrar en el área. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Vehículos de transporte para trasladar a las personas y sus posesiones. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Nuevos alojamientos. Infraestructura de apoyo a las poblaciones trasladadas: escuelas, médicos, servicios sociales, apoyo para aquellos que busquen empleo, etc. |
| Consumibles | Combustible y recambios para vehículos y otros transportes. |
| Habilidades | Conductores. Puede ser necesario personal de seguridad para ayudar a los conductores. Personal de limpieza. Administración de apoyo en el nuevo emplazamiento. |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Se reducirán las dosis en un 100 % para las personas trasladadas si se mueven lejos de la zona afectada. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Nivel de exposición en la nueva ubicación. Conformidad con el traslado, ya que no se puede obligar a las personas a abandonar sus hogares. Personas que vuelvan a entrar en el área. |
| Dosis adicionales | Las personas que implementen el traslado permanente podrían estar expuestas a: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a material radiactivo depositado. |

[Volver a la lista de opciones](#)

8 Traslado permanente de áreas residenciales

| | |
|-------------------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • inhalación de radiactividad resuspendida. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Suponiendo que se traslada a la gente a una distancia en torno a 1 hora hasta un lugar de reunión, se estima que una persona puede transportar sobre 60 personas cada 4 horas. Será necesario un esfuerzo adicional para trasladar a las personas y sus posesiones hasta un área nueva. |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tipo de vehículos utilizados.</p> <p>El número de vehículos disponible.</p> <p>La facilidad de acceso y ruta de transporte.</p> <p>La distancia a la que hay que transportar a las personas.</p> <p>Número de personas a trasladar.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La construcción de nuevas áreas residenciales tendrá un impacto sobre el medio ambiente, por ejemplo, la necesidad de construir nuevas infraestructuras, cambios en el uso de la tierra, generación de residuos, etc. |
| Impacto social | <p>El trastorno a las comunidades afectadas será muy grande (para los trasladados y para los que residen en las comunidades receptoras).</p> <p>Fragmentación de comunidades.</p> |
| Experiencia práctica | El traslado tras el accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | IAEA (1991). <i>The international Chernobyl project: an overview</i> . Report by an International Advisory Committee, IAEA, Vienna. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

9 Prohibición de acceso a áreas no residenciales

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta debidas al material depositado sobre las superficies y la dosis por inhalación debida a material resuspendido desde las superficies dentro de áreas no residenciales contaminadas. |
| Otros beneficios | Cualquier opción de recuperación necesaria será más fácilmente implementada mientras la población se encuentra ausente del área. Reducción en las dosis por ingestión debida al consumo de alimentos silvestres recolectados en áreas de recreo, por ejemplo, en bosques y en el campo. |
| Descripción de la opción de gestión | Para áreas no residenciales de acceso público (por ejemplo, parques, áreas recreativas), solo se puede hacer cumplir una prohibición total sobre el acceso. Cualquier restricción parcial no puede ser controlada y no sería posible controlar las dosis recibidas por los miembros del público. Podría ser implementada a corto o a largo plazo. Las áreas recreativas es improbable que tengan asignada una alta prioridad para su limpieza, por lo que la restricción del acceso puede ser necesaria antes de que se implemente cualquier medida de limpieza. Solo es posible vallar el terreno a largo plazo si su propiedad es privada. El terreno público estaría controlado mediante avisos y barreras en las principales rutas de acceso (si es posible). La prohibición temporal de acceso a áreas no residenciales puede aplicarse mientras se implementa la limpieza. |
| Objeto de interés | Personas que viven en y que visitan áreas contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. En particular los radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. |
| Tiempo de aplicación | Máximo beneficio si se lleva a cabo poco después del depósito. Puede ser aplicada en cualquier momento y durante el periodo de tiempo que sea. Puede ser implementada mientras se llevan a cabo otras opciones de gestión. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Puede ser necesaria legislación para restringir el acceso a la tierra, dependiendo de la propiedad. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Si la gente la cumple, esta opción es completamente eficaz en la reducción de dosis procedentes de las áreas prohibidas. Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el área restringida. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Puede ser complicado demostrar la exclusión eficaz de gente de un área. El éxito de barreras y vallas (si se utilizan). |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Cumplimiento: será esencial una estrategia de información pública eficaz. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Ninguno. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Ninguno. |
| Consumibles | Avisos, señales, barreras, etc. |
| Habilidades | Ninguna. |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Las dosis que se habrían recibido en las áreas prohibidas se reducirán en un 100 % si el acceso se detiene de manera eficaz. |

[Volver a la lista de opciones](#)

9 Prohibición de acceso a áreas no residenciales

| | |
|---|---|
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>El cumplimiento de la prohibición de acceso.</p> <p>Los hábitos de la población – por ejemplo, si la gente no pasaba tiempo en las áreas donde se ha prohibido el acceso, esta opción no reducirá sus dosis totales.</p> <p>El éxito de los cordones (si se utilizan).</p> |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente. • aumento de la resuspensión de la actividad depositada en el ambiente. <p>No se aportan dosis ilustrativas ya que serán muy específicas según el tipo de contaminación, las condiciones ambientales, las tareas realizadas por un individuo, los controles aplicados al trabajo y el uso de EPP.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Mano de obra para implementar la opción. |
| Factores que influyen en los costes | <p>Tamaño del (de las) área(s) a la(s) que se restringe el acceso.</p> <p>Posible necesidad de regular la prohibición de acceso en algunas áreas.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La prohibición de acceso al medio natural puede beneficiar a la fauna y la flora. |
| Impacto social | <p>Pérdida de equipamientos públicos.</p> <p>Cambio en la percepción del medio natural/otras áreas recreativas.</p> |
| Experiencia práctica | <p>En la antigua Unión Soviética después del accidente de Chernobyl.</p> <p>En el Reino Unido como consecuencia de la fiebre aftosa.</p> |
| Referencias clave | N/A |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

10 Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales

| | |
|---|--|
| Objetivo | Permitir a la población permanecer en el área manteniendo el funcionamiento de los servicios e infraestructuras esenciales. |
| Otros beneficios | Cualquier opción de recuperación necesaria será más fácilmente implementada mientras la población se encuentra ausente del área. |
| Descripción de la opción de gestión | Los entornos de trabajo pueden ser controlados (tanto la gente a la que se permite entrar en un lugar de trabajo como el tiempo que los trabajadores pasan en ella). Los empleadores tienen el deber de cuidar de sus empleados; por ello, en general no será aceptable que los empleados trabajen en un área contaminada donde se ha considerado inaceptable que la gente viva. En este caso, el acceso es posible que esté prohibido. En el caso de empleados que mantengan servicios esenciales, el acceso restringido puede ser utilizado con un estricto control sobre las dosis. Puede ser aplicada mientras se implementan opciones de recuperación. |
| Objeto de interés | Personas que trabajan en áreas contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. En particular los radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de lugar de trabajo. |
| Tiempo de aplicación | Poco después del depósito, pero puede continuar durante algún tiempo. Puede ser aplicada mientras se implementan opciones de recuperación. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Compensación por la falta de ingresos. Deber de cuidar de sus empleados por parte de los empleadores. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Eficaz en el control de las dosis al personal esencial mientras este lo cumpla y se apliquen los controles pertinentes. Esta opción no reducirá los niveles de contaminación en el área restringida. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Cumplimiento de la restricción de acceso. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Equipos de monitorización para el personal que entre en el área. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Sistema para controlar y monitorizar las dosis al personal. |
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Capacidad para gestionar la protección frente a la radiación del personal. |
| Precauciones de seguridad | Vigilancia de la salud y la seguridad cuando solo se encuentra el personal básico en un emplazamiento. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Eficaz en el control de las dosis al personal esencial. Las dosis a los trabajadores a los que se requiera trabajar en un área contaminada serán estrictamente monitorizadas; estos recibirán una dosis adicional comparada con otros miembros del público. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | El cumplimiento de la restricción de acceso. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a radionucleidos en el ambiente. • aumento en la resuspensión de actividad depositada en el ambiente. |

[Volver a la lista de opciones](#)

10 Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales

| | |
|-------------------------------------|---|
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Mano de obra para implementar la opción. |
| Factores que influyen en los costes | Tamaño del (de las) área(s) a la(s) que se restringe el acceso. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Los edificios y las áreas exteriores puede que no tengan mantenimiento. |
| Impacto social | Pérdida de equipamientos públicos. Aceptación de que los trabajadores imprescindibles reciban dosis adicionales. |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | N/A |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

11 Traslado temporal de áreas residenciales

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta debidas al material depositado sobre las superficies y las dosis por inhalación debidas al material resuspendido de las superficies dentro de áreas habitadas contaminadas. |
| Otros beneficios | Las opciones de gestión serán más fácilmente implementadas mientras la población está ausente. |
| Descripción de la opción de gestión | El traslado de individuos desde un área contaminada de manera temporal. Es posible que la gente sea trasladada a un área que esté suficientemente lejos del área contaminada como para que las dosis sean mínimas, pero que esté lo suficientemente cerca como para que la gente acuda a diario a sus lugares de trabajo habituales. Debería tener una duración limitada. También puede ser considerada mientras se llevan a cabo opciones de recuperación. |
| Objeto de interés | Personas que viven en áreas contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Es particularmente útil para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Cualquier número de personas. Es más fácil de implementar a pequeña escala. |
| Tiempo de aplicación | El beneficio es máximo si la gente es trasladada poco después del depósito o es evacuada durante la fase de emergencia y no vuelve. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Compensación por el traslado de personas y la posible falta de ingresos. Provisión de seguridad para edificios vacíos. |
| Restricciones del entorno | Mantenimiento de edificios y medio ambiente para traslados temporales de largo plazo. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Si las personas la cumplen, esta opción es completamente eficaz en la eliminación de todas las dosis durante el periodo de traslado. No reducirá la contaminación en el área restringida. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Cumplimiento: la gente no puede ser obligada a abandonar sus hogares. Capacidad de evitar el acceso no autorizado posterior. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Transporte para el traslado de personas y sus posesiones. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Alojamiento/viviendas alternativas. Infraestructura de apoyo a las poblaciones trasladadas: escuelas, médicos, servicios sociales, etc. Servicios de seguridad para el área que ha sido trasladada. |
| Consumibles | Combustible y recambios para vehículos y otros transportes. |
| Habilidades | Conductores. Puede ser necesario personal de seguridad para ayudar a los conductores. |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | No se producen residuos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Las dosis se reducirán en un 100 % durante el periodo de traslado si la gente es trasladada totalmente fuera del área afectada. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | Nivel de exposición en la nueva ubicación. Cumplimiento del traslado. |
| Dosis adicionales | Vías de exposición relevantes para los trabajadores: <ul style="list-style-type: none"> exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente. aumento de la resuspensión de la actividad depositada en el ambiente. |

[Volver a la lista de opciones](#)

11 Traslado temporal de áreas residenciales

| Costes de intervención | |
|-------------------------------------|---|
| Tiempo de operario | Suponiendo que se traslada a la gente a una distancia en torno a 1 hora, se estima que una persona puede transportar 60 personas cada 4 horas. |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tipo de vehículo utilizado.</p> <p>El número de vehículos disponibles.</p> <p>La facilidad de acceso y la ruta de transporte.</p> <p>La distancia a la que hay que trasladar a la gente.</p> <p>El número de gente a trasladar.</p> <p>La disponibilidad de alojamiento adecuado.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | El aumento del tamaño de la población en el área a donde la gente es temporalmente trasladada puede tener un impacto sobre el medio ambiente, como por ejemplo, la cantidad de residuos generales producidos, el aumento del tráfico... |
| Impacto social | <p>Trastorno producido a las comunidades afectadas (aquellos que son trasladados y aquellos que pertenecen a las comunidades receptoras).</p> <p>Fragmentación de comunidades.</p> <p>Carga adicional sobre las escuelas, los servicios médicos y recreativos.</p> |
| Experiencia práctica | Alguna experiencia en el traslado temporal por otros incidentes a nivel local. Traslado después del accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | <p>Morrey M and Allen P. The role of social and psychological factors in radiation protection after accidents. <i>Radiation Protection Dosimetry</i>, 68, (3/4), 267-271.</p> <p>Oughton DH, Bay I, Forsberg E-M, Hunt J, Kaiser M and Littlewood D (2003). Social and ethical aspects of countermeasure evaluation and selection – using an ethical matrix in participatory decision making. Deliverable 4 of the STRATEGY project. Agricultural University of Norway, Norway.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

12 Demolición de edificios

| | |
|---|---|
| Objetivo | Eliminar la contaminación asociada a los edificios. La demolición de edificios reducirá las dosis externas gamma y beta en el futuro si el área es repoblada mientras otras superficies en el exterior hayan sido también descontaminadas o eliminadas. |
| Otros beneficios | Evitará la retirada de materiales contaminados para su uso en algún otro lugar. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Los edificios se pueden demoler mediante grúa y bola de demolición o mediante cincel neumático. Será necesario controlar los niveles usando agua pulverizada durante la demolición para mantener las dosis a los trabajadores en un nivel aceptable. El edificio puede encapsularse en una estructura andamiada, forrada con paneles, equipada con un sistema de ventilación con filtros HEPA para un mayor control del polvo.</p> <p>Los cimientos pueden ser retirados (mediante gatos u otros medios) dependiendo del tamaño del edificio, si es necesario.</p> <p>Solo será aceptable si el medio en torno al edificio está también contaminado y va a ser limpiado posteriormente.</p> <p>Las superficies de terreno circundantes también deben ser descontaminadas o retiradas. Debería garantizarse la comprobación de la presencia de amianto antes de que los edificios sean demolidos.</p> |
| Objeto de interés | Edificios altamente contaminados en un área en la que las dosis son demasiado altas para que la gente viva en ella. Puede ser también adecuado para un incidente que implique la dispersión de contaminación dentro de un edificio. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No debería tenerse en cuenta para la eliminación de radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. |
| Tiempo de aplicación | No es importante. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Compensación por la demolición del edificio.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros de importancia histórica.</p> <p>Legislación sobre eliminación de residuos sólidos.</p> <p>Responsabilidad de traslado de los residentes o usuarios.</p> |
| Restricciones del entorno | Los vientos fuertes complicarán las cosas debido a la cantidad de polvo que es posible que se produzca. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | La opción será 100 % eficaz en la eliminación de la contaminación sobre las superficies del edificio si se retira todo el escombros y no se dispersa la contaminación durante el proceso de demolición. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Se eliminarán las tasas de dosis debidas a la contaminación sobre los edificios. Sin embargo, debería señalarse que los edificios también proporcionan blindaje frente a la radiación procedente de otras fuentes en el ambiente, de manera que, para reducir las tasas de dosis en conjunto debidas al terreno circundante, será necesario que este sea también descontaminado. |
| Reducción de la resuspensión | Ninguna. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La cantidad de polvo producida durante la demolición.</p> <p>La retirada de todo el escombros.</p> <p>Las condiciones meteorológicas.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción sobre un área entera.</p> <p>El control del polvo producido durante la demolición.</p> <p>La reducción en las contribuciones a la dosis debidas a las superficies de los terrenos circundantes.</p> <p>La construcción de nuevos edificios.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Grúa y bola de demolición. |

[Volver a la lista de opciones](#)

12 Demolición de edificios

| | | | |
|---|--|---------------------------|---|
| | <p>Andamios. Cinzel neumático. Sistema de ventilación con filtros HEPA. Gatos. Vehículos de transporte para equipamiento y residuos.</p> | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos. Suministro de agua.</p> | | |
| Consumibles | <p>Agua. Pintura acrílica. Combustible y recambios para equipamiento y vehículos.</p> | | |
| Habilidades | <p>Personal cualificado necesario para la demolición de edificios.</p> | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Cascos de seguridad. Botas de seguridad. Gafas de seguridad. Es esencial la protección respiratoria, debido a las cantidades de polvo. Serán necesarias medidas de seguridad apropiadas y protección respiratoria si se detecta la presencia de amianto.</p> | | |
| Residuos | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> 7 10¹ kg m⁻² <i>Tipo:</i> Escombros y otros fragmentos de edificio.</p> | | |
| Dosis | | | |
| Dosis evitadas | <p>Es improbable que haya gente viviendo en los edificios que se van a demoler debido a los altos niveles de contaminación. Debido a esto, no habrá una reducción inmediata en las dosis a los individuos. La reducción del 100 % en las dosis debidas a la contaminación en los edificios después de la demolición puede permitir la repoblación del área en el futuro.</p> | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área entera. El control del polvo producido. La descontaminación de las superficies de terreno circundante.</p> | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a radionucleidos en el ambiente y al equipamiento contaminado. • aumento de la resuspensión de la actividad depositada en el ambiente. • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones de las vías en cursiva no serán significativas y las dosis procedentes de estas vías pueden controlarse mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no se incluyen.</p> | | |
| Costes de intervención | | | |
| Tiempo de operario | | Grúa y bola de demolición | Contención secundaria y cinceles neumáticos |
| | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 5 | 0.5 |
| | Tamaño del equipo (personas) | 4 | 4 |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico. El tamaño del edificio. El tipo de equipamiento utilizado. Los materiales de construcción del edificio.</p> | | |
| Efectos secundarios | | | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

12 Demolición de edificios

| | |
|------------------------|--|
| Impacto social | <p>Destrucción del área habitada.</p> <p>La aflicción causada por la pérdida de hogares y equipamientos.</p> <p>La aceptación de cambios estéticos en el área.</p> <p>La aceptación de la producción y eliminación de grandes cantidades de residuos.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado en viviendas seleccionadas en la antigua Unión Soviética (por ejemplo, en Gornel, Bielorrusia) tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Morgan CJ (1987). Methods and cost of decontamination and site restoration following dispersion of plutonium in a weapon accident. Aldermaston, AWE, SCT Laboratory.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

13 Limpieza con chorro de agua

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre las fachadas y cubiertas de los edificios en áreas habitadas, y reducir la dosis por inhalación debida al material resuspendido desde estas superficies. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies exteriores de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Para edificios residenciales de tamaño normal, se puede utilizar una plataforma hidráulica para proporcionar acceso a las fachadas y cubiertas de los edificios.</p> <p>La creación de polvo durante la implementación no es probable que suponga un problema, de manera que no son necesarios métodos para reducir el riesgo de resuspensión a los trabajadores.</p> <p>La recontaminación de superficies por parte de contaminantes resuspendidos será insignificante, de manera que no es necesario aplicarla repetidamente.</p> <p>Cubiertas: No es probable que sea factible recoger toda el agua usada para la limpieza. La recogida de agua de las cubiertas puede favorecerse modificando canalones y colectores, de manera que los residuos se aportan dentro de tanques de recolección, donde puede que sean filtrados (la mayoría de la radiactividad estará asociada a la fase sólida). Si no se adoptan medios activos para recoger el agua, parte mojará el terreno o pasará directamente a los drenajes y pozos a través de canalones y colectores.</p> <p>Fachadas: No es probable que sea factible recoger el agua residual y la contaminación asociada. Si se puede recoger el agua residual, se puede hacer usando láminas de PVC colocadas entre los andamios y la pared. La parte inferior de las láminas cuelga de un canal metálico sellado a la pared con material bituminoso. El agua fluye hasta el canal y una bomba envía el agua a los tanques de recolección donde es filtrada y bombeada hasta los tanques de retardo.</p> <p>Terreno: Si se ha producido escorrentía, la implementación de opciones para las superficies de terreno circundante también debería tenerse en cuenta después de que se haya implementado la limpieza con chorro de agua.</p> <p>Si se ha planificado la implementación de cualquier otra opción a las superficies de terreno circundante, la limpieza con chorro de agua de fachadas y cubiertas debería realizarse en primer lugar.</p> |
| Objeto de interés | Fachadas y cubiertas de edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Para radionucleidos de vida corta: solo si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo antes de una semana después del depósito, cuando el máximo de polvo/suciedad permanece en las superficies. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a las propiedades (por ejemplo, inundaciones).</p> <p>Uso sobre edificios catalogados y otros de importancia.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo atmosférico extremadamente frío (nieve o hielo).</p> <p>Las construcciones de cubierta deben ser impermeables.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede conseguir un factor de descontaminación (FD) de 1.3 si se implementa esta opción antes de una semana después del depósito y antes de que llueva de manera importante (la lluvia es posible que elimine más contaminación de las cubiertas que de las fachadas). La repetición de la aplicación es poco probable que aporte ningún aumento significativo al FD.</p> <p>A corto plazo, el FD mencionado se puede considerar el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y el Tritio, para los que un lavado minucioso de superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externas gamma y beta debidas a las superficies descontaminadas se reducirán en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La aplicación consistente de agua sobre la superficie contaminada. |

[Volver a la lista de opciones](#)

13 Limpieza con chorro de agua

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | <p>Los niveles de polvo sobre la superficie/el musgo en las cubiertas.</p> <p>El tipo de superficie. Las superficies rugosas, por ejemplo, las tejas pueden atrapar la contaminación de manera que es más difícil de eliminar.</p> <p>El número de ventanas (las ventanas son más fáciles de limpiar).</p> <p>La cantidad de edificios en el área.</p> <p>Limpieza cuidadosa: es necesario quitar la contaminación de fachadas y cubiertas, no solo dispersarla por las superficies. Debería tenerse especial cuidado de limpiar los canalones de cubiertas y los colectores. Debería tenerse un cuidado extraordinario al limpiar la parte inferior de las fachadas, ya que es la superficie que proporcionará la mayor dosis a un individuo cerca del edificio.</p> <p>Tiempo de implementación: la meteorología reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Coche de bomberos con plataforma hidráulica, con mangueras montadas.</p> <p>Andamios.</p> <p>Láminas de PVC.</p> <p>Canal.</p> <p>Tanques.</p> <p>Bombas de drenaje y filtros.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Suministro de agua y electricidad.</p> <p>Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos.</p> <p>Sistema de alcantarillado público.</p> | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Agua.</p> <p>Combustible y recambios para los vehículos.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para manejar las bombas de incendio y las mangueras. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Línea de vida.</p> <p>Cascos de seguridad.</p> <p>Sería recomendable la utilización de ropa impermeable, en particular para áreas fuertemente contaminadas.</p> <p>Puede ser necesario el uso de EPP para la protección frente a la inhalación de agua pulverizada.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad | $1 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$ de sólidos y 50 l m^{-2} de agua | | | | | | | |
| Tipo | Polvo y agua. Es improbable que sea factible recoger el agua de la limpieza con chorro de las fachadas. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 5-10 | <5 | 5-10 | <5 | 0 | <5 | <5 | <5 |
| Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica. Las reducciones de dosis estimadas no incluyen ninguna dosis futura | | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

13 Limpieza con chorro de agua

| | | | |
|---|---|---------------------------------------|-------------------|
| | potencial que pueda surgir si el agua contaminada entra en el sistema de drenaje y posteriormente en el medio ambiente (ver Apéndice C para más información). | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área grande.</p> <p>Limpieza con cuidado. Es necesario quitar la contaminación de fachadas y cubiertas, no solo dispersarla por las superficies. Se debe poner especial cuidado en limpiar los canalones y colectores de las cubiertas. Se debe poner un cuidado extraordinario en limpiar las partes inferiores de las fachadas, ya que son las superficies que proporcionarán la mayor dosis a un individuo que esté cerca del edificio.</p> <p>El área sobre el terreno alrededor del edificio debería ser tratada después del edificio si los residuos no se recogen.</p> <p>Tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento en la resuspensión de actividad depositada en el ambiente. • inhalación de polvo y agua pulverizada generados. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y la eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | |
| Costes de intervención | | | |
| Tiempo de operario | | Fachadas | Cubiertas |
| | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 8 10 ² – 1 10 ³ | 1 10 ² |
| | Tamaño del equipo (personas) | Hasta 5 | 1 |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>El uso de equipos personales de protección (EPP) por parte de los trabajadores.</p> | | |
| Efectos secundarios | | | |
| Impacto medioambiental | <p>La limpieza con chorro de agua producirá agua residual contaminada. Una adecuada monitorización en la planta de tratamiento de aguas residuales y cualquier eliminación posterior de lodos y agua minimizará el impacto medioambiental.</p> <p>La eliminación o almacenamiento de residuos procedentes de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Este puede minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Si el agua residual no se recoge, parte de ella correrá sobre otras superficies (carreteras, suelo, césped, etc.), dando como resultado una transferencia de contaminación que puede que requiera una limpieza posterior, generando más residuos. Es importante que la limpieza con chorro de agua de los edificios sea implementada antes de que se lleven a cabo opciones de recuperación sobre las superficies de terreno circundante.</p> | | |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa del agua residual contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>La limpieza con chorro de agua de edificios hará que un área parezca limpia; su implementación puede dar tranquilidad al público.</p> | | |
| Experiencia práctica | <p>Probada a escala real sobre fachadas y cubiertas seleccionadas en la antigua Unión Soviética y en Europa después del accidente de Chernobyl.</p> | | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited</p> | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

13 Limpieza con chorro de agua

| | |
|------------------------|---|
| | areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i> . Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

14 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta y las dosis por inhalación debidas a la contaminación de fachadas y cubiertas en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies exteriores de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se pueden utilizar equipos de lavado a presión para soltar la contaminación de una superficie y lavarla. Se aplica un flujo continuo de agua a alta presión (150 bar/2000 psi). El lavado debe empezarse por la parte superior de las fachadas y cubiertas y es particularmente importante evitar el levantamiento de las tejas de cubierta debido a la fuerza del agua si se dirige hacia arriba. Se monta una bomba en el terreno y se alimentan las mangueras hasta una plataforma o andamio. No se recomienda el uso de chorros a presiones sensiblemente superiores a 150-200 bar en cubiertas, puesto que puede provocar el levantamiento de las tejas.</p> <p>Cubiertas: Debería ser posible recoger el agua usada para la limpieza a alta presión. La recogida de agua de las cubiertas puede favorecerse modificando los canalones y los colectores, de manera que los residuos recogidos se aporten a los tanques de recolección, donde pueden ser filtrados (la mayor parte de la radiactividad estará asociada con la fase sólida). Si no se adoptan medios activos para recoger el agua, parte del agua residual puede mojar el terreno y el resto pasará directamente a los drenajes y pozos a través de canalones y colectores. Puede que sea necesario aplicar un tratamiento superficial a las cubiertas para asegurar la protección frente a la penetración de agua en el futuro.</p> <p>Fachadas: No es probable que sea factible recoger el agua residual y la contaminación asociada.</p> <p>Terreno: La implementación de opciones a superficies de terreno circundante también debería tenerse en cuenta después de que se haya aplicado la limpieza con chorro de agua a alta presión, si se ha producido escorrentía hacia las superficies del terreno. Si se ha planificado la implementación de cualquier otra opción a las superficies del terreno circundantes, se debería aplicar la limpieza con chorro de agua a alta presión de fachadas y cubiertas en primer lugar.</p> |
| Objeto de interés | Fachadas y cubiertas de edificios (altamente contaminados). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No aplicable para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de contaminación está todavía sobre las superficies. Sin embargo, la limpieza con chorro de agua a alta presión de fachadas y cubiertas de edificios puede ser eficaz hasta 10 años después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad (por ejemplo, inundaciones).</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo atmosférico extremadamente frío (sería necesario calentar el agua).</p> <p>Las fachadas tienen que ser impermeables.</p> <p>Los sistemas constructivos de las cubiertas tienen que resistir el agua a alta presión.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 1.5 y 5 si se implementa poco después del depósito. Se puede lograr un FD mayor tras el depósito seco que tras el depósito húmedo. En el caso del Plutonio, se puede alcanzar un FD de entre 2 y 10. Para el Yodo elemental y el Tritio, la limpieza exhaustiva de superficies impermeables permitirá virtualmente la completa eliminación de la contaminación.</p> <p>La eficacia de la limpieza con chorro de agua a alta presión decrece con el tiempo transcurrido desde que se produjo la contaminación, especialmente en áreas con elevadas tasas de precipitación.</p> <p>La aplicación repetida no es probable que produzca ningún incremento significativo en el FD.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta debidas a las fachadas y cubiertas descontaminadas de los edificios se reducirán según un factor similar al FD. |

[Volver a la lista de opciones](#)

14 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | |
|---|---|
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La presión del agua.</p> <p>El tipo, planeidad y condición de la superficie, incluyendo la cantidad de musgo en las cubiertas.</p> <p>El tiempo de operación: cuanto mayor sea el tiempo entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será debido a la fijación de la contaminación a la superficie.</p> <p>La aplicación consistente de agua sobre el área contaminada (es decir, la habilidad del operario).</p> <p>El cuidado en la aplicación: se necesita cuidado para quitar la contaminación de fachadas y cubiertas y no solo dispersar la contaminación por la superficie; las partes inferiores de las fachadas tienen que ser limpiadas con mucho cuidado ya que son las superficies que proporcionarán la mayor dosis a un individuo en las proximidades del edificio; es necesario un especial cuidado al limpiar los canalones y los colectores de las cubiertas.</p> <p>Si el terreno circundante al edificio y otras superficies sobre las cuales podría haberse producido escorrentía han sido descontaminadas tras el tratamiento del edificio (si los residuos no se han recogido).</p> <p>El número de edificios en el área.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorología reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>El equipamiento usado dependerá de si el agua residual es filtrada antes de su eliminación.</p> <p>El equipamiento usado para la limpieza con chorro de agua a alta presión puede incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aparato de lavado a presión de 2000 psi. - generador de 7.5kW. - filtro. - bomba. - cisterna de succión. - andamios con escaleras de mano para acceso adicional a la cubierta. - vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos.</p> <p>Suministro de agua.</p> <p>Sistema de alcantarillado público.</p> |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para generadores y vehículos de transporte.</p> <p>Tratamiento superficial para cubiertas (si es necesario).</p> |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar mangueras a alta presión y cisternas de succión. |
| Precauciones de seguridad | <p>Para edificios altos: línea de vida y cascos de seguridad.</p> <p>Debería recomendarse el uso de ropa impermeable, especialmente en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Deberían considerarse equipos de protección personal (EPP) para proteger a los trabajadores del agua pulverizada contaminada.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> |
| Residuos | |
| Cantidad | $2 \cdot 10^{-1} - 4 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$ de sólidos y 20 l m^{-2} de agua. |
| Tipo | Polvo y agua. |
| Dosis | |

[Volver a la lista de opciones](#)

14 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | | | | | | | | |
|---|--|--|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | <5 | <5 | <5 | 0 | <5 | <5 | <5 |
| <p>Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. Las reducciones de dosis estimadas no incluyen ninguna potencial dosis futura que pueda surgir si el agua contaminada entra en el sistema de drenaje y posteriormente en el medio ambiente. (ver Apéndice C para más información).</p> | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El cuidado en la aplicación. Cuidado necesario para quitar la contaminación de fachadas y cubiertas y no solo dispersar la contaminación por la superficie; es necesario lavar con mucho cuidado las partes inferiores de las fachadas ya que son estas superficies las que proporcionarán la mayor dosis a un individuo en las proximidades del edificio; se necesita un especial cuidado al limpiar los canalones y los colectores de las cubiertas.</p> <p>Si el terreno en torno al edificio y otras superficies sobre las cuales se puede haber producido escorrentía han sido descontaminadas después de tratar el edificio (si los residuos no se han recogido).</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>El número de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo y agua pulverizada generados. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> <p>No se aportan dosis ilustrativas ya que dependerán específicamente del tipo de contaminación, las condiciones ambientales, las tareas realizadas por el individuo, los controles aplicados sobre el trabajo y el uso de EPP.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 30 – 60 (excluida la colocación de los andamios, si es necesaria) | | | | | | |
| | Tamaño del equipo (personas) | Hasta 3 personas (depende del equipamiento usado para el acceso a los edificios. Se necesita más gente si el agua es recogida y filtrada antes de su eliminación). | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>El uso de equipos de protección personal (EPP).</p> | | | | | | | |
| Efectos secundarios | | | | | | | | |
| Impacto medioambiental | <p>La limpieza con chorro de agua a alta presión generará agua residual contaminada. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Si no se recoge el agua residual, parte de la misma correrá sobre otras superficies (carreteras, suelo, césped, etc.), dando como resultado una transferencia de contaminación</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

14 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | |
|------------------------|---|
| | que puede que requiera una limpieza posterior, generando más residuos. Es importante que la limpieza con chorro de agua a alta presión de los edificios sea implementada antes de que se lleve a cabo cualquier otra opción de recuperación sobre las superficies de terreno circundante. |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>La limpieza con chorro de agua a alta presión de edificios hará que un área parezca limpia; su implementación puede dar tranquilidad al público.</p> <p>Puede ser necesario reparar algunas fachadas y cubiertas.</p> |
| Experiencia práctica | Probado a escala real en fachadas y cubiertas seleccionadas en la antigua Unión Soviética y Europa tras el accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J and Andersson KG (1996). Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33 (2), 107-116.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

15 Lijado de paredes de madera

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre las paredes exteriores de madera de edificios dentro de áreas habitadas, y reducir la dosis por inhalación debidas a material resuspendido de estas superficies. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las paredes exteriores de madera de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>El nivel de contaminación sobre una pared de madera (pintada), puede reducirse mediante lijado utilizando una lijadora de mano eléctrica. Este proceso de abrasión, que se utiliza normalmente para limpiar las superficies antes de pintar, elimina una delgada capa superficial (de unos pocos mm) y la contaminación asociada.</p> <p>Puede ser necesario rematar o extraer los clavos de fijación salientes antes de la operación. Normalmente es necesario volver a dar un acabado superficial (por ejemplo, pintar) después de llevar a cabo el procedimiento.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, de manera que la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material de fijación (ver Hoja de datos 21) es recomendable antes de su implementación, para limitar el peligro de resuspensión.</p> <p>La contaminación posterior de la superficie debida a los contaminantes resuspendidos será insignificante, de manera que no es necesario repetir la aplicación.</p> |
| Objeto de interés | Paredes externas de madera (pintadas) de edificios altamente contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos emisores beta y gamma de vida larga. No debería tenerse en cuenta para la eliminación de radionucleidos de vida corta solamente. Ver Tabla 1.1 para más información sobre radionucleidos. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño. Adecuada para áreas pequeñas (por ejemplo, casas) y áreas grandes (por ejemplo, edificios industriales/escuelas, etc.). |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. El retraso en su aplicación permitirá la migración horizontal de los contaminantes hacia el interior de la pared, aunque este efecto es improbable que sea significativo en el caso de paredes pintadas. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidad por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Protección del patrimonio cultural de edificios catalogados y de importancia histórica. |
| Restricciones del entorno | Uso sobre edificios catalogados e históricos. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 1.5 y 2.5 si se implementa esta opción poco después del depósito. La repetición de su aplicación es improbable que aporte un incremento significativo al FD. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externas debidas a las paredes exteriores de madera de los edificios se reducirá en aproximadamente el mismo valor que el FD. |
| Reducción de la resuspensión | Las concentraciones de actividad resuspendida en el aire se reducirán en el mismo valor que el FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tamaño de aerosol del contaminante (las partículas grandes pueden ser eliminadas más fácilmente). La eficacia de la abrasión mecánica disminuye con el tiempo trascurrido tras el depósito, ya que la contaminación puede migrar horizontalmente hacia el interior de la superficie. Esto dependerá de la permeabilidad de la superficie de la pared. La habilidad del operario y el grado de abrasión. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Una lijadora eléctrica. Esta podría ser una pieza de equipamiento especializada o un taladro de mano montado con discos de papel de lija o lana de acero para lijar (coste en torno a 100 €). Andamios o plataformas elevadoras para edificios altos. Vehículos de transporte para edificios altos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

15 Lijado de paredes de madera

| | |
|---|---|
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro eléctrico (se pueden utilizar grupos electrógenos móviles si no hay disponible suministro eléctrico). |
| Consumibles | Lana de acero o papel de lija para colocar en el taladro. Combustible y recambios para los grupos electrógenos, si son necesarios. |
| Habilidades | Posiblemente solo sean necesarias unas pocas instrucciones. |
| Precauciones de seguridad | Para edificios altos: línea de vida y cascos de seguridad. Es esencial la protección respiratoria. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | En torno a 0.1 kg m ⁻² de residuos sólidos, los cuales puede que sean muy difíciles de recoger. Nota. Algunas lijadoras llevan incorporados recogedores de polvo que funcionan con distintos grados de eficacia. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Las reducciones en la tasa de dosis externa gamma poco después de la descontaminación de las paredes del edificio recibida por un miembro del público que viva en un área habitada, se podría esperar que estuvieran alrededor del 5 % tras el depósito en condiciones secas. Tras un depósito en condiciones húmedas, las reducciones en las tasas de dosis serán despreciables. Se trata de un valor ilustrativo y solo debería utilizarse para dar una idea de la posible eficacia de esta opción y compararla con otras opciones. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La eficacia y consistencia en la aplicación de la opción. Es necesario limpiar con cuidado la parte inferior de las paredes, ya que son estas superficies las que proporcionan la mayor dosis a un individuo que se encuentre cerca del edificio. Si las superficies alrededor del edificio han sido descontaminadas después del tratamiento. El número de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El comportamiento de la población en el área y el tiempo que pasan los individuos cerca o dentro de edificios de madera. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición que podrían afectar a los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida al ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede ser superior a los niveles normales) • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y el uso de equipos de protección personal (EPP) puede controlar las dosis debidas a estas vías. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. Peligro beta/gamma: Para radionucleidos que presentan un peligro por radiación beta/gamma, la dosis externa a los trabajadores debido a la contaminación en el ambiente será unas pocas veces mayor que las dosis al público durante el periodo de implementación. Incluso en condiciones de mucho polvo, la dosis por inhalación debida a material resuspendido solo hará una pequeña contribución a la dosis total del trabajador. Peligro alfa: Para radionucleidos que presentan un peligro por radiación alfa, la dosis por inhalación a los trabajadores debida a material resuspendido será normalmente unas pocas veces mayor que las dosis al público durante el periodo de implementación. La dosis externa debida a la contaminación en el ambiente se puede ignorar. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona) Excluido el tiempo de montaje del andamio, si es necesario. |
| Factores que influyen en los costes | Los siguientes factores influirán en el tiempo que lleva implementar la opción y con ello, en los costes laborales: El tiempo atmosférico. El tamaño del edificio. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. |

[Volver a la lista de opciones](#)

15 Lijado de paredes de madera

| | |
|------------------------|---|
| | El uso de equipos de protección personal (EPP) Además, los costes aumentarán si se necesitan andamios y si es necesario volver a pintar las paredes. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Ninguno. |
| Impacto social | La implementación hará que un área parezca limpia y con ello puede contribuir a la tranquilidad del público. La distribución de partículas de pintura contaminada en el medio ambiente puede ser inaceptable. |
| Experiencia práctica | Probada a escala real sobre paredes seleccionadas en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | Andersson KG, Roed J, Eged, K, <i>et al</i> (2003). Physical Countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark. Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). Strategies of decontamination. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3. Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). Practical Means for Decontamination 9 Years After a Nuclear Accident. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82 p. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

16 Cepillado y lavado de tejados

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta y las dosis por inhalación debidas a la contaminación sobre los tejados de los edificios en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de los tejados de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | El tejado se limpia utilizando cepillos rotatorios impulsados por aire comprimido disponibles comercialmente. La limpieza se lleva a cabo en un sistema cerrado tipo "caja" (blindado). El dispositivo se monta sobre una barra extensible que permite la operación desde la parte superior del tejado o, en el caso de edificios de una sola planta, desde el suelo. Los residuos contaminados se pueden segregar; el agua se puede filtrar y reciclar. La mayor parte de los residuos son sólidos (por ejemplo, musgo) que son recogidos. Es poco probable que la creación de polvo suponga un problema durante la implementación. |
| Objeto de interés | Tejados de edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada para los tejados de los edificios. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. No obstante, puede resultar eficaz hasta 10 años después del depósito, dependiendo del material del tejado y del nivel de escombros retirables sobre el mismo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por los posibles daños a la propiedad. Utilización sobre edificios catalogados e importantes. Acceso a la propiedad. Eliminación de residuos sólidos. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío (puede ser necesario calentar el agua). |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 2 y 7. La repetición de la aplicación es improbable que aporte un incremento significativo al FD. A corto plazo, el rango de FD mencionado puede considerarse el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y del Tritio, para los cuales, un lavado minucioso de las superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las contribuciones a la tasa de dosis externa gamma y beta debidas a los tejados de los edificios se reducirá en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie del tejado se puede asumir también que se reduce según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Material del tejado. Cantidad de escombros retirable sobre el tejado, por ejemplo, musgo, agujas de pino. Consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área entera. Implementación cuidadosa: se debe prestar especial cuidado a la limpieza de los canalones y bajantes de los tejados. Tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. Número de edificios en el área. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Equipo de lavado a presión con accesorio de cepillo rotatorio, filtros y tanque de recogida. Andamios y escaleras de mano o coche de bomberos con plataforma hidráulica. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. Suministro de agua. |
| Consumibles | Agua. Combustible para los grupos electrógenos y los vehículos de transporte. |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para trabajar en altura. |

[Volver a la lista de opciones](#)

16 Cepillado y lavado de tejados

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| Precauciones de seguridad | <p>Línea de vida.</p> <p>Cascos de seguridad.</p> <p>Debería recomendarse el uso de ropa impermeable.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujo desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> $2 \cdot 10^{-1} - 6 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$ de sólidos y 15 l m^{-2} de agua.</p> <p><i>Tipo:</i> Polvo y musgo (lodos).</p> <p>La cantidad de residuos depende de la cantidad de musgo y de otros escombros sobre el tejado. Debe tenerse cuidado de no bloquear los sumideros con el musgo, etc.</p> <p>El agua puede ser filtrada y reciclada.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | 10-15 | <5 | <5 | 0 | <5 | <5 | <5 |
| | Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área entera.</p> <p>Implementación cuidadosa. Se debe prestar especial cuidado a la limpieza de los canalones y colectores de los tejados. Debería tenerse cuidado de quitar la contaminación hacia el canalón del tejado y no solo dispersarla por el propio tejado.</p> <p>Tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipamiento contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación del polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones de las vías en cursiva no serán significativas y las dosis de estas vías pueden ser controladas mediante el uso de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y la eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | <p>$8 \text{ m}^2/\text{equipo.hr}$ (tamaño del equipo: 1 - 2 personas).</p> <p>La tasa de trabajo no incluye el montaje del andamio.</p> | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico</p> <p>La altura del edificio y la pendiente del tejado.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>El tipo de superficie, el número de canalones, etc.</p> | | | | | | | |
| Efectos secundarios | | | | | | | | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o el almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción tienen un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

16 Cepillado y lavado de tejados

| | |
|------------------------|--|
| Impacto social | <p>El cepillado y lavado de tejados hará que un área parezca limpia; la implementación puede proporcionar tranquilidad al público.</p> <p>Pueden producirse daños en los tejados a causa del cepillado y lavado.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a escala real en tejados seleccionados de diferentes tipos en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J and Andersson KG (1996). Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33 (2), 107-116.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, Ponomarjov AV, Varkovsky AN, Mishine AS, Vorobiev BF, Chesnokov AV, Potapov VN and Shcherbak SB (1996). <i>Decontamination in a Russian settlement</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-870, ISBN 87-550-2152-2.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

17 Limpieza de tejados con agua caliente a presión

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta y las dosis por inhalación debidas a la contaminación sobre los tejados de edificios en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies del tejado. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>El tejado se limpia con unas boquillas rotatorias impulsadas por agua caliente a alta presión. La limpieza se lleva a cabo en un sistema cerrado tipo "caja" (blindado). El dispositivo se monta sobre un carro que puede desplazarse sobre el tejado. Se opera desde la parte superior del tejado y desciende hacia abajo utilizando la manguera de agua a presión.</p> <p>Debería señalarse que el uso de agua más caliente (en torno a 80 °C) y detergente puede aumentar considerablemente la eficacia del procedimiento.</p> <p>Debe tenerse cuidado para no bloquear los sumideros con musgo, etc.</p> <p>El agua residual puede recogerse fácilmente mediante bajantes. Sin embargo, también se puede derivar hacia drenajes o pozos a través de canalones y colectores. Debería considerarse la limpieza de estos después de la implementación.</p> <p>La implementación de opciones en las superficies del terreno circundante también debería considerarse tras la limpieza del tejado si el agua contaminada es drenada en el terreno alrededor de los edificios. Si está prevista la implementación de cualquier otra opción a las superficies del terreno circundante, debería llevarse a cabo la limpieza del tejado en primer lugar.</p> |
| Objeto de interés | Tejados contaminados de edificios, tanto residenciales como industriales. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No adecuada para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de contaminación todavía se encuentra sobre las superficies. Sin embargo, la limpieza del tejado puede ser eficaz hasta 10 años después del depósito dependiendo del material del tejado y del escombros/vegetación retirables. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público, si es necesario.</p> <p>Uso en edificios catalogados o históricos.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo atmosférico extremadamente frío.</p> <p>El sistema constructivo del tejado debe resistir agua a alta presión.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 2 y 7 si se implementa esta opción poco después del depósito.</p> <p>A corto plazo, el FD citado puede considerarse el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y el Tritio, para los cuales un lavado minucioso de las superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación.</p> <p>Incluso después de 10 años, se puede lograr un FD de 2-4. El FD será más bajo para tejados de pizarra, cerámica y hormigón, más alto para los de pizarra tratada con silicio y, posiblemente, incluso mayor para los de aluminio/hierro.</p> <p>Si el tejado está cubierto por una capa superficial de musgo en el momento del depósito, casi toda la contaminación puede ser eliminada.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre los tejados descontaminados de los edificios se reducirá en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | N/A |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El material con el que está construido el tejado.</p> <p>La planeidad y estado de la superficie.</p> <p>La cantidad de musgo/escombros sobre el tejado.</p> <p>El tiempo de operación: cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será debido a la fijación de la contaminación a la superficie.</p> <p>La presión del agua, la cantidad de agua, la temperatura del agua (el agua más caliente es más eficaz), el uso de detergente.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

17 Limpieza de tejados con agua caliente a presión

| | |
|---|---|
| | <p>El cuidado puesto en quitar la contaminación hacia el canalón del tejado y no solo dispersarla por otras partes del propio tejado. Se debe poner especial cuidado en limpiar los canalones del tejado y los colectores exhaustivamente después de la implementación.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Carro de limpieza de tejados.</p> <p>Generador de agua caliente a alta presión.</p> <p>Andamios o plataformas elevadoras móviles para la operación desde el tejado.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento (y los residuos).</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Suministro de agua.</p> <p>Sistema de alcantarillado público.</p> <p>Carreteras para el transporte de equipamiento (y residuos).</p> |
| Consumibles | <p>Suministro eléctrico.</p> <p>Combustible y recambios para los grupos electrógenos si son necesarios (8 l h^{-1}) y vehículos de transporte.</p> <p>Agua (en torno a 30 l m^{-2}).</p> |
| Habilidades | Puede llevarse a cabo con pocas instrucciones – una persona en la parte superior del tejado y otra en el terreno administrando los suministros. Son necesarios profesionales para el trabajo sobre el tejado. |
| Precauciones de seguridad | <p>Para edificios altos: línea de vida y casco de seguridad.</p> <p>Debería recomendarse el uso de ropa impermeable, en particular en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <p>Genera unos 30 l m^{-2} de residuo líquido, con aproximadamente 0.2 kg m^{-2} de residuo sólido que contiene casi toda la contaminación. Los residuos pueden ser tóxicos (amianto).</p> <p>El agua se puede recoger por medio de las bajantes y se puede filtrar utilizando un filtro simple antes de eliminarla a través de los desagües, o puede ser reciclada.</p> |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Poco después de la descontaminación de la superficie del tejado se podrían esperar reducciones en torno al 7 - 8% en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada. Se trata de un valor ilustrativo y solo debería usarse para proporcionar una orientación de la posible eficacia de esta opción y para comparar opciones entre sí. Las reducciones de las dosis estimadas no incluyen ninguna dosis potencial futura que pueda surgir si el agua contaminada entra en el sistema de drenaje y posteriormente en el medio ambiente (ver el Apéndice C para más información). |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>Si las superficies del terreno bajo el tejado (sobre las que puede darse escorrentía) han sido descontaminadas después del tratamiento del tejado (especialmente si no hay canalones y el agua residual no se recoge).</p> <p>El número de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo que pasan los individuos cerca de los edificios.</p> <p>Los edificios industriales a menudo tienen tejados con poca pendiente, lo que da lugar a elevados niveles de contaminación y altas tasas de dosis.</p> |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. |

[Volver a la lista de opciones](#)

17 Limpieza de tejados con agua caliente a presión

| | |
|-------------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | <p>3 m² por equipo y hora (tamaño del equipo: 2 personas)</p> <p>La tasa de trabajo no incluye el montaje de andamios.</p> |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tamaño del edificio: tamaño de andamios/plataformas elevadoras móviles.</p> <p>La pendiente del tejado y la cantidad de escombros sobre el mismo.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>La habilidad del operario.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La limpieza del tejado generará agua residual contaminada. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Si el agua residual no se recoge, parte de la misma correrá por otras superficies (carreteras, suelo, césped, etc.). Estas pueden requerir una limpieza posterior, generando más residuos.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>La limpieza de tejados hará que los edificios parezcan más limpios; la implementación puede proporcionar tranquilidad al público.</p> <p>Pueden ser necesarios trabajos de reparación en los tejados, etc., aunque es improbable.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a escala real en tejados seleccionados de diferentes tipos en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

18 Sustitución de tejados

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta y las dosis por inhalación debidas a la contaminación en los tejados de edificios en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de los tejados junto con los materiales antiguos de los mismos. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>La cubierta contaminada de los tejados se sustituye con pizarras/tejas nuevas o limpiadas. Los canalones y colectores también tienen que ser retirados.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, de manera que es recomendable la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material fijador (ver Hoja de datos 20) antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión.</p> <p>Deberá comprobarse con cuidado la presencia de amianto antes de retirar los materiales del tejado.</p> |
| Objeto de interés | Tejados altamente contaminados de edificios residenciales e industriales. Esta opción es cara y requiere de mano de obra intensiva por lo que solo debería ser considerada si otras opciones no son apropiadas para el nivel de contaminación. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es aplicable para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, mientras el máximo de contaminación permanece sobre el tejado. Puede ser todavía eficaz hasta 10 años después del depósito dependiendo del material del tejado y los escombros retirables sobre el mismo. Además, las hojas y las agujas de pino puede que sigan contaminando el tejado con el tiempo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por posibles daños a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Uso en edificios catalogados e históricos.</p> |
| Restricciones del entorno | Vientos fuertes y tiempo húmedo puede que hagan la implementación de esta medida difícil debido al riesgo para los trabajadores. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Toda la contaminación del tejado debería quedar eliminada. Sin embargo, dependiendo de la naturaleza del material del tejado, una fracción de la contaminación (normalmente pequeña) puede que haya penetrado en la capa subyacente de los materiales de construcción de madera. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie del tejado se puede asumir que se reduce a cero. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo de material del tejado.</p> <p>El tiempo de aplicación (el material puede ser permeable hacia las vigas subyacentes).</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área entera.</p> <p>La implementación exhaustiva de la eliminación incluyendo canalones y colectores.</p> <p>El número de edificios en el área.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Dependiendo del tipo de superficie de tejado sobre la que se va a aplicar pueden ser necesarios martillos, cúteres, y herramientas para extraer clavos.</p> <p>Láminas de plástico para proteger el interior del edificio de la lluvia mientras se lleva a cabo el trabajo.</p> <p>Andamios o plataformas elevadoras móviles.</p> <p>Vehículos de transporte para equipamiento, materiales y residuos.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

18 Sustitución de tejados

| | |
|---|---|
| Consumibles | Nuevos materiales de techado (por ejemplo, tejas, pizarras y tela asfáltica). Combustible y recambios para los vehículos de transporte. |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para la sustitución de tejados. |
| Precauciones de seguridad | Línea de vida. Cascos de seguridad. Botas de seguridad. Puede ser necesaria protección respiratoria si el proceso genera polvo. Pueden ser necesarias medidas adecuadas de seguridad y protección respiratoria si hay amianto presente. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> 2 10 ¹ – 5 10 ¹ kg m ⁻² (según el tipo de tejado y material). <i>Tipo:</i> tejas, pizarras, tela asfáltica etc. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Poco después de la sustitución de la superficie del tejado, se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 9-11% en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada. La Figura 1.4 ofrece algunas indicaciones de la posible importancia de los tejados en la contribución a largo plazo a las dosis gamma externas. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área entera. El comportamiento de la población en el área. El número de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. Si las superficies de terreno bajo el tejado (sobre las que puede que se haya producido escorrentía) han sido descontaminadas después de la sustitución del tejado. El tiempo que pasan los individuos cerca de los edificios. Los edificios industriales a menudo tienen tejados con poca pendiente, lo que da lugar a niveles elevados de contaminación y altas tasas de dosis. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipamiento contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido del terreno y otras superficies (puede ser superior a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones de las vías en cursiva no serán significativas y las dosis de estas vías pueden controlarse mediante el uso de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 1 – 3 m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 2 personas) – dependiendo del tipo de tejado y material (excluido el montaje de los andamios). |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La altura del edificio. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. El tipo de material del tejado. El uso de equipos de protección personal (EPP). El uso de andamios. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de residuos generados por la implementación de esta opción puede que tenga un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. La gran cantidad de residuos producidos puede hacer que esta opción no sea viable si no es implementada a pequeña escala. |

[Volver a la lista de opciones](#)

18 Sustitución de tejados

| | |
|------------------------|---|
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación de grandes cantidades de residuos contaminados.</p> <p>Se pueden producir daños en los edificios al sustituir el tejado.</p> <p>Impacto positivo en la industria relacionada con la construcción de tejados.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a escala real en edificios seleccionados de diferentes tipos en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Morgan CJ (1987). <i>Methods and cost of decontamination and site restoration following dispersion of plutonium in a weapon accident</i>. Aldermaston, AWE, SCT Laboratory.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p</p> <p>Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, Ponomarjov AV, Varkovsky AN, Mishine AS, Vorobiev BF, Chesnokov AV, Potapov VN and Shcherbak SB (1996). <i>Decontamination in a Russian settlement</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-870, ISBN 87-550-2152-2.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

19 Limpieza con chorro de arena

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas gamma y beta y las dosis por inhalación debidas a la contaminación de las fachadas de los edificios en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies exteriores del edificio. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>La limpieza con chorro de arena de las paredes eliminará una fina capa junto con la contaminación. Para eliminar el riesgo de traslocación de la contaminación sobre la pared, la limpieza debe empezar por la parte superior. Se recomienda la limpieza con chorro de arena húmedo (aunque el chorro de arena seco es normalmente casi igual de eficaz, la resuspensión de contaminantes es difícil de controlar).</p> <p>La arena se inyecta en un sistema de agua a alta presión y se rocía sobre la superficie, a la que se accede mediante andamios o coche do bomberos con escala. Se monta una bomba sobre el terreno que alimenta a las mangueras en el andamio o la plataforma. Es improbable que sea viable recoger el agua usada para la limpieza con chorro de arena. Parte del agua residual empapará el terreno o pasará a los drenajes.</p> <p>La creación de polvo durante la implementación es improbable que suponga un problema, de manera que no son necesarios métodos para reducir el peligro causado por la resuspensión para los trabajadores. Estos deberían estar protegidos del agua pulverizada.</p> <p>Si las paredes están lo suficientemente contaminadas como para necesitar tratamiento, las superficies de terreno alrededor del edificio estarán casi con toda seguridad también fuertemente contaminadas, por lo que se recomienda además la consideración de opciones de recuperación para estas superficies.</p> <p>Si está prevista la implementación de cualquier otra opción para las superficies de terreno circundante, la limpieza con chorro de arena de las fachadas debería implementarse en primer lugar.</p> |
| Objeto de interés | Fachadas de edificios altamente contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. Sin embargo, la limpieza con chorro de arena de las fachadas de los edificios puede ser eficaz hasta 10 años después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad (por ejemplo, inundación).</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Legislación sobre eliminación de residuos.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros edificios históricamente importantes.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo atmosférico extremadamente frío (puede ser necesario calentar el agua).</p> <p>Las paredes deben ser impermeables si se utiliza chorro de arena húmedo.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 4 y 10 si se implementa poco después del depósito.</p> <p>La eficacia puede que se reduzca con el tiempo tras el depósito, ya que la contaminación profundiza en el material y es más difícil de eliminar.</p> <p>La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo del FD.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externas gamma y beta debidas a las fachadas descontaminadas de edificios se reducirán en un factor similar al FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá en el mismo valor que el FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La presión del agua.</p> <p>El tipo de arena aplicada.</p> <p>El tipo, planeidad y estado de la superficie.</p> <p>La aplicación consistente de agua y arena sobre el área contaminada (es decir, la habilidad del operario).</p> <p>El cuidado en la aplicación: es necesario tener cuidado para quitar la contaminación de las paredes y no solo dispersarla por la superficie. Las partes inferiores de las paredes tienen que ser limpiadas con mucho cuidado ya que son estas superficies las que proporcionarán</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

19 Limpieza con chorro de arena

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | <p>la mayor dosis a un individuo en las proximidades del edificio.</p> <p>El número de edificios en la zona, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Depende de si el agua residual se filtra antes de su eliminación.</p> <p>El equipamiento usado para la limpieza con chorro de arena puede incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> -aparato de lavado a presión de 150 bar (2000 psi). -alimentador de abrasivo en seco. -generador. -láminas para protección. -tanques. -bandejas. -filtros. -bomba. -cisterna de succión. -andamios con escaleras de mano para acceso adicional a la cubierta. -vehículos de transporte. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos).</p> <p>Suministro de agua.</p> <p>Sistema de alcantarillado público.</p> | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Suministro de agua.</p> <p>Arena.</p> <p>Combustible y recambios para generadores y vehículos de transporte.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar el equipo de limpieza con chorro de arena. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Para edificios altos: línea de vida y cascos de seguridad.</p> <p>Debería ser recomendado el uso de ropa impermeable y gafas de seguridad, en particular en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Debería considerarse el uso de equipos de protección personal (EPP) para proteger a los trabajadores frente al agua pulverizada.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> 3 kg m⁻² de sólidos y 50 l m⁻² agua.</p> <p><i>Tipo:</i> Polvo, arena y agua.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 5-10 | <5 | 5-10 | <5 | 0 | <5 | <5 | <5 |
| <p>Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica. Las reducciones de dosis estimadas no incluyen ninguna potencial dosis futura que pueda surgir si el agua contaminada entra en el sistema de drenaje y posteriormente en el medio ambiente. (ver Apéndice C para más información).</p> | | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

19 Limpieza con chorro de arena

| | | |
|---|--|---|
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El cuidado en la aplicación. Cuidado necesario para quitar la contaminación de las fachadas y no solo dispersarla por la superficie. Es necesario también limpiar con mucho cuidado las partes inferiores de las paredes, ya que son estas superficies las que proporcionarán la mayor dosis a un individuo en las proximidades del edificio.</p> <p>Si el terreno alrededor del edificio y otras superficies sobre las cuales se puede haber producido escorrentía han sido descontaminadas después de tratar el edificio (si los residuos no se han recogido).</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo trascurrido antes de la implementación. El impacto de la limpieza de las superficies sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre dichas superficies debido a la meteorización natural.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo y agua pulverizada generados. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 15 – 20 (excluida la colocación de los andamios) |
| | Tamaño del equipo (personas) | 3 – 6 (depende del equipamiento usado para el acceso a los edificios y de si el agua residual es recogida). |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>El uso de equipos de protección personal (EPP).</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | <p>La limpieza con chorro de arena producirá agua residual contaminada, de manera que será necesaria la monitorización en la planta de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>La eliminación o el almacenamiento de los residuos resultantes de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Si no se recoge el agua residual, parte de la misma correrá sobre otras superficies (carreteras, suelo, césped, etc.), dando como resultado una transferencia de contaminación que puede que requiera una limpieza posterior, generando más residuos.</p> | |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>La limpieza con chorro de arena de edificios hará que un área parezca limpia; su implementación puede dar tranquilidad al público.</p> <p>Puede ser necesario reparar algunas fachadas.</p> | |
| Experiencia práctica | <p>Probado a escala real en fachadas seleccionadas en la antigua Unión Soviética y Europa tras el accidente de Chernobyl.</p> | |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas.</i> Risø-R-</p> | |

[Volver a la lista de opciones](#)

19 Limpieza con chorro de arena

| | |
|------------------------|--|
| | <p>1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J and Andersson KG (1996). Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33 (2), 107-116.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

20 Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación debidas a material resuspendido de las superficies exteriores de los edificios en áreas habitadas a corto o largo plazo. |
| Otros beneficios | Puede que reduzca también las dosis beta. |
| Descripción de la opción de gestión | Se pulveriza pintura acrílica (por ejemplo Vinacryl) sobre la superficie mediante inyección de aerosol. Es posible que sea utilizado antes de la implementación de otras opciones de recuperación solamente para proteger a los trabajadores del peligro de resuspensión. |
| Objeto de interés | Fachadas y cubiertas de edificios. |
| Radionucleidos de interés | Radionucleidos emisores alfa. Puede ser utilizada para otros radionucleidos si las condiciones suponen que las dosis por inhalación debidas a material resuspendido pueden ser motivo de preocupación. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito pero puede utilizarse en cualquier momento tras el depósito. La fijación es efectiva durante el periodo en el cual se mantiene la integridad de la cobertura. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se asume que el factor de descontaminación (FD) es 1. Si posteriormente se retira, parte de la contaminación puede irse con el material de fijación. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Mientras el material de fijación está colocado, se reducirán las tasas de dosis externa beta junto a la superficie en un factor que dependerá de la energía de las emisiones beta; esta opción será más eficaz en la reducción de tasas de dosis asociadas con emisiones beta de energías bajas. No es eficaz en la reducción de tasas de dosis externa gamma junto a la superficie. |
| Reducción de la resuspensión | Mientras el material de fijación está colocado, la actividad resuspendida en el aire adyacente a la superficie se reducirá cerca del 100%. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tiempo atmosférico. La correcta y consistente aplicación de material de fijación en el área contaminada. El tipo y estado de la superficie. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. La duración del periodo de tiempo durante el cual el material de fijación está colocado. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Bomba de pulverización sin aire y compresor. Acceso mediante andamios o coche de bomberos con plataforma hidráulica. Vehículos de transporte para el equipamiento. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos. |
| Consumibles | Pintura acrílica (por ejemplo, Vinacryl). Combustible y recambios para vehículos de transporte. |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar los equipos. |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Si la pintura es retirada posteriormente: cantidad - $4 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$; tipo – pintura. |

[Volver a la lista de opciones](#)

20 Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies)

| Dosis | | |
|---|--|--|
| Dosis evitadas | No estimadas. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>El número de edificios en el área.</p> <p>La duración del periodo de tiempo durante el cual el material de fijación está colocado.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 1.5 10 ² – 2 10 ² (excluida la colocación de los andamios) |
| | Tamaño del equipo (personas) | 3 – 6 (depende del tamaño del área, el equipamiento usado y el acceso a las superficies) |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La altura del edificio.</p> <p>El tamaño del área</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | Si la pintura se retira posteriormente, la eliminación o el almacenamiento de los residuos puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. | |
| Impacto social | <p>Aceptación de que la contaminación permanezca en el sitio.</p> <p>Aceptación de futuras dosis potenciales a aquellos que lleven a cabo el mantenimiento de las superficies externas de los edificios.</p> | |
| Experiencia práctica | Ninguna. | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR</p> | |
| Versión | 2 | |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . | |

[Volver a la lista de opciones](#)

21 Tratamiento de paredes con nitrato de amonio

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir la dosis externa debida a la contaminación por Cesio de las fachadas de los edificios en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Reducirá la contaminación por Cesio en las fachadas de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | Se pulveriza una solución de nitrato de amonio en agua (0.1 M) sobre la pared objetivo a baja presión utilizando una bomba y una manguera. El ion amonio se intercambia con los iones de Cesio, reduciendo la contaminación en la pared. Debería aplicarse una corriente de agua continua sobre la pared para transportar la contaminación hasta el terreno. El lavado debe comenzar por la parte superior de la pared, la cual debe lavarse posteriormente con agua limpia para minimizar la corrosión. Sería ideal que la superficie de terreno bajo la pared se tratara posteriormente. Puede que sea necesaria la protección de los trabajadores frente al agua/espray químico. La utilización de productos químicos puede provocar un peligro medioambiental. |
| Objeto de interés | Fachadas de edificios altamente contaminadas. |
| Radionucleidos de interés | Cesio. |
| Escala de aplicación | Apropiada para áreas pequeñas y grandes. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito cuando el máximo de contaminación todavía está sobre las superficies y antes de que la lluvia pueda lavar la contaminación sobre las superficies adyacentes. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Restricciones al uso de productos químicos. Protección del patrimonio cultural de edificios catalogados y otros históricamente importantes. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío (es necesario calentar la solución). Las paredes deben ser impermeables. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 1.5 y 2 si la opción se implementa poco después del depósito. La aplicación repetida es improbable que proporcione un incremento significativo en el FD. Se podrían esperar todavía valores del FD de hasta 1.5 incluso hasta unos pocos años después del depósito. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta debidas a las paredes de los edificios se reducirán en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | N/A |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tiempo de pulverización. El tipo de aerosol contaminante (forma química del Cesio). La permeabilidad de la superficie (las paredes deben ser impermeables). El cuidado empleado en quitar la contaminación hacia el terreno y no solo dispersarla sobre la superficie. La parte inferior de la pared debería limpiarse especialmente bien, ya que es la más cercana a cualquier persona en el exterior que esté cerca del edificio. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Bomba y manguera para el agua. Vehículos de transporte para el equipamiento. Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro de agua: podría ser un problema en periodos de sequía. Suministro eléctrico. Combustible y recambios para los vehículos de transporte. |

[Volver a la lista de opciones](#)

21 Tratamiento de paredes con nitrato de amonio

| | |
|---|--|
| Consumibles | Nitrato de amonio. Agua. |
| Habilidades | Solo son necesarias unas pocas instrucciones. Este método no es recomendable como autoayuda, ya que el nitrato de amonio es un producto químico altamente reactivo. |
| Precauciones de seguridad | Para edificios altos: línea de vida, cascos de seguridad. Procedimientos de seguridad habituales para la manipulación de productos químicos. Se recomienda el uso de ropa de seguridad impermeable, en particular en áreas altamente contaminadas. Puede considerarse la protección respiratoria para proteger a los trabajadores del agua pulverizada contaminada en condiciones de viento. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Aproximadamente 6 l m ² de residuos líquidos. Es imposible recoger el agua residual. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Condiciones secas: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 4 % en la tasa de dosis externa recibida por un miembro del público que viva en un área habitada poco después del tratamiento de las superficies del edificio. Condiciones húmedas: las reducciones en las tasas de dosis serán despreciables. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la ejecución del procedimiento en un área extensa. Si las superficies alrededor del edificio son descontaminadas después del tratamiento de dicho edificio. El número de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El comportamiento de la población en el área y el tiempo que pasan los individuos cerca o en el interior de los edificios. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipamiento contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido del terreno y otras superficies (puede ser superior a los niveles normales). Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 12 m ² por equipo y hora (tamaño del equipo: 1 persona). La tasa de trabajo no incluye el tiempo variable para el montaje de los andamios/el transporte. |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. El tamaño del edificio. La accesibilidad. La proximidad de suministros de agua. El uso de equipos de protección personal (EPP). Nota: los costes aumentarán si se necesitan andamios, y si es necesario volver a pintar las paredes. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | El agua residual contaminada debida al tratamiento con nitrato de amonio correrá sobre otras superficies (carreteras, suelo, césped, etc.), dando lugar a una transferencia de contaminación que puede que requiera una limpieza posterior, generando más residuos. El nitrato de amonio puede alcanzar las aguas subterráneas. El nitrato de amonio puede corroer las superficies de acero. |
| Impacto social | Consecuencias estéticas de los cambios de color de las superficies de los edificios, por ejemplo, el cambio de color de superficies metálicas pintadas. |
| Experiencia práctica | Probado a escala real en fachadas seleccionadas en la antigua Unión Soviética y en Europa tras el accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

21 Tratamiento de paredes con nitrato de amonio

| | |
|------------------------|--|
| | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J and Andersson KG (1996). Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33 (2), 107-116.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Sandalls FJ (1987). Removal of radiocaesium from urban surfaces. <i>Radiation Protection Dosimetry</i>, 21, (1/3), 137-140.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

22 Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre las superficies del suelo y las paredes en el interior de grandes edificios públicos (por ejemplo, estaciones de ferrocarril) en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminación de contaminación de las superficies de suelo y paredes en el interior de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Las técnicas que es posible que sean consideradas son la limpieza con chorro de agua a alta presión, la limpieza con chorro de arena y la retirada y reemplazo de superficies.</p> <p>Para la limpieza con chorro de agua a alta presión (y con chorro de arena), se bombea agua a 2000 psi a través de una tobera de mano. Todas las máquinas tienen la capacidad de introducir detergente, otros productos químicos o arena junto con agua fría o caliente. Para áreas extensas como las estaciones de ferrocarril, se podría utilizar agua bombeada a 5000 psi con el equipo montado sobre un remolque pesado. El agua se presuriza mediante una bomba montada en un tráiler con suministro de agua procedente de tanques, hidrantes o camiones de bomberos.</p> <p>Para áreas extensas sin accesos exteriores, se podrían utilizar cisternas de succión para recoger el agua residual. Puede que sea factible la segregación de los residuos contaminados mediante la filtración del residuo acuoso.</p> <p>Debería considerarse la limpieza del terreno circundante/otras superficies o la implementación de otras opciones apropiadas si no se recoge el agua residual.</p> |
| Objeto de interés | Las superficies interiores de los edificios suficientemente robustas como para soportar la limpieza/eliminación agresiva. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Grandes áreas de superficies interiores en edificios públicos, en particular en aquellos abiertos al exterior, por ejemplo, estaciones de ferrocarril. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de la contaminación todavía está sobre las superficies. Sin embargo, estas técnicas pueden ser eficaces hasta varios años después del depósito, aunque esto dependerá de la limpieza y la meteorización que haya tenido lugar antes de la aplicación. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad (por ejemplo, inundación).</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>Uso en edificios catalogados, edificios históricos o en áreas de conservación.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Las superficies deben ser impermeables y resistir agua a alta presión.</p> <p>Se necesitan drenajes cercanos si no se va a recoger el agua.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se podría esperar un factor de descontaminación (FD) de hasta 10 para la limpieza con chorro de agua a alta presión y con chorro de arena de superficies de hormigón, piedra y ladrillo (suelos y paredes), si se implementa la opción unas pocas semanas tras el depósito y no ha tenido lugar una limpieza previa.</p> <p>Para superficies lisas, como azulejos, linóleo y vidrio, se podría esperar un FD más alto.</p> <p>La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD si se implementa exhaustivamente la primera vez.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta directamente sobre las superficies limpiadas se reducirá en un factor similar al FD. |
| Reducción de la resuspensión | Se podría esperar una reducción en la resuspensión desde las superficies limpiadas del mismo valor que el FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo y estado de la superficie.</p> <p>El tipo de método aplicado.</p> <p>El tiempo de operación (el polvo contaminado migra con el tiempo).</p> <p>La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito.</p> <p>Si se ha llevado a cabo ya alguna limpieza.</p> <p>La eficacia del equipo y la presión del agua utilizados.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

22 Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas

| | | |
|---|--|---|
| | El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | |
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | (Depende de si el agua residual es filtrada antes de su eliminación.) Aparato de lavado a presión de 2000 psi. Generador de 7.5 kW. Filtro. Bomba. Cisterna de succión con accesorio de aspiración. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. Martillos neumáticos. | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. Suministros de agua y electricidad. Sistema de alcantarillado público. | |
| Consumibles | Agua. Combustible y recambios para los generadores y los vehículos de transporte. Arena para la limpieza con chorro de arena. | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar la maquinaria. | |
| Precauciones de seguridad | Debería recomendarse el uso de ropa impermeable, en particular en áreas altamente contaminadas. Debería considerarse el uso de equipos de protección personal (EPP), incluida protección respiratoria, para proteger a los trabajadores del agua pulverizada contaminada. | |
| Residuos | | |
| Cantidad y tipo | Variable dependiendo de la técnica y de si se recoge el agua. Chorro de arena: 3 kg m ⁻² de residuos sólidos (polvo + filtros) + el agua usada. | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | Se puede encontrar una orientación de las reducciones de dosis posibles en la Hoja de datos 14 (limpieza con chorro de agua a alta presión del exterior de los edificios), y en la Hoja de datos 19 (limpieza con chorro de arena del exterior de los edificios). Sin embargo, debería señalarse que estas técnicas solo reducirán las dosis a las personas mientras están en el interior y las dosis evitadas dependerán de las situaciones específicas y de las superficies limpiadas. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La aplicación consistente sobre el área contaminada. La limpieza adecuada de otras superficies y objetos interiores. La cantidad de tiempo que se pasa en el interior de los edificios. | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 1 10 ² para limpieza con chorro de agua a alta presión y con chorro de arena. |
| | Tamaño del equipo (personas) | 1-2 personas para la limpieza con chorro de agua a alta presión/chorro de arena. Si se recoge el agua, serán necesarias más personas. |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. | |

[Volver a la lista de opciones](#)

22 Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas

| | |
|------------------------|--|
| | <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>El uso de equipos de protección personal (EPP).</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de residuos contaminados a través del sistema de alcantarillado público.</p> <p>La limpieza hará que un área parezca limpia.</p> <p>Puede ser necesaria la reparación de algunas superficies.</p> |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos desarrollada a partir de las hojas de datos separadas para superficies interiores del <i>UK Handbook 2005</i> denominadas “<i>High Pressure Hosing</i>”, “<i>Sandblasting</i>” y “<i>Scabbling</i>” para el Manual EURANOS 2007 y posteriores.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

23 Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor)

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de las superficies interiores de los edificios y los objetos que estos contienen, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies y objetos en el interior de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Están disponibles una variedad de métodos de limpieza (por ejemplo, fregado, lavado, limpieza con vapor). El método elegido dependerá de las superficies objetivo y de los materiales.</p> <p>El fregado de madera puede que sea desaconsejable, ya que el agua contaminada se introduce entre las grietas, contaminando la superficie inferior.</p> <p>Durante el lavado con jabón/limpieza con vapor, las máquinas pulverizan una solución de detergente caliente o fría sobre superficies tapizadas, alfombras, tapices, etc., que es aspirada antes de que el tejido se sature.</p> <p>Los residuos contaminados producidos pueden ser recogidos.</p> |
| Objeto de interés | Las superficies interiores de edificios residenciales y otros edificios y los objetos del hogar que sean suficientemente robustos como para ser limpiados con agua. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Adecuada para eliminar radionucleidos de vida corta si se implementa con rapidez. |
| Escala de aplicación | Superficies interiores de todo tipo de edificios. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en las pocas semanas después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos, y sobre objetos valiosos.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Los limpiadores de vapor, que utilizan agua muy caliente, no son adecuados para todas las superficies.</p> <p>La utilización de productos químicos puede provocar un peligro medioambiental.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 5 para alfombras, tapicerías, ropa de cama y demás ropa del hogar, si se implementa pocas semanas después del depósito y no ha tenido lugar una limpieza previa. Sin embargo, la variación del FD es posible que sea amplia.</p> <p>Se pueden esperar los mayores FD en la limpieza de superficies lisas, como la madera, los azulejos, el linóleo, el vidrio y las paredes empapeladas y pintadas.</p> <p>En cambio, es probable que los factores de descontaminación sean mucho menores para la limpieza de superficies rugosas, como el hormigón, la piedra y el ladrillo (suelos, paredes y techos), y para alfombras, tapicerías, mantas, ropa de cama y demás ropa del hogar.</p> <p>La reducción en las dosis externas recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerá de la cantidad de tiempo que pasen los individuos dentro de los edificios (ver más adelante).</p> <p>La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD si se implementa exhaustivamente la primera vez.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta directamente sobre las superficies se reducirán en un factor similar al FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá en un valor similar al del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo y estado de la superficie.</p> <p>El tipo de método de limpieza utilizado.</p> <p>El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, ya que el polvo contaminado puede migrar con el paso del tiempo).</p> <p>El tamaño y la reactividad química de las partículas contaminantes.</p> <p>La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito.</p> <p>Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

23 Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor)

| | | |
|---|---|--|
| | <p>La eficacia del equipo.</p> <p>El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo.</p> <p>La adecuada limpieza de otras superficies y objetos interiores.</p> <p>La capacidad para limpiar exhaustivamente las superficies y los objetos.</p> | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | |
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | <p>Máquinas de fregado con dispensador de solución.</p> <p>Limpiadores de vapor.</p> <p>Máquinas pulverizadoras.</p> <p>Aspiradoras en húmedo.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Suministro eléctrico.</p> <p>Suministro de agua.</p> <p>Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos.</p> | |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para los vehículos.</p> <p>Agua y detergente.</p> | |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Sin embargo, es importante que se expliquen completamente los objetivos específicos y los problemas potenciales asociados a las técnicas de limpieza. | |
| Precauciones de seguridad | <p>Puede ser necesaria protección respiratoria en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Guantes y monos de trabajo.</p> <p>Puede que sea necesaria ropa impermeable.</p> <p>Procedimientos de seguridad habituales para la manipulación de productos químicos.</p> | |
| Residuos | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> 1.3 kg m².</p> <p><i>Tipo:</i> Agua, detergente, polvo, filtros contaminados.</p> | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | No se han estimado reducciones de dosis para esta opción. Debería señalarse que la limpieza de superficies y objetos solo reducirá dosis a las personas mientras estén en el interior y dependerán en gran medida de la situación específica y las superficies limpiadas. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La aplicación consistente en toda el área contaminada; es necesario asegurar la limpieza de las aristas y las esquinas.</p> <p>La aplicación de una limpieza adecuada a otras superficies y objetos interiores.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que quedará menos contaminación sobre las superficies debido al desgaste natural.</p> <p>El cuidado en la aplicación. Es necesario quitar la contaminación de las superficies y no solo dispersarla sobre la misma o sobre otra superficie.</p> <p>La cantidad de tiempo que se pasa en los edificios.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente interior y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | <100 (depende del método de limpieza y las superficies objetivo) |

[Volver a la lista de opciones](#)

23 Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor)

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> <p>La limpieza de la casa y la cantidad de contenidos.</p> <p>La cantidad de polvo/suciedad sobre las superficies.</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> | |
| Impacto social | <p>Posible daño a las superficies de los edificios y a los objetos.</p> <p>Impacto positivo de la limpieza de las casas.</p> <p>Mantenimiento del uso de los espacios interiores.</p> | |
| Experiencia práctica | <p>Ninguna.</p> | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> | |
| Versión | <p>2</p> | |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos desarrollada a partir de las hojas de datos separadas del <i>UK Handbook 2005</i> denominadas "Scrubbing" y "Foam/shampoo/steam cleaning" para el Manual EURANOS 2007 y posteriores.</p> | |

[Volver a la lista de opciones](#)

24 Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre objetos, mobiliario y accesorios interiores, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies interiores de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | Se pueden eliminar objetos, accesorios y mobiliario de los edificios. Se debería fijar la contaminación a la superficie antes de la eliminación si hay riesgo de que el polvo extienda la contaminación aún más durante el proceso de retirada. Para las tapicerías, las alfombras no fijadas y la ropa de casa, se puede utilizar un spray fijador con un 10 % de glicerol en agua; se puede pulverizar cera pulida sobre el mobiliario con acabados lisos para evitar que el polvo se disperse durante la retirada. |
| Objeto de interés | Objetos, accesorios y mobiliario en el interior de los edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Pequeñas áreas en el interior de todo tipo de edificios. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en pocas semanas después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. El uso en edificios catalogados y otros edificios históricos, y sobre objetos valiosos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Si se llevan a cabo con cuidado, estos procesos de retirada pueden eliminar virtualmente toda la contaminación sobre las superficies/objetos que han sido retirados. Sin embargo, el proceso de retirar objetos puede dar lugar a la dispersión de contaminación sobre otras superficies a través del polvo. La cantidad de contaminación redistribuida dependerá de la medida en que la contaminación se haya contenido antes de la retirada. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tipo y el estado de la superficie, ya que afectarán a la cantidad de polvo que es posible que se produzca y, con ella, la dispersión de la contaminación. El tiempo de operación (cuanto mayor sea el tiempo entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será ya que el polvo contaminado puede haber migrado a cualquier otra parte). La aplicación consistente sobre el área contaminada; es necesario asegurar que toda la superficie del material es eliminada. La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito. Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza. La recogida de todo el material superficial eliminado. El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita mucho menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. La cantidad de mobiliario y enseres y las tasas de ventilación. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Cinceles neumáticos. Para retirar baldosas de linóleo del hormigón: herramienta (cuchilla de largo alcance) para eliminar las piezas pegadas a los suelos de hormigón. Sierras para quitar los suelos de madera. Vehículos de transporte para equipamiento y residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro eléctrico. Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte. |

[Volver a la lista de opciones](#)

24 Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos

| | |
|---|---|
| Habilidades | Posiblemente solo sean necesarias unas pocas instrucciones. El método podría, por lo tanto, ser implementado, al menos parcialmente, como medida de autoayuda por parte de la población, previa instrucción por parte de las autoridades y la provisión del equipamiento de seguridad y de otro tipo requerido. |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. Pueden ser necesarios equipos de protección personal (EPP), incluyendo protección respiratoria, bajo condiciones de mucho polvo para reducir el peligro de resuspensión. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> 20 – 30 kg m ⁻² de área de suelo; retirada de accesorios: 50 kg m ⁻² . <i>Tipo:</i> residuos sólidos (por ejemplo, camas, muebles, tapicerías, adornos, accesorios, aparatos eléctricos, etc.). |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado las reducciones de dosis para esta opción. Debería señalarse que la retirada de accesorios, mobiliario, etc. solo reducirá las dosis a las personas mientras están en el interior y dependerán en gran medida de la situación específica y de las superficies limpiadas. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en toda el área. El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. La aplicación de una limpieza adecuada a otras superficies y objetos. El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido al lavado natural y a la limpieza. El cuidado en la aplicación. Es necesario eliminar la contaminación del edificio y no solo dispersarla por otras superficies. La cantidad de tiempo que se pasa en el interior de los edificios. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el medio ambiente. • exposición externa debida al ambiente interior y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo hr): normalmente 20 – 30; tamaño del equipo (personas): 2 |
| Factores que influyen en los costes | El tamaño del edificio. El estado de los objetos a eliminar. La accesibilidad. La utilización de equipos de protección personalizada (EPP). |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | Posible daño a las superficies de los edificios. Impacto positivo de la limpieza de las casas. |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315. Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR. |

[Volver a la lista de opciones](#)

24 Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

25 Eliminación de superficies

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de las superficies interiores de los edificios (principalmente suelos, paredes y techos), en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies interiores de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Pintura: se puede eliminar del yeso subyacente utilizando lijadoras comerciales. La técnica probablemente producirá mucho polvo. Sin embargo, puede controlarse utilizando una cámara de vacío improvisada colocada alrededor de la lijadora y conectada a una aspiradora.</p> <p>Yeso: se puede eliminar utilizando cinceles neumáticos de largo alcance.</p> <p>Papel pintado: se puede eliminar mediante raspado manual o utilizando separadores de vapor.</p> <p>Linóleo y moqueta: si no está pegado al suelo, se puede retirar de manera manual relativamente fácil. Las baldosas de linóleo pegadas a suelos de hormigón puede que requieran maquinaria para su eliminación. Para las piezas pegadas sobre tableros de madera, la eliminación incluye la retirada tanto de las piezas como de los tableros, quitando los clavos y arrancando dichos tableros del suelo.</p> <p>Suelos de madera: se quitan haciendo palanca por las juntas transversales de los tableros del suelo y cortándolos con sierras.</p> |
| Objeto de interés | Superficies interiores de los edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Pequeñas áreas de superficies interiores de cualquier tipo de edificio. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en pocas semanas tras el depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos, y sobre objetos valiosos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Si se llevan a cabo con cuidado, estos procesos pueden eliminar virtualmente toda la contaminación de la superficie. Sin embargo, el proceso de eliminación del papel, la pintura o el yeso pueden dar lugar a la dispersión de la contaminación sobre otras superficies a través del polvo. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD, si se implementa exhaustivamente la primera vez. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tipo y estado de la superficie. El tiempo de operación (cuanto mayor sea el tiempo entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, ya que el polvo contaminado puede migrar con el tiempo). La aplicación consistente en el área contaminada; es necesario asegurar que todo el material de la superficie es eliminado. La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito. La recogida de todo el material superficial eliminado. Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza. El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. La cantidad de mobiliario y tapicerías y las tasas de ventilación. La limpieza adecuada de otras superficies y objetos interiores. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

25 Eliminación de superficies

| Viabilidad | | | |
|---|--|---|-------------------------------|
| Equipamiento | Rascadores. Separadores de vapor. Cinceles neumáticos. Para retirar baldosas de linóleo del hormigón: herramienta (cuchilla de largo alcance) para eliminar las piezas pegadas a los suelos de hormigón. Sierras para eliminar suelos de madera. Vehículos de transporte para equipamiento y residuos. | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Redes de suministro eléctrico. Suministro de agua. Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte. Agua y detergente. | | |
| Habilidades | Posiblemente solo sean necesarias unas pocas instrucciones. | | |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. Puede ser necesaria ropa impermeable. Pueden ser necesarios equipos de protección personal (EPP) en condiciones de mucho polvo para reducir el peligro de resuspensión. Serán necesarias medidas de seguridad adecuadas y protección respiratoria si se detecta la presencia de amianto. | | |
| Residuos | | | |
| Cantidad y tipo | Superficie eliminada | Cantidad (kg m ⁻² de residuo sólido) | Tipo |
| | Papel pintado | 1.0 | Papel pintado |
| | Pintura | 1.0 | Pintura y polvo de yeso |
| | Yeso | 1 10 ¹ | Yeso |
| | Moqueta | 4 10 ⁻¹ | Moqueta |
| | Linóleo / baldosas de linóleo (sobre hormigón) | 4 | Baldosas y tableros de madera |
| | Suelo de madera | 7 | Madera |
| | No será posible recoger el agua resultante de la separación con vapor de manera que habrá que cubrir las superficies del suelo y posteriormente eliminar dicha cobertura. | | |
| Dosis | | | |
| Dosis evitadas | No se han estimado las reducciones de dosis para esta opción. Se puede encontrar alguna orientación sobre las posibles reducciones de dosis en la Hoja de datos 27 (lavado). Sin embargo, debería señalarse que la eliminación de superficies solo reducirá las dosis a las personas mientras están en el interior y dependerán en gran medida de la situación específica y de las superficies limpiadas. | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en toda el área. El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. La aplicación de una adecuada limpieza a otras superficies y objetos interiores. El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido al lavado natural y a la limpieza. El cuidado en la aplicación. Es necesario quitar la contaminación de las superficies y no solo dispersarla por dichas superficies o sobre otras distintas. La cantidad de tiempo que se pasa en el interior de los edificios. | | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente interior y al equipo contaminado. | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

25 Eliminación de superficies

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Superficie eliminada | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) |
| | Papel pintado | 60 (raspado) 230 (raspado y arrancado) 400 (arrancado) |
| | Pintura | 5 (paredes) 4 (techos) |
| | Yeso | 25 (paredes y techos) |
| | Moqueta | 100 |
| | Linóleo | 80 |
| | Baldosas de linóleo (sobre hormigón) | 20 |
| | Baldosas de linóleo (sobre madera) | 200 |
| | Suelo de madera | 3 |
| | Tamaño del equipo (personas): 2 para la retirada de la moqueta; 1 para las técnicas restantes. | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> <p>El orden de las casas y la cantidad de enseres.</p> <p>El grosor de la superficie de revestimiento/capas de papel pintado y/o pintura.</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede que tengan un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. | |
| Impacto social | Posible daño a las superficies de los edificios. Impacto positivo de la limpieza de las casas. | |
| Experiencia práctica | Ninguna. | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> | |
| Versión | 2 | |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. | |

[Volver a la lista de opciones](#)

26 Limpieza por aspiración

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de las superficies interiores de los edificios y los objetos que estos contienen, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies y objetos en el interior de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se puede utilizar cualquier aspiradora doméstica o industrial para limpiar superficies y objetos tales como muebles. Sin embargo, es preferible usar aspiradoras equipadas con filtros HEPA del 99 % de eficacia en partículas de 0.6 µm para evitar la resuspensión. Se utilizan aparatos eléctricos con alimentación de la red.</p> <p>Dará lugar a levantamiento de polvo, en particular en ambientes con mucho polvo. La utilización de agua para humedecer la superficie o de un material de fijación es improbable que sea viable, de manera que deberían proporcionarse equipos de protección personal (EPP) a los trabajadores para reducir el peligro de resuspensión.</p> |
| Objeto de interés | Superficies (especialmente suelos) y objetos en el interior de los edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. En particular los radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada para superficies interiores de todo tipo de edificios. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se aplica en pocas semanas después del depósito, cuando el máximo de contaminación se encuentra sobre las superficies. Sin embargo, durante periodos más largos, la contaminación puede ser arrastrada hacia el interior de los edificios, por ejemplo, en las suelas de los zapatos, de manera que la aplicación repetida regularmente puede ser beneficiosa, hasta que el suelo o césped circundante sean limpiados. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos, y sobre objetos valiosos.</p> |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>La aspiración de alfombras/moquetas normalmente tendrá un efecto insignificante sobre las concentraciones de actividad de partículas contaminadas en el rango de tamaños en torno a 1µm (como se ha podido observar con la contaminación inicial por Cesio tras el accidente de Chernobyl). Sin embargo, una parte de la contaminación se adherirá rápidamente a partículas de polvo doméstico de mayor tamaño (>5 µm), para las cuales es eficaz la aspiración. Las partículas de suelo introducidas en los edificios por los zapatos o por el viento serán relativamente grandes y, por ello, fáciles de eliminar.</p> <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 5, aunque es posible que este valor varíe de manera considerable. El rango mencionado asume que la opción se implementa en pocas semanas tras el depósito y que no ha tenido lugar una limpieza previa.</p> <p>La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD si se implementa exhaustivamente la primera vez.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie limpiada se reducirán en un valor similar al FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá en un valor similar al FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo y estado de la superficie.</p> <p>El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, ya que el polvo contaminado migrará con el tiempo).</p> <p>La aplicación consistente en el área contaminada; es necesario asegurar que se limpian las aristas y las esquinas.</p> <p>La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito.</p> <p>Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza.</p> <p>La eficacia del equipo (depende del tamaño de aerosol del contaminante).</p> <p>El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo.</p> <p>La cantidad de mobiliario y enseres en el interior de los edificios, y las tasas de ventilación.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

26 Limpieza por aspiración

| | | | | | | | | |
|---|--|--|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | Aspiradora con accesorio para cepillado y accesorio para limpieza de tapizados (preferiblemente aspiradoras industriales con filtros HEPA). Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro eléctrico. Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte. | | | | | | | |
| Habilidades | Posiblemente solo sean necesarias unas pocas instrucciones. El método podría ser implementado por la población como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades y la provisión de equipamiento de seguridad (EPP). | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Será necesario el uso de equipos de protección personal (EPP), incluyendo protección respiratoria, debido a la posible producción de polvo. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> $5 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-2}$. <i>Tipo:</i> Polvo, filtros contaminados (40 g m ⁻² por año) que pueden tener niveles elevados de contaminación. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Depósito seco: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 15 % en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área contaminada poco después de la descontaminación de las superficies interiores del edificio. | | | | | | | |
| | Depósito húmedo: las reducciones en las tasas de dosis serán despreciables. | | | | | | | |
| | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| <5 | <5 | <5 | <5 | 35-40 | <5 | 35-40 | <5 | |
| Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica, asumiendo que se aplica la medida a todas las superficies interiores. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La aplicación consistente en toda el área contaminada; es necesario asegurar la limpieza de las aristas y las esquinas.</p> <p>El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. El depósito inicial también está condicionado por la cantidad de mobiliario y las tasas de ventilación.</p> <p>La aplicación de una adecuada limpieza a otras superficies y objetos interiores.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido al lavado natural.</p> <p>La cantidad de tiempo que se pasa en el interior de los edificios.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente interior y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | $1.2 \cdot 10^2 - 1.5 \cdot 10^2$ Para la limpieza de tapicerías y ropa del hogar: $25 \text{ m}^2 \text{ hr}^{-1}$ | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

26 Limpieza por aspiración

| | | |
|-------------------------------------|---|---|
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> <p>La limpieza de la casa y la cantidad de contenidos.</p> <p>La cantidad de polvo/suciedad sobre las superficies.</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. | |
| Impacto social | Posible daño a las superficies interiores de los edificios y a los objetos que contienen. Impacto positivo de la limpieza de las casas. | |
| Experiencia práctica | Se ha informado sobre varios ensayos a pequeña escala antes/después del accidente de Chernobyl en 1986. | |
| Referencias clave | <p>Allott RW, Kelly M and Hewitt CN (1994). A model of environmental behaviour of contaminated dust and its application to determining dust fluxes and residence times. <i>Atmospheric Environment</i>, 28, (4), 679-687.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Roed J (1985). <i>Relationships in indoor/outdoor air pollution</i>. Risø-M-2476, Risø national Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Tschiersch J (ed.) (1995). Deposition of radionuclides, their subsequent relocation in the environment and resulting implications. EUR 16604 EN, ISBN 92-827-4903-7.</p> | |
| Versión | 2 | |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Información de la hoja de datos “<i>Intensive indoor surface cleaning</i>” del proyecto STRATEGY 2006 dividida en dos hojas de datos – “<i>vacuum cleaning</i>” y “<i>washing</i>” en el <i>UK Handbook 2005</i> y posteriores.</p> | |

[Volver a la lista de opciones](#)

27 Lavado

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de las superficies interiores de los edificios y los objetos que estos contienen, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies y objetos en el interior de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Superficies duras y objetos: lavar con agua templada/caliente y detergente. Las superficies tienen que ser aclaradas para eliminar cualquier resto de contaminación/detergente.</p> <p>Superficies tapizadas: se puede rociar una solución de detergente sobre la superficie y luego aspirarla.</p> <p>Paredes y techos: deberían cubrirse para evitar la contaminación del suelo con el agua residual. Debería ser posible recoger el agua usada.</p> |
| Objeto de interés | Superficies duras, especialmente suelos, y objetos en el interior de los edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. En particular los radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Superficies interiores de todo tipo de edificios. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en pocas semanas después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos, y sobre objetos valiosos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 5, aunque es posible que este valor varíe ampliamente. El FD mencionado supone que esta opción se implementa en pocas semanas después del depósito y que no ha tenido lugar una limpieza previa. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD si se implementa exhaustivamente la primera vez. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta debidas a las superficies internas de los edificios se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá en un valor similar al FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo y estado de la superficie.</p> <p>El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, ya que el polvo contaminado migrará con el tiempo).</p> <p>La aplicación consistente en el área contaminada; es necesario asegurar que se limpian las aristas y las esquinas.</p> <p>La cantidad de polvo sobre las superficies en el momento del depósito.</p> <p>Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza.</p> <p>La eficacia del equipo.</p> <p>La solubilidad de los radionucleidos contaminantes.</p> <p>El tiempo atmosférico (se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo).</p> <p>La adecuada limpieza de otras superficies y objetos interiores.</p> <p>El cuidado en la aplicación. Es necesario quitar la contaminación de las superficies y no solo dispersarla por las mismas u otras superficies.</p> <p>La habilidad al lavar los objetos.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Aspiradora húmeda. Pulverizador de detergente. |

[Volver a la lista de opciones](#)

27 Lavado

| | | | | | | | | |
|---|---|---|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | Cepillo rotatorio. Láminas de PVC para cobertura. Vehículos de transporte para equipamiento y residuos. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro eléctrico. Suministro de agua. Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para el transporte de vehículos. Agua y detergente. | | | | | | | |
| Habilidades | Es posible que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. El método podría, al menos parcialmente, ser implementado por parte de la población como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades y la provisión de equipamiento de seguridad y de otro tipo que sea necesario. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. Puede ser necesario el uso de ropa impermeable. Procedimientos normales de seguridad en la manipulación de productos químicos. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Cantidad: $1 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-2}$. Tipo: Polvo y agua. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | <5 | <5 | <5 | 35-40 | <5 | 30-35 | <5 |
| Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica, asumiendo que se aplica la medida a todas las superficies interiores. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La aplicación consistente en toda el área contaminada; es necesario asegurar la limpieza de las aristas y las esquinas. El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior en condiciones de depósito húmedo. La aplicación de una adecuada limpieza a otras superficies y objetos interiores. El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido al lavado natural. El cuidado en la aplicación. Es necesario quitar la contaminación de las superficies y no solo dispersarla por las mismas u otras superficies. La cantidad de tiempo que se pasa en el interior de los edificios. | | | | | | | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente interior y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo ($\text{m}^2/\text{equipo.hr}$) | 15 – 30 dependiendo del tipo de superficie. | | | | | | |
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

27 Lavado

| | |
|-------------------------------------|---|
| Factores que influyen en los costes | <p>El tamaño del edificio.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> <p>La limpieza de la casa y la cantidad de contenidos.</p> <p>La cantidad de polvo/suciedad sobre las superficies.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o el almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto sobre el medio ambiente. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | <p>Posible daño a las superficies de los edificios y a los objetos que contienen.</p> <p>Impacto positivo de la limpieza de las casas.</p> |
| Experiencia práctica | Se ha informado sobre varios ensayos a pequeña escala antes/después del accidente de Chernobyl en 1986. |
| Referencias clave | <p>Allott RW, Kelly M and Hewitt CN (1994). A model of environmental behaviour of contaminated dust and its application to determining dust fluxes and residence times. <i>Atmospheric Environment</i>, 28, (4), 679-687.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Roed J (1985). <i>Relationships in indoor/outdoor air pollution</i>. Risø-M-2476, Risø national Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Tschiersch J (ed.) (1995). Deposition of radionuclides, their subsequent relocation in the environment and resulting implications. EUR 16604 EN, ISBN 92-827-4903-7.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Información de la hoja de datos “<i>Intensive indoor surface cleaning</i>” del proyecto STRATEGY 2006 dividida en dos hojas de datos – “<i>vacuum cleaning</i>” y “<i>washing</i>” en el <i>UK Handbook 2005</i> y posteriores.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

28 Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de objetos personales y valiosos, en áreas habitadas. Esta opción es posible que se aplique principalmente para la tranquilidad del público, ya que la exposición debida a objetos personales y valiosos es improbable que suponga una contribución significativa a la dosis de un individuo. |
| Otros beneficios | Una limpieza suave eliminará la contaminación de los objetos valiosos en el interior de los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Puede que no sea posible o apropiado llevar a cabo la descontaminación de objetos valiosos, tales como piezas de museos, tapices, joyería, cuadros, etc., debido al riesgo de dañar los objetos durante el proceso de limpieza. Hay varias opciones alternativas disponibles para estos objetos.</p> <p>Si los objetos se colocan dentro de habitaciones o instalaciones de almacenamiento que no sean de acceso general para las personas, se pueden lograr reducciones significativas en las tasas de dosis a las personas en habitaciones y edificios contiguos.</p> <p>Algunos objetos que no requieran de manipulación, podrían ser blindados o cubiertos. Por ejemplo, las piezas de museo se podrían colocar detrás de vidrio plomado o Perspex; pueden seguir siendo expuestas, pero el público estará blindado frente a la contaminación. Se podrían llevar a cabo técnicas especializadas de limpieza suave sobre los objetos.</p> |
| Objeto de interés | Objetos valiosos y personales en el interior de los edificios. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. La opción de almacenamiento será especialmente adecuada para radionucleidos de vida corta. El blindaje y el recubrimiento serán particularmente eficaces para los emisores beta. |
| Escala de aplicación | Objetos pequeños. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a los objetos.</p> <p>Propiedad y acceso a los objetos.</p> <p>Uso en edificios catalogados y otros edificios históricos.</p> |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | La contaminación sobre la superficie de los objetos solo se reducirá si se aplica una limpieza suave. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Limpieza: reduce las tasas de dosis superficial debidas a los objetos.</p> <p>Blindaje y almacenamiento: reduce las tasas de dosis externa gamma y beta; el grado de reducción dependerá del grosor del blindaje utilizado. Se dan algunos ejemplos más adelante.</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Muro de ladrillo u hormigón:</i> grosores de 10-20 cm reducirán la tasa de dosis a la mitad en el exterior de una habitación para emisores gamma de media a alta energía. - <i>Plomo:</i> alrededor de 10 mm de plomo serán suficientes para reducir a la mitad la tasa de dosis gamma para muchos radionucleidos. Unos pocos centímetros podrían reducir las tasas de dosis gamma en un factor de 10. - <i>Vidrio:</i> 1-5 mm absorberán totalmente las partículas beta para el rango de energías que pueden ser preocupantes. El plástico (Perspex) necesitaría tener al menos el doble de grosor para conseguir el mismo efecto. - <i>Aire:</i> también puede utilizarse como material de blindaje. 1-2 m de aire reducirán las tasas de dosis a niveles muy bajos para los emisores beta débiles; sería necesaria una distancia de hasta 10 m para conseguir reducciones elevadas en la tasa de dosis para emisores beta de alta energía como el $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$. Para emisores gamma, las tasas de dosis disminuirán en el aire proporcionalmente al cuadrado de la distancia, por ejemplo, si se mantiene a las personas a 5 metros de un objeto, la tasa de dosis que recibirán debida a ese objeto será 25 veces inferior que si estuvieran a un metro de distancia. |
| Reducción de la resuspensión | <p>Eliminación de contaminación: reduce la contaminación disponible para la resuspensión.</p> <p>Blindaje: en un recipiente estrechamente ajustado detendrá toda la resuspensión.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

28 Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos

| | | |
|---|--|---|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tipo, estado y fragilidad del objeto.</p> <p>El tiempo de operación (la contaminación migra hacia otros lugares con el tiempo).</p> <p>La aplicación consistente de la limpieza sobre todo el objeto.</p> <p>La cantidad de polvo sobre la superficie del objeto en el momento del depósito.</p> <p>Si ya se ha llevado a cabo alguna limpieza.</p> <p>El peso del material de blindaje que puede utilizarse y cualquier necesidad de que sea posible observar los objetos claramente.</p> | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | |
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | <p>Equipo de limpieza especializado para una limpieza suave.</p> <p>Equipo de elevación especializado, si se van a almacenar los objetos.</p> | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Suministros eléctrico y de agua.</p> <p>Instalaciones de almacenamiento.</p> | |
| Consumibles | Materiales de blindaje. | |
| Habilidades | <p>Habilidades de limpieza especializada.</p> <p>Habilidades de manejo especializado.</p> | |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. | |
| Residuos | | |
| Cantidad y tipo | La limpieza generará agua residual. Es poco probable que se trate de grandes cantidades. | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | No estimadas. La limpieza de los objetos solo reduce las dosis a las personas mientras están en el interior y dependerán en gran medida de la situación específica y de los objetos y las otras superficies limpiadas. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>El tiempo atmosférico en el momento del depósito; se deposita menos material en el interior durante el depósito húmedo.</p> <p>La adecuada limpieza de otras superficies y objetos interiores.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el suelo y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • resuspensión incrementada de la actividad depositada en el ambiente interior que da lugar a la inhalación de polvo generado. <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | La limpieza de objetos valiosos es posible que lleve un tiempo significativamente mayor que la limpieza normal (ver Hoja de datos 27). |
| | Tamaño del equipo (personas) | N/A |

[Volver a la lista de opciones](#)

28 Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos

| | |
|-------------------------------------|---|
| Factores que influyen en los costes | Ninguno. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Ninguno. |
| Impacto social | Posible daño a objetos con especial importancia para el patrimonio cultural. Imposibilidad de acceso a los objetos y edificios por parte del público. |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | Crick MJ and Dimbylow PJ (1985). GRINDS – A computer program for evaluating the shielding provided by buildings from gamma radiation emitted from radionuclides deposited on ground and urban surface. NRPB, Chilton, NRPB-M119. Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P and Hickman C (2002). Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. <i>Radiation Protection Dosimetry</i> , 98 , (1), 1-168. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

29 Limpieza con chorro de agua

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de carreteras, áreas exteriores pavimentadas y con otro tipo de superficies duras. |
| Descripción de la opción de gestión | Se utilizan equipos ordinarios de mangueras para limpiar el material contaminado de las superficies duras exteriores. La contaminación, la suciedad/polvo y el agua se arrastran directamente hacia los desagües o sobre el césped y los bordes del suelo. Probablemente no sea viable recoger el agua de las áreas pavimentadas limpiadas con chorro de agua. Sin embargo, puede que sea posible recogerla mediante el uso de barreras, es decir, reteniendo el agua dentro de un área y permitiendo con ello el bombeo posterior a camiones cisterna (esta opción no se considera más allá en esta hoja de datos). |
| Objeto de interés | Superficies duras exteriores (carreteras, pavimentos, caminos, campos de juegos, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de carretera o área pavimentada. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en una semana después del depósito, ya que la eficacia depende de la eliminación de polvo de la superficie. Es improbable que tenga un efecto significativo para tiempos posteriores. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad (por ejemplo, inundación). Acceso a la propiedad. Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público. Uso en emplazamientos catalogados y áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. La limpieza con chorro de agua no debería ser considerada en superficies duras que no estén provistas de desagües. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 5 tras el depósito seco y de 2 tras el depósito húmedo si se implementa la opción en una semana tras dicho depósito y no ha llovido de manera significativa. Los factores de descontaminación para tiempos mayores serán significativamente menores, a menos que la superficie no haya estado sometida a ningún "tráfico" y no haya llovido. Puesto que la meteorización reducirá la contaminación de estas superficies rápidamente, la eficacia del método decrecerá con el tiempo y después de unos pocos meses es improbable que la eliminación de contaminación sea significativa. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD. A corto plazo, el FD mencionado se puede considerar el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y el Tritio, para los cuales una limpieza exhaustiva de superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre una superficie "pavimentada" se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La cantidad de polvo sobre la superficie en el momento de la contaminación. El tipo, planeidad y estado de la superficie. Las cunetas deben ser cuidadosamente limpiadas, ya que la contaminación tiende a acumularse en ellas. El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, debido a la fijación de la contaminación a la superficie y la migración del polvo desde la misma). El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. El tiempo atmosférico: la eficacia se reduce significativamente después de la lluvia. |

[Volver a la lista de opciones](#)

29 Limpieza con chorro de agua

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | <p>La consistencia en la aplicación de agua sobre el área contaminada.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies adyacentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Manguera.</p> <p>Hidrante o boca de extinción de incendios.</p> <p>Bomba, si es necesario.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Suministro de agua. | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Agua.</p> <p>Combustible y recambios para el equipamiento.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para manejar las bocas de extinción de incendios y las mangueras. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Sería recomendable el uso de ropa impermeable, en particular en áreas altamente contaminadas.</p> <p>Equipos de protección personalizada (EPP), incluyendo protección respiratoria.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> $1 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-1}$ kg m⁻² de sólidos en hasta 50 l m⁻² de agua.</p> <p><i>Tipo:</i> polvo y agua.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | 5-10 | <5 | 5-10 | <5 | 5-10 | <5 | 5-10 |
| Las reducciones de dosis son solo para fines ilustrativos y para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área grande.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación en las superficies pavimentadas adyacentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación del agua pulverizada generada. <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | <p>$1 \cdot 10^3$ m²/equipo.hr.</p> <p>(Tamaño del equipo: 2 – 3 personas dependiendo del tipo de equipamiento utilizado).</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

29 Limpieza con chorro de agua

| | |
|-------------------------------------|---|
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La escorrentía de la limpieza con chorro de agua (si no se recoge esta) fluirá sobre otras superficies o directamente se irá por los desagües. El impacto medioambiental de la eliminación del agua residual procedente de la limpieza directamente por los desagües puede ser más fácil de controlar y monitorizar en la planta de tratamiento de aguas residuales que la escorrentía a largo plazo producida por la lluvia.</p> <p>La eliminación de los residuos surgidos de la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores puede dar lugar a la generación de más residuos si posteriormente estas áreas requieren descontaminación.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema público de alcantarillado.</p> <p>La limpieza con chorro de agua de carreteras y pavimentos hará que un área parezca limpia; su implementación puede dar tranquilidad al público.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Ensayos a pequeña escala realizados en Dinamarca y Estados Unidos bajo diversas condiciones para examinar la influencia de, por ejemplo, la carga de polvo de la calle.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Roed J (1990). <i>Deposition and removal of radioactive substances in an urban area</i>. Final report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, ISBN 87-7303-514-9</p> <p>Roed J and Andersson KG (1996). Clean-up of urban areas in the CIS countries contaminated by Chernobyl fallout. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33 (2), 107-116.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Warming L (1984). Weathering and decontamination of radioactivity deposited on concrete surfaces. Risø-M-2473, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

30 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de carreteras, áreas exteriores pavimentadas y con otro tipo de superficies duras. |
| Descripción de la opción de gestión | Se aplica agua a alta presión sobre la superficie (aproximadamente 2000 psi). Es improbable que sea viable recoger el agua residual generada en la limpieza con chorro de agua a alta presión, con lo que los residuos se irán directamente a través de los desagües. Sin embargo, si la recogida es viable, la segregación del polvo contaminado del agua es posible mediante el filtrado del residuo acuoso. Es posible que haya que proteger a los trabajadores frente al agua pulverizada. |
| Objeto de interés | Superficies duras exteriores (carreteras, pavimentos, caminos, campos de juego, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de carretera o área pavimentada. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. Sin embargo, la limpieza con chorro de agua a alta presión puede ser eficaz hasta varios años después del depósito, dependiendo de la cantidad de tráfico e intensidad de las precipitaciones. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad (por ejemplo, inundación). Acceso a la propiedad. Eliminación de agua contaminada a través del sistema de alcantarillado público. Uso en emplazamientos catalogados o en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. La limpieza con chorro de agua no debería ser considerada si las superficies duras no están provistas de desagües y si el agua residual no va a ser recogida. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se pueden lograr factores de descontaminación (FD) de 7 tras el depósito seco y de 3 tras el depósito húmedo si se implementa la opción poco después de dichos depósitos. Puesto que la contaminación será eliminada rápidamente de estas superficies mediante procesos naturales, la eficacia del método decrecerá con el tiempo, dependiendo de la cantidad de tráfico y la lluvia. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. A corto plazo, el FD mencionado puede considerarse el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y el Tritio, para los cuales un lavado exhaustivo de superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre una superficie "pavimentada" se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tipo, planeidad y estado de la superficie. Las cunetas deben ser cuidadosamente limpiadas, ya que la contaminación tiende a acumularse en ellas. El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, debido a la fijación de la contaminación a la superficie). La consistencia en la aplicación de agua sobre el área contaminada. La cantidad de superficies duras exteriores en el área. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies adyacentes. La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

30 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | | | | | | | | | |
|--|--|--|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| Viabilidad | | | | | | | | | |
| Equipamiento | | <p>Aparato de lavado a presión de 2000 psi. Bomba. Filtro. Vehículos de transporte. Generador de 7.5 kW. (Depende de si el agua residual se va a recoger o no).</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | | <p>Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). Suministro de agua. Sistema de alcantarillado público.</p> | | | | | | | |
| Consumibles | | <p>Agua. Arena. Combustible y recambios para el equipamiento, los generadores y los vehículos de transporte.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | | <p>Personal cualificado esencial para manejar las mangueras a alta presión y las cisternas de succión.</p> | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | | <p>Debería recomendarse el uso de ropa impermeable, en particular en áreas altamente contaminadas. Puede ser recomendable la utilización de equipos de protección personal (EPP), incluyendo protección respiratoria, debido a la proximidad del agua contaminada pulverizada. Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | | |
| Cantidad | | <p>$2 \cdot 10^{-1} - 4 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$ de sólidos; 20 l m^{-2} de agua.</p> | | | | | | | |
| Tipo | | <p>Polvo y agua. Es improbable que sea posible recoger el agua residual.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | | <5 | 10-15 | <5 | 5-10 | 0 | <5 | <5 | 5-10 |
| <p>Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica.</p> | | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de superficies duras exteriores en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural. Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies pavimentadas adyacentes. La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

30 Limpieza con chorro de agua a alta presión

| | | |
|-------------------------------------|---|---|
| | <p>(puede aumentar con respecto a los niveles normales).</p> <ul style="list-style-type: none"> • inhalación de polvo y agua pulverizada generados. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 30 – 60 (excluido el montaje de andamios) |
| | Tamaño del equipo (personas) | 2 – 5 (depende del equipamiento usado para el acceso a los edificios) |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores puede dar lugar a la generación de más residuos, si posteriormente estas áreas requieren descontaminación.</p> | |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema público de alcantarillado.</p> <p>Aceptación de la eliminación de los residuos filtrados del agua contaminada.</p> <p>La limpieza con chorro de agua a alta presión de carreteras y pavimentos hará que un área parezca limpia; su implementación puede proporcionar tranquilidad al público.</p> | |
| Experiencia práctica | Se han llevado a cabo experimentos a pequeña escala en Dinamarca. | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> | |
| Versión | 2 | |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . | |

[Volver a la lista de opciones](#)

31 Eliminación y sustitución de superficies

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de carreteras y áreas pavimentadas. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Las formas más comunes de superficies duras exteriores son el asfaltado y el enlosado de hormigón.</p> <p>Hay maquinaria estándar para eliminar superficies asfaltadas disponible en varios tamaños. Estas máquinas tienen un tambor rotatorio con dientes de corte que lleva el material arrancado (en torno a 40 mm de grosor) hacia el centro del tambor, donde es empujado hasta una cinta transportadora y de ahí a un camión de carga. Si las máquinas no tienen cepillos para la recogida de escombros, deben añadirse o hay que realizar el barrido de los mismos de manera manual. Se pulveriza agua continuamente sobre el tambor para suprimir el polvo. La maquinaria típica para el mantenimiento de autovías puede eliminar una anchura en torno a los 2 m por pasada.</p> <p>La sustitución/repavimentación de las carreteras de asfalto u hormigón puede llevarse a cabo utilizando equipamiento estándar. Para la sustitución en áreas pequeñas, es posible utilizar métodos manuales, es decir, se deposita el asfalto en varios montones y se extiende mediante pala y rastrillo, y luego se apisona. Para áreas superficiales pequeñas también es posible utilizar un martillo neumático para levantar el asfalto existente y los escombros se pueden cargar a paladas en carretillas. Sin embargo, esto no se ha probado todavía.</p> <p>Se puede utilizar una pequeña excavadora <i>bobcat</i> para levantar las losas de hormigón. Estas son sustituidas a mano.</p> <p>La necesidad de volver a pavimentar las superficies asfaltadas y de hormigón dependerá de la profundidad del material eliminado y de otros factores, como la aceptación. El área puede ser repavimentada con asfalto laminado en caliente o con una máquina de pavimentado con hormigón.</p> <p>Es posible que esta opción levante polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material de fijación (Hoja de datos 32) antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión.</p> |
| Objeto de interés | Superficies duras exteriores (carreteras, pavimentos, caminos, campos de juego, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de carretera o área pavimentada. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. Sin embargo, la eliminación de superficies puede ser efectiva hasta 10 años después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en áreas de conservación o en emplazamientos catalogados. |
| Restricciones del entorno | Si la superficie de la carretera está combada, la profundidad del material eliminado no será uniforme. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 5-10. Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la proporción del área cubierta por superficies duras exteriores y del tiempo que pasan los individuos en esas áreas o cerca de ellas (ver más abajo). La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta y las de resuspensión sobre una superficie "pavimentada" se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La planeidad y el estado de las carreteras. La habilidad del operario. |

[Volver a la lista de opciones](#)

31 Eliminación y sustitución de superficies

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| | <p>La eliminación poco eficaz de la contaminación en torno a desagües y canales.</p> <p>La eliminación de los escombros de la superficie generados.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies adyacentes.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Requisitos | | | | | | | | |
| Equipamiento | El equipamiento utilizado para la retirada y sustitución de las superficies dependerá del tamaño del área a tratar. | | | | | | | |
| | Áreas pequeñas. | | | | Áreas grandes. | | | |
| | Raspadora de pequeña escala. Pala. Apisonadora. Carretilla. Camión. | | | | Raspadora con cinta transportadora. Máquina de pavimentado. Escoba para carreteras. Rodillo. Pala cargadora. Camión. | | | |
| | Vehículos de transporte para equipamiento y residuos. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Asfalto u hormigón, o losas de pavimento de hormigón.</p> <p>Dientes de carburo de tungsteno.</p> <p>Combustible y recambios para el equipamiento, los generadores y los vehículos.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar los equipos. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Guantes.</p> <p>Gafas de seguridad.</p> <p>Cascos de seguridad.</p> <p>Equipos de protección respiratoria (EPR).</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad | <p>Asfalto: en torno a 15 m² por cm eliminado.</p> <p>Losas de pavimentado (hormigón): en torno a 30 kg m⁻² por cm eliminado.</p> <p>Los residuos dependerán del grosor eliminado y la densidad del material.</p> | | | | | | | |
| Tipo | Losas de pavimentado, hormigón y asfalto. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | 15-20 | <5 | 10 | 0 | 5-10 | <5 | 10-15 |
| | Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

31 Eliminación y sustitución de superficies

| | | |
|-------------------------------------|--|--|
| | <p>debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies pavimentadas adyacentes.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | <p>Asfalto: 4 10² – 1 10³</p> <p>Losas de pavimentado (hormigón): 4 – 30</p> |
| | Tamaño del equipo (personas) | <p>Asfalto: 2 – 4; Losas de pavimentado (hormigón): 2</p> <p>Se necesita un equipo de 14 personas si se va a sustituir la superficie de una carretera, y un equipo de 4 para la sustitución de las losas de pavimentado.</p> |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La planeidad y el estado de la superficie (afecta a la profundidad de raspado).</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado/el tamaño del raspador/el equipo de barrido.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | <p>El estado de las carreteras y pavimentos puede ser mejorado suponiendo que el asfalto o el hormigón han sido colocados de manera adecuada.</p> <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> | |
| Impacto social | <p>El método de eliminación de cantidades tan grandes de residuos contaminados puede que no sea aceptable por parte de los residentes locales.</p> <p>La interrupción del acceso si la gente permanece en el área.</p> <p>Puede que mejore el estado de las carreteras.</p> | |
| Experiencia práctica | <p>Probado a pequeña escala en la antigua Unión Soviética, y en ensayos antes de Chernobyl en Estados Unidos.</p> | |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Barbier MM and Chester CV (1990). <i>Decontamination of large horizontal concrete surfaces outdoors</i>. Proc. Concrete Decontamination Workshop, 28-29 May 1980, CONF-800542, PNL-SA-8855.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Calvert S, Brattin H and Bhutra S (1984). <i>Improved street sweepers for controlling urban particulate matter</i>. A.P.T. Inc., 4901 Morena Blvd., Suite 402, San Diego, CA 97117, EPA-600/7-84-021.</p> <p>Roed J (1990). <i>Deposition and removal of radioactive substances in an urban area</i>. Final</p> | |

[Volver a la lista de opciones](#)

31 Eliminación y sustitución de superficies

| | |
|------------------------|---|
| | <p>report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, ISBN 87-7303-514-9.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Denominado "Road planing" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

32 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación debidas a material resuspendido de carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas, a corto o largo plazo (dependiendo del material de fijación utilizado). También se usa para evitar el aumento de la resuspensión durante la implementación de las opciones que dan lugar a polvo, especialmente en ambientes con mucho polvo. |
| Otros beneficios | Puede que también se reduzcan las dosis externas beta. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se puede utilizar agua, arena o materiales bituminosos para fijar la contaminación sobre las superficies duras exteriores. El procedimiento de implementación depende de qué material de fijación se utilice y del tamaño del área a tratar.</p> <p>Agua (fijación temporal): es improbable que sea eficaz con tiempo húmedo. El agua se rocía sobre la superficie desde un brazo aspersor montado sobre un vehículo. Se forma un menisco entre las partículas radiactivas y la superficie pavimentada; la tensión superficial evita la resuspensión.</p> <p>Arena (fijación temporal): para áreas pequeñas, se deposita arena a paladas de manera manual desde un camión sobre la superficie pavimentada. Para áreas extensas, se rocía en torno a 1 mm de arena sobre la superficie pavimentada usando un camión equipado con un aspersor rotatorio motorizado.</p> <p>Material bituminoso (fijación permanente): para áreas pequeñas, el material bituminoso caliente se rocía sobre la superficie. Se necesita un tanque con una capacidad de entre 2000 y 3000 litros, el cual se puede mover mediante un vehículo de tracción a las cuatro ruedas. El revestimiento es permanente. Para áreas extensas, el material bituminoso se rocía sobre la superficie mediante una máquina de revestimiento de superficies extensas. En ambos casos, si la superficie está húmeda, debería aplicarse una emulsión bituminosa. Al rociar el material, debería tenerse en cuenta la cerrajería (por ejemplo, las rejillas de los desagües) contenida en la superficie que se va a cubrir.</p> <p>Revestimiento polímero retirable: también proporcionará protección frente al peligro de resuspensión mientras está colocado (Hoja de datos 49).</p> <p>Dependiendo del objetivo (fijación a largo o corto plazo) y el material de fijación utilizado, la aplicación repetida puede ser necesaria para mantener la integridad del recubrimiento.</p> |
| Objeto de interés | Superficies duras exteriores (carreteras, pavimentos, caminos, campos de juego, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Radionucleidos emisores alfa. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de carretera o área pavimentada. |
| Tiempo de aplicación | Puede ser eficaz en cualquier momento tras el depósito; sin embargo, el máximo beneficio en términos de reducción de las dosis totales se consigue si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las superficies. La fijación es eficaz durante el periodo en el cual se mantiene la integridad del revestimiento. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Legislación sobre eliminación de residuos. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Esta opción no se aplica para limpiar una superficie. Se asume que el factor de descontaminación (FD) es 1. En la práctica, parte de la contaminación puede eliminarse junto con el material de fijación (al retirar este último).</p> <p>A largo plazo, debería tenerse en cuenta la necesidad de reparar la superficie y el acceso a los servicios subyacentes (por ejemplo, tuberías de gas/agua, cables).</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Mientras el material de fijación está colocado, se reducirán las tasas de dosis externa beta junto a la superficie; la reducción dependerá de la energía de las emisiones beta, del material de fijación y de su grosor (ver Sección 2.1 y el Apéndice A).</p> <p>La arena (2 mm) sería la más efectiva en la reducción de las tasas de dosis beta, mientras que el material bituminoso (1 mm) y el agua (1 mm) proporcionarán menos protección. Por ejemplo, para el ⁹⁰Sr y su hijo el ⁹⁰Y, que es un importante emisor beta, se podrían esperar reducciones del 90% para la arena, del 70% para el material bituminoso y del 45% para el agua.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

32 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | | | |
|---|---|---------------------------|---|
| | Esta opción no es eficaz en la reducción de tasas de dosis externa gamma junto a la superficie. | | |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire se reducirá en un factor cercano a 100 mientras el material de fijación está en su sitio. | | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones meteorológicas.</p> <p>La correcta aplicación del material de fijación en el área contaminada.</p> <p>El tipo, la planeidad y el estado de la superficie.</p> <p>La aplicación de agua y espuma no es adecuada para superficies en pendiente.</p> <p>La cantidad de superficie pavimentada.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>El periodo de tiempo durante el cual el material de fijación está colocado.</p> | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | |
| Viabilidad | | | |
| Equipamiento | <p>(Depende del material de fijación utilizado).</p> <p>Agua: se necesita un vehículo motorizado para la limpieza de calles.</p> <p>Arena: se necesita un camión, con un accesorio de aspersion montado y una pala cargadora.</p> <p>Material bituminoso: se necesita un rociador de material bituminoso en caliente o un rociador de emulsión en frío.</p> <p>En todos los casos, se necesitan vehículos de transporte para el equipamiento</p> | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). Suministro de agua. | | |
| Consumibles | Suministro de agua. Arena. Material bituminoso en caliente o emulsión bituminosa. Combustible y recambios para los vehículos de transporte y el equipamiento. | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para manejar el equipamiento. | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Debería recomendarse el uso de ropa impermeable cuando se utilice agua.</p> <p>Guantes y monos de trabajo para la aplicación del material bituminoso.</p> <p>Es necesario tomar precauciones para asegurar que las personas que realicen las conexiones a las redes de suministro de agua no lo contaminen de manera inadvertida, por ejemplo, por reflujos desde recipientes que contengan radiactividad u otros contaminantes, y/o que no operen los hidrantes de manera que alteren los depósitos instalados en el sistema de agua principal.</p> | | |
| Residuos | | | |
| | Agua | Arena | Material bituminoso |
| Cantidad | $3 \cdot 10^{-1} \text{ l m}^{-2}$ | $1 - 2 \text{ kg m}^{-2}$ | No genera residuos porque se trata de una opción de fijación permanente** |
| Tipo | Agua y polvo | Arena y polvo | Ninguno |
| | <p>El material retirado utilizado para la fijación temporal puede que esté contaminado. Sería necesario monitorizarlo para determinar si se pueden utilizar las rutas de eliminación normales.</p> <p>** Si la capa bituminosa es eliminada en el futuro, las cantidades típicas de residuos procedentes de la capa aplicada serían $1 - 2 \text{ kg m}^{-2}$.</p> | | |
| Dosis | | | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. La fijación solo será eficaz en la reducción de las dosis debidas a la resuspensión desde una superficie durante el periodo en el cual el material de fijación esté colocado. La eficacia en la reducción de dosis a una persona que viva en un área habitada | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

32 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | | | | | |
|---|---|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| | <p>dependerá en gran medida de la situación específica y del periodo de tiempo durante el cual el material de fijación esté colocado</p> | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de superficie pavimentada en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>El periodo de tiempo durante el cual el material de fijación está colocado.</p> | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | |
| Costes de intervención | | | | | |
| | | Agua | Arena | | Material bituminoso |
| | | | Áreas pequeñas | Áreas grandes | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 3 10 ⁴ | 5 10 ² | 1 10 ⁴ | 5 10 ² – 1 10 ³ |
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 | 2 | | 2 |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> | | | | |
| Efectos secundarios | | | | | |
| Impacto medioambiental | <p>El rociado de material bituminoso sobre las carreteras puede suponer un impacto positivo si las superficies de estas son de mala calidad.</p> <p>El uso de agua puede lavar parte de la contaminación hacia otras superficies.</p> <p>El futuro mantenimiento de las superficies, por ejemplo, reparaciones en las carreteras, puede dar lugar a residuos contaminados.</p> <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> | | | | |
| Impacto social | <p>La aceptación de que la contaminación permanezca <i>in situ</i>. El uso de arena para la fijación supone una señal visible de que existe un problema.</p> <p>La aceptación de las dosis futuras a las personas que se encarguen del mantenimiento de las carreteras, etc. (materiales de fijación permanentes).</p> | | | | |
| Experiencia práctica | Ninguna. | | | | |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> | | | | |
| Versión | 2 | | | | |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

33 Volteado de losas de pavimento

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | Se les da la vuelta a las losas de pavimento de hormigón. Puesto que la contaminación estará unida a la superficie superior de la losa, el darle la vuelta proporcionará blindaje frente a la radiación debida a esta contaminación. La retirada de las losas antes de darles la vuelta puede hacer que se levante polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material fijador (Hoja de datos 32) antes de la implementación, para limitar el peligro de resuspensión. |
| Objeto de interés | Superficies pavimentadas con losas (aceras y caminos). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Normalmente solo será adecuado para áreas de pequeña superficie (por ejemplo, aceras, caminos). |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, mientras el máximo de contaminación permanece sobre la superficie. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Protección del patrimonio cultural, especialmente en áreas de conservación o emplazamientos catalogados. Acceso a la propiedad. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se asume que esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, ya que muy poca contaminación es eliminada (solo aquella que se encuentra en el mortero entre las losas). |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Se reducirán las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie. Normalmente, las tasas de dosis externa gamma se reducirán en un 40-70% para emisores gamma de media a alta energía. Esta opción será muy eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa beta, que serán despreciables después de la implementación. |
| Reducción de la resuspensión | El factor de reducción de la resuspensión es alto (>100), es decir, se detendrá la resuspensión. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El área cubierta por las losas de pavimento (la reducción de la tasa de dosis para una superficie grande de losas de pavimento será mayor que la de un área pequeña). El grosor y las características del material de las losas de pavimento (las losas gruesas proporcionarán un blindaje mayor que las finas). La facilidad de retirada de las losas de pavimento y si se rompen en el proceso. El tiempo de implementación. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Restricciones al movimiento de las losas en el futuro. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Palas o herramientas similares para excavar. Miniexcavadoras Vehículos de transporte para el equipamiento. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte del equipamiento. |
| Consumibles | Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos de transporte. Cemento y/o arena. Agua. Losas de pavimento (si es necesario sustituirlas). |
| Habilidades | Solo son necesarias unas pocas instrucciones. |
| Precauciones de seguridad | Guantes. Gafas de seguridad. |

[Volver a la lista de opciones](#)

33 Volteado de losas de pavimento

| | |
|---|---|
| | Puede ser necesario el uso de equipos de protección respiratoria en condiciones de mucho polvo. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Sin residuos significativos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La fracción del área cubierta por las losas de pavimento.</p> <p>El impacto de la limpieza de superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, puesto que habrá menos contaminación sobre dichas superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si otros tipos de "superficies pavimentadas" son también descontaminadas.</p> |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 1 – 6 m ² /equipo.hr. (Tamaño del equipo: 2 personas). |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La facilidad de implementación.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | <p>Aceptación de que la contaminación permanezca <i>in situ</i>.</p> <p>Las superficies pueden resultar menos atractivas a la vista.</p> <p>Si no se recolocan las losas de pavimento adecuadamente, se pueden producir accidentes, que pueden dar lugar a acciones judiciales contra las autoridades locales.</p> |
| Experiencia práctica | Solo se han hecho experimentos a muy pequeña escala, pero los cálculos pueden demostrar la eficacia potencial. |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J (1990). <i>Deposition and removal of radioactive substances in an urban area</i>. Final report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, ISBN 87-7303-514-9.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9</i></p> |

[Volver a la lista de opciones](#)**33 Volteado de losas de pavimento**

| | |
|------------------------|---|
| | <i>years after a nuclear accident. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</i> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

34 Barrido con aspirador

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de carreteras, zonas pavimentadas y otro tipo de áreas exteriores con superficies duras. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se pueden utilizar los equipos de barrido con aspiración municipales para limpiar áreas pavimentadas. Se utilizan distintos tipos de aspiradora para áreas de gran superficie, como carreteras, y para áreas de pequeña superficie, como aceras. Se recomienda que se utilicen máquinas con la capacidad de humedecer la superficie con agua pulverizada para reducir el polvo y con ello el peligro de resuspensión. Algunos equipos de barrido pueden operar en condiciones de tiempo húmedo.</p> <p>Los residuos líquidos pueden ser eliminados directamente a través de los desagües o se pueden recoger. Puede que sea posible segregar el polvo contaminado del agua.</p> |
| Objeto de interés | Superficies pavimentadas (carreteras, pavimentos, caminos, patios, campos de juegos, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño de carretera o área pavimentada. Es poco probable que sea utilizada alrededor de las casas de la gente. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en una semana después del depósito, ya que la opción depende de la eliminación del polvo sobre la superficie. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Acceso a la propiedad. Eliminación de agua contaminada a través del sistema público de alcantarillado. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío (nieve y hielo). Si no se va a recoger el agua residual, y las superficies duras no están equipadas con desagües, no debería considerarse esta opción. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 2-3 si la opción se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva. Es posible que el factor sea menor si el depósito tuvo lugar mientras llovía.</p> <p>Puesto que la contaminación será eliminada rápidamente de estas superficies debido a la meteorización, la eficacia del método decrecerá con el tiempo y, después de unos pocos meses, posiblemente ya no se elimine una cantidad de contaminación significativa. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD.</p> <p>A corto plazo, el FD citado puede considerarse el mismo para todos los radionucleidos, con la excepción del Yodo elemental y el Tritio, para los cuales una limpieza exhaustiva de superficies impermeables permitirá virtualmente su completa eliminación.</p> <p>La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo al FD.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre una superficie "pavimentada" se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La cantidad de polvo sobre la superficie en el momento de la contaminación.</p> <p>El tamaño de las partículas de polvo.</p> <p>El tipo, planeidad y estado de la superficie.</p> <p>Las cunetas deben ser cuidadosamente limpiadas, ya que la contaminación tiende a acumularse en ellas.</p> <p>El tiempo de operación: cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será esta, debido a la fijación de la contaminación a la superficie.</p> <p>El tráfico eliminará gran parte del material suelto sobre la superficie, reduciendo con ello la eficacia del barrido con aspirador.</p> <p>La aplicación consistente en el área contaminada.</p> <p>El uso de agua pulverizada puede incrementar la eficacia ligeramente.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

34 Barrido con aspirador

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación en las superficies adyacentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Equipo de limpieza de pavimentos.</p> <p>Equipo de barrido.</p> <p>Bombas.</p> <p>Tanques de almacenamiento.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Son necesarios vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> <p>Sistema de alcantarillado público.</p> | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos de transporte.</p> <p>Agua para pulverizar (si se usa).</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar el equipamiento de barrido con aspirador. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Puede ser necesaria protección respiratoria si se usa equipamiento operado manualmente en condiciones secas. En áreas altamente contaminadas, el tanque que contiene el polvo debe rellenarse de agua. Incluso puede ser recomendable aplicar un blindaje metálico entre el operario y el recipiente de los residuos.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad | $1 \cdot 10^{-1} - 2 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$. La cuantía depende de la cantidad de polvo sobre la superficie. Si se lleva a cabo la limpieza en condiciones húmedas y el agua se elimina directamente a través de los desagües, los residuos serán mayores). | | | | | | | |
| Tipo | Polvo y lodos. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | <5 | 5-10 | <5 | 5-10 | 0 | 5-10 | <5 | 5-10 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de superficies duras exteriores en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se lleva a cabo la descontaminación de las superficies pavimentadas adyacentes.</p> <p>La escorrentía de la contaminación sobre otras superficies exteriores.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de actividad procedente de la pluma (si la liberación de radionucleidos está en marcha). • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

34 Barrido con aspirador

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| | estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 3 10 ³ – 2 10 ⁴ . Depende del equipamiento utilizado. |
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La topografía. El tamaño del área a tratar. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | El barrido con aspirador en condiciones húmedas producirá agua residual contaminada, que puede que sea eliminada directamente a través de los desagües o que sea filtrada antes de su eliminación. La eliminación o almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. | |
| Impacto social | Aceptación de la eliminación activa de agua residual contaminada a través del sistema público de alcantarillado. Aceptación de la eliminación de los residuos filtrados del agua contaminada. El barrido con aspirador de carreteras y pavimentos hará que un área parezca limpia; su implementación puede proporcionar tranquilidad al público. | |
| Experiencia práctica | Aplicado en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl. Ensayos a pequeña escala realizados en Dinamarca y Estados Unidos bajo diversas condiciones para examinar la influencia de, por ejemplo, la carga de polvo de la calle. | |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Calvert S, Brattin H and Bhutra S (1984). <i>Improved street sweepers for controlling urban particulate matter</i>. A.P.T. Inc., 4901 Morena Blvd., Suite 402, San Diego, CA 97117, EPA-600/7-84-021.</p> <p>Roed J (1990). <i>Deposition and removal of radioactive substances in an urban area</i>. Final report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, ISBN 87-7303-514-9.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> | |
| Versión | 2 | |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . | |

[Volver a la lista de opciones](#)

35 Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se puede aplicar una capa de asfalto (o alternativas como, por ejemplo, hormigón o adoquinado) sobre pequeñas áreas adyacentes a los edificios. Esta medida proporcionará blindaje frente a la contaminación en el área de terreno. Es posible que se considere esta opción para reducir la exposición externa debido a la contaminación residual después de eliminar una capa superficial de suelo, puesto que el terreno cercano a un edificio puede que esté, en algunos casos, contaminado a una mayor profundidad, debido a la escorrentía desde el edificio.</p> <p>Normalmente, el procedimiento consistiría en la aplicación de una capa estabilizadora de grava, seguida del asfalto (utilizando palas y otras herramientas manuales) y finalmente el uso de un rodillo para consolidarlo todo. El repavimentado utilizando asfalto también podría llevarse a cabo aplicando una gruesa capa de grava, sobre la que se rociaría una fina capa de sellado de emulsión asfáltica, y se terminaría con una fina capa de grava.</p> <p>Es improbable que la creación de polvo durante la implementación suponga un problema, por lo que no serán necesarias opciones de gestión para reducir el peligro de resuspensión para los trabajadores (a menos que dicho peligro en el área se considere importante).</p> <p>Esta opción complica enormemente la eliminación posterior de la contaminación.</p> |
| Objeto de interés | Áreas de suelo (y césped) y otras áreas abiertas de pequeño a medio tamaño. Las áreas objeto de interés se encuentran normalmente alrededor de edificios residenciales, escuelas, etc., donde la gente pasa, generalmente, gran parte de su tiempo en el exterior. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Áreas de pequeño a medio tamaño con límites alrededor de los edificios. |
| Tiempo de aplicación | <p>Se logrará la máxima eficacia durante varios años después de que se produzca la contaminación, ya que la migración en el suelo es normalmente lenta. Continuará siendo efectiva durante muchos años después de que se produzca el depósito.</p> <p>Puede ser beneficioso esperar hasta después de las primeras lluvias, de manera que se haya lavado la mayoría del polvo sobre otras superficies exteriores y edificios hacia las zonas de suelo y césped.</p> |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Protección del patrimonio cultural.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo frío (la temperatura debe ser > 5 °C).</p> <p>En casos extremos, la pendiente del terreno puede ser motivo de preocupación.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | El factor de descontaminación (FD) para esta opción es 1, ya que no se elimina contaminación alguna. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Mientras el asfalto permanece inalterado, la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirá en un factor que depende de la energía de los rayos gamma emitidos y del grosor de la capa de asfalto utilizada.</p> <p>Esta opción reducirá de manera eficaz las tasas de dosis externa beta sobre la superficie en un 100 %.</p> |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie de suelo (o césped) se reducirá eficazmente en un 100 %. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La planeidad de la superficie subyacente.</p> <p>El grosor de la capa (normalmente 5-10 cm de asfalto).</p> <p>El tamaño del área tratada (las áreas grandes tendrán reducciones de tasa de dosis "superficial" mayores).</p> <p>La densidad del material utilizado (para el asfalto – depende del tipo de áridos – normalmente 1.6 g cm⁻³ - 2 g cm⁻³).</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

35 Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto)

| | |
|---|---|
| | Las trazas de contaminación en el material de cobertura. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Pequeño rodillo de asfalto. Palas. Rastrillos especiales para nivelar las capas de grava/asfalto. Camiones para el transporte de los rodillos, el asfalto y la grava de estabilización. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de asfalto (u hormigón). |
| Consumibles | Asfalto. Grava para la estabilización. Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos. |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar el equipamiento. |
| Precauciones de seguridad | Las precauciones normales para los trabajadores con asfalto: Cascos de seguridad. Guantes. Calzado de seguridad. Puede que sea necesaria también protección respiratoria, en particular en condiciones secas y con mucho polvo. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tamaño del área a cubrir. El tiempo de implementación. El impacto sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 15 m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 4 personas). |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La planeidad de la superficie. El tamaño del área a cubrir El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. La utilización de equipos de protección personal (EPP). La necesidad de tener en cuenta los desagües/tuberías del alcantarillado, etc. Puede ser necesario eliminar la vegetación antes de llevar a cabo el recubrimiento. El grosor de la capa de asfalto utilizada y la calidad de dicho asfalto afectarán a los costes de materiales. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | Pérdida total de biodiversidad en el área tratada. |

[Volver a la lista de opciones](#)

35 Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto)

| | |
|------------------------|---|
| | <p>Pérdida total de fertilidad en el área tratada.</p> <p>Aceptación del impacto sobre la flora y la fauna/sustitución del suelo por, por ejemplo, una superficie asfaltada.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación del hecho de que se deje algo de contaminación <i>in situ</i>.</p> <p>Consecuencias estéticas sobre el paisaje/cambios en los equipamientos.</p> |
| Experiencia práctica | <p>El método ha sido ampliamente aplicado en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Gjørup H, Jensen NO, Hedemann Jensen P, Kristensen L, Nielson OJ, Petersen EL, Petersen T, Roed J, Thykier-Nielsen S, Heikel Vinther F, Warming L and Aarkrog A (1982). <i>Radioactive contamination of Danish territory after core-melt accidents at the Barsebäck power plant</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-462.</p> <p>Hedemann Jensen P, Lundtang Petersen E, Thykier-Nielsen S and Heikel Vinther F (1977). <i>Calculation of the individual and population doses on Danish territory resulting from hypothetical core-melt accidents at the Barsebäck reactor</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-356.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos denominada "Resurfacing with eg. asphalt in frequently occupied areas" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

36 Cobertura con suelo limpio

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | El blindaje de la contaminación con suelo fija eficazmente la contaminación subyacente que de otra manera podría ser resuspendida. Por lo tanto se trata de una opción de fijación eficaz. |
| Descripción de la opción de gestión | Se puede aplicar una capa de 5-10 cm de suelo radiológicamente limpio en áreas donde la gente pasa tiempo, para blindar frente a la contaminación del terreno. También se puede aplicar para reducir la tasa de dosis externa debida a la contaminación residual sobre una superficie de suelo tras la eliminación de la capa superficial del mismo. También se utiliza para la fijación de suelo contaminado con el fin de reducir el peligro de resuspensión para los miembros del público. Esta opción complica enormemente la eliminación posterior de la contaminación. |
| Objeto de interés | Superficies de césped/suelo en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos (mediante el blindaje). Se puede utilizar para reducir las dosis externas debidas a radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. La fijación tiene como objetivos los radionucleidos emisores alfa que pueden dar lugar a dosis por inhalación debidas a material resuspendido. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. |
| Tiempo de aplicación | Fijación: se logra el máximo beneficio si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando la mayoría de la contaminación permanece sobre la superficie del terreno y la resuspensión es probable que sea alta. Blindaje: es posible que sea eficaz durante mucho tiempo después del depósito. Una implementación temprana puede suponer que la contaminación que es lavada de otras superficies con el tiempo sobre el suelo y el césped, vuelva a contaminar el suelo limpio, reduciendo con ello la eficacia de alguna manera. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Edificios (y jardines) catalogados y otros históricamente importantes. Acceso a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados o históricos, y en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Aceptación del impacto sobre flora y fauna. Tiempo extremadamente frío. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, ya que no se elimina contaminación alguna. Esta opción deja material contaminado <i>in situ</i> . La posterior alteración de la capa limpia, cualquiera que sean las causas, reducirá la eficacia de la opción. Por ejemplo, la topografía del terreno puede causar la erosión desigual de la capa "limpia", de manera que vuelva a quedar expuesto el material contaminado subyacente. Se podría esperar una reducción en la tasa de dosis gamma sobre el suelo limpio del 30-80 %, dependiendo de la energía del radionucleido. Esta opción será 100 % eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa beta (ver sección 4.6.2.3. para más información). |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Mientras la capa limpia permanezca inalterada, la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirá en un factor que depende de la energía de los rayos gamma emitidos y del grosor de la capa de suelo limpio utilizado. La eficacia en la reducción de las tasas de dosis sobre la superficie dependerá del tamaño del área tratada y de lo bien que se implemente el procedimiento. Esta opción reducirá de manera eficaz las tasas de dosis externa beta sobre la superficie en un 100 %. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie del suelo se reducirá en cerca de un 100 % mientras el suelo permanezca en posición. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La disponibilidad de las cantidades de suelo necesarias. El grosor de la capa de suelo utilizada. |

[Volver a la lista de opciones](#)

36 Cobertura con suelo limpio

| | | |
|---|--|---|
| | <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>La planeidad de la superficie del terreno.</p> <p>La correcta implementación de la opción.</p> <p>Si se lleva a cabo demasiado pronto, se lavará más contaminación sobre el suelo limpio.</p> <p>El número de plantas, arbustos y árboles que se dejen en el área.</p> | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Restricciones sobre la excavación del suelo que se ha utilizado para cubrir la contaminación. | |
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | <p>Palas.</p> <p><i>Bulldozer</i> de pequeñas dimensiones.</p> <p>Rastrillo.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y el suelo.</p> | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y materiales. | |
| Consumibles | <p>Suelo.</p> <p>Combustible y recambios para el <i>bulldozer</i> y los vehículos de transporte.</p> | |
| Habilidades | <p>A pequeña escala, utilizando palas, esta opción puede ser implementada por trabajadores no cualificados. Se podría implementar esta opción como medida de autoayuda. Se debería asegurar la instrucción y la provisión del equipamiento de seguridad y de otro tipo que sea necesario. Requiere trabajo físico intenso, del que no todas las personas serían capaces.</p> <p>Serán necesarios trabajadores cualificados para operar los <i>bulldozer</i>, que serán utilizados en áreas de mayor tamaño.</p> | |
| Precauciones de seguridad | Ninguna. | |
| Residuos | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tamaño del área a cubrir.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Áreas pequeñas | Áreas grandes |
| | <p>$2 \cdot 10^1 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ por equipo</p> <p>Tamaño del equipo (personas): 1</p> <p>Depende de la accesibilidad y apertura del área y del equipamiento utilizado.</p> | <p>$4 \cdot 10^2 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ por equipo</p> <p>Tamaño del equipo (personas): 2</p> |
| Factores que influyen en los costes | <p>El grosor de la capa de suelo utilizada.</p> <p>La habilidad del operario.</p> <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>La cantidad de vegetación a eliminar.</p> | |

[Volver a la lista de opciones](#)

36 Cobertura con suelo limpio

| | |
|------------------------|--|
| | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Posible impacto adverso sobre la biodiversidad.</p> <p>Consecuencias estéticas de los cambios en el paisaje.</p> <p>Pérdida de plantas.</p> <p>Posible riesgo de erosión del suelo debido al aumento de su grosor, aunque la resiembra de césped o el replantado reduciría dicho riesgo.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso de la cobertura de áreas con tierra desnuda.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de la aplicación de suelo limpio.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos si se utiliza para cubrir áreas de césped.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado de manera intensiva en la antigua Unión Soviética.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Fogh CL, Andersson KG, Barkovsky AN, Mishine AS, Ponomarjov AV, Ramzaev VP and Roed J (1999). Decontamination in a Russian settlement. <i>Health Physics</i>, 76, (4), 421-430.</p> <p>Roed J, Andersson KG, Varkovsky AN, Fogh CL, Mishine AS, Olsen SK, Ponomarjov AV, Prip H, Ramzaev VP, Vorobiev VF (1998). <i>Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident</i>. Risø-R-1029, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, Ponomarjov AV, Varkovsky AN, Mishine AS, Vorobiev BF, Chesnokov AV, Potapov VN and Shcherbak SB (1996). <i>Decontamination in a Russian settlement</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-870, ISBN 87-550-2152-2.</p> |
| Versión | <p>2</p> |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos denominada "Application of clean sand/soil around dwellings and in frequently occupied areas" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

37 Arado profundo

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | El arado profundo puede reducir la contaminación en la capa superficial del suelo (reducción del 90-95 % de la contaminación en los 20 cm superiores del suelo) en la que posteriormente se pueden cultivar alimentos y reducir de esta manera la captación por parte de dichos alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>El arado profundo con un arado de vertedera de un solo surco estándar hasta una profundidad de 450 mm entierra eficazmente la contaminación de los pocos centímetros superiores del suelo y además mezcla la contaminación en toda la profundidad arada del suelo. El arado profundo elimina la mayor parte de la contaminación de la zona de captación de las raíces de las plantas. Además puede que haya disponible un arado de profundidad especial que llegue hasta una profundidad de 900 mm. Este tipo de arados requieren tractores más potentes que los habitualmente disponibles.</p> <p>Puede que sea necesario eliminar plantas, arbustos y árboles antes del arado. Después, puede ser necesaria la replantación, el reemplazo del césped y la fertilización y aplanado del terreno.</p> <p>La mezcla de la contaminación debida al arado profundo es irreversible y complicará mucho la eliminación posterior de la misma.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, así que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material de fijación antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión (Hoja de datos 44).</p> <p>El arado profundo no debe repetirse, ya que esto podría devolver la contaminación a la superficie.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de suelo y césped en parques, campos de juegos y otros espacios abiertos de gran tamaño que no hayan sido arados desde que se produjo el depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para superficies de grandes dimensiones (por ejemplo, parques). |
| Tiempo de aplicación | Se obtiene el beneficio máximo si se implementa poco después del depósito. Sin embargo, continuará siendo significativamente eficaz durante muchos años después del depósito, ya que la contaminación permanecerá en los 5 cm superiores también durante muchos años. La eficacia decrecerá gradualmente con el tiempo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados o históricos, o en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. Textura del suelo (no debe ser demasiado flojo/arenoso). En casos extremos, la pendiente del área puede que sea una limitación. Es necesaria una profundidad de suelo mayor de 45 cm para el arado profundo. Alto nivel freático. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, debido a que no elimina contaminación alguna. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirán en un factor de entre 5 y 10 para emisores gamma de media a alta energía.</p> <p>Las reducciones en la tasa de dosis dependerán de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - los radionucleidos implicados. - la profundidad del arado. - el perfil de contaminación del suelo con la profundidad en el momento de la implementación. - el éxito de la implementación. <p>Es probable que la reducción de la tasa de dosis beta sea significativamente mayor que los valores dados anteriormente si la técnica se implementa eficazmente.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

37 Arado profundo

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| Reducción de la resuspensión | Mediante el enterramiento eficaz de la mayor parte de la contaminación, la actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá en un valor significativamente mayor que el de la reducción de tasa de dosis externa gamma. | | | | | | | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones del tiempo atmosférico.</p> <p>La correcta implementación de la opción.</p> <p>La textura del suelo.</p> <p>Si el área ha sido arada desde el depósito.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>El tiempo de implementación: si la contaminación ha migrado por debajo de la profundidad de arado, la técnica será mucho menos eficaz.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Arado profundo.</p> <p>Tractor con la potencia suficiente para arrastrar un arado profundo.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento. | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para el transporte de vehículos y el tractor. Combustible: en torno a 15 litros ha⁻¹ para el arado.</p> <p>Plantas y césped de reemplazo.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Se puede emplear personal cualificado para el arado, pero debe ser cuidadosamente instruido acerca del objetivo. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Condiciones con mucho polvo: puede ser recomendable el uso de protección respiratoria y ropa de protección para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 15-20 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | <5 | 5-10 | 5-10 | 10-15 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto del arado en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se han aplicado opciones de recuperación sobre otras superficies de terreno cercanas.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies. <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | 7 10 ³ m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | El tipo de suelo y su estado. | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

37 Arado profundo

| | |
|------------------------|---|
| | <p>La cantidad de vegetación.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP)</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> <p>La planeidad de la superficie de terreno.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La necesidad de replantar.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo (puede reducirse resembrando césped).</p> <p>Puede que se acerque la contaminación a las aguas subterráneas.</p> <p>Aceptación del impacto sobre flora y fauna y la pérdida de plantas y arbustos.</p> <p>Pérdida de fertilidad del suelo.</p> <p>Complica de manera importante la eliminación posterior de la contaminación.</p> <p>Puede que sea necesario aplanar el suelo después de la aplicación.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos.</p> <p>Se deja la contaminación <i>in situ</i>.</p> <p>Restricción temporal del acceso a áreas públicas.</p> <p>Puede que no sean viables o aceptables las restricciones al arado posterior de la tierra.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado ampliamente en la antigua Unión Soviética y a escala limitada en Dinamarca.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Rantavaara A, Roed J, Rosén K, Salbu B and Skipperud L (2000). <i>A guide to countermeasures for implementation in the event of a nuclear accident affecting Nordic food-producing areas</i>. NKS/BOK 1.4 project report NKS-16, ISBN 87-7893-066-9, 76p.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Vovk IF, Blagoyev VV, Lyashenko AN and Kovalev IS (1993). Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR). <i>Science of the Total Environment</i>, 137, 49-64.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

38 Corte y retirada de césped

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminación de contaminación en áreas con césped. Prevenición de que la contaminación alcance el suelo subyacente si el depósito ocurre en condiciones secas. |
| Descripción de la opción de gestión | Se recorta el césped de un área y se recogen los restos del mismo. La altura de corte debería ser tan baja como sea posible. Es probable que esta opción genere polvo. No será posible aplicar agua para humedecer la superficie sin que se desplace la contaminación desde el césped hasta el suelo subyacente, poniendo con ello en peligro el objetivo del corte de césped. Debido a esto, se recomienda el uso de equipos de protección personal por parte de los trabajadores para limitar el peligro debido a la resuspensión. |
| Objeto de interés | Superficies de césped en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier tamaño. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en una semana tras el depósito, cuando el máximo de contaminación se encuentra sobre el césped. La eficacia se reduce significativamente después de que haya llovido o si el césped ya ha sido cortado después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Eliminación de los residuos generados por la recogida de los recortes del césped. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío (nieve o hielo) o si el tiempo es muy seco y el césped no ha crecido. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 2 y 10 si se implementa esta opción en una semana después del depósito y antes de que llueva de manera significativa. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Se reducirán las tasas de dosis externa gamma y beta inmediatamente por encima de las superficies de césped en un valor aproximadamente igual al del FD. |
| Reducción de la resuspensión | Se reducirá la actividad resuspendida en el aire inmediatamente por encima de la superficie de césped en un valor aproximadamente igual al del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las condiciones meteorológicas, en particular aquellas que se dan en el momento del depósito, y la cantidad de lluvia después de dicho depósito. La correcta implementación de la opción (deben recogerse todos los recortes del césped para alcanzar los valores de FD mencionados). El tiempo de operación (cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será la técnica). Planeidad de la superficie del terreno. Longitud del césped en el momento del depósito. La consistencia en la implementación eficaz de la opción sobre un área extensa. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Cortadoras de césped (de varios tamaños, dependiendo de las dimensiones del área), preferiblemente equipadas con cajas de recolección para asegurar la recogida completa de los restos de césped. Puede que sea necesario un tractor para áreas extensas. Rastrillos u otras herramientas de recogida si el equipo de corte de césped no está equipado con cajas de recolección. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

38 Corte y retirada de césped

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| Consumibles | Combustible y recambios para las cortadoras de césped y los vehículos. | | | | | | | |
| Habilidades | <p>Puede ser deseable el empleo de personal cualificado si se utilizan equipos a gran escala, es decir, para el corte de césped en áreas de gran tamaño.</p> <p>Para jardines pequeños, el corte del césped podría ser implementado por los propietarios del terreno como medida de autoayuda siguiendo las instrucciones dadas por las autoridades y con la provisión de equipamiento de seguridad.</p> | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Puede ser recomendable la utilización de protección respiratoria y ropa/guantes protectores para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida, en particular bajo condiciones muy secas. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p>Cantidad: $1 \cdot 10^{-4} - 7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ ($<150 \text{ g m}^{-2}$) (depende de la altura del césped cortado y la densidad de la cobertura).</p> <p>Tipo: Césped.</p> <p>Señalar que las cantidades de residuos generados pueden ser grandes. Sin embargo, existen métodos que pueden reducir sustancialmente el volumen de los residuos orgánicos hasta en un factor cercano a 100. Algunos de estos métodos (por ejemplo, el compostaje) podrían ser practicados localmente y podrían ser muy importantes a la hora de reducir los problemas de transporte y almacenamiento de residuos.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 20-25 | 10-15 | 25-30 | 15-20 | 5-10 | 5-10 | 10-15 | 10-15 |
| | Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y el tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se lleva a cabo también la descontaminación de las superficies de suelo adyacentes.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de actividad procedente de la pluma (si la liberación de radionucleidos está en marcha). • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | <p>$2 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^4 \text{ m}^2/\text{equipo} \cdot \text{hr}$ dependiendo de la escala del equipamiento utilizado.</p> <p>Tamaño del equipo: 1 persona.</p> | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado y si el césped recortado tiene que ser recogido a mano.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

38 Corte y retirada de césped

| Efectos secundarios | |
|------------------------|--|
| Impacto medioambiental | La eliminación o el almacenamiento de los residuos surgidos de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | El corte de césped puede hacer que un área parezca "limpia". La implementación puede proporcionar tranquilidad al público. Puede que sea necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de que se implemente el corte de césped. Puede que no sea aceptable la eliminación de los residuos. |
| Experiencia práctica | Probada a pequeña escala en Europa. |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Maubert H, Vovk I, Roed J, Arapis G and Jouve A (1993). Reduction of soil-plant transfer factors: mechanical aspects. <i>Science of the total Environment</i>, 137, 163-167.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . Denominada "Lawn mowing" en el proyecto STRATEGY en 2003. |

[Volver a la lista de opciones](#)

39 Cavado manual

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>La mayor parte del depósito inicial permanece en los 50 mm superiores del suelo durante muchos años (es el caso de suelos arcillosos y orgánicos). Es por ello por lo que, si las capas superficiales de suelo se cavan a una profundidad de 15 a 30 cm y se intenta enterrar la capa superior del mismo o el césped en la parte inferior de este perfil vertical, se puede obtener un blindaje significativo frente a la contaminación.</p> <p>El cavado doble, mediante el cual se invierten los 150 mm superiores del suelo, también se puede llevar a cabo. Se trata de un método tradicional para cavar huertos, y en particular cultivos de patata. Se retira el suelo hasta la profundidad de la primera palada; hasta la profundidad de la segunda palada se deshace el suelo, mezclándolo eficazmente para mejorarlo. Finalmente se invierte la capa superior y se recoloca. Si el área está cubierta de césped, la capa superior debería colocarse con dicho césped hacia abajo, si es posible.</p> <p>La mezcla de la contaminación debida al cavado es irreversible y complicará de manera importante la posterior eliminación de contaminación.</p> <p>Puede ser necesario eliminar plantas y arbustos de gran tamaño antes del cavado.</p> <p>Otros métodos de cavado pueden ser más adecuados y se describen en la Hoja de datos 42 (rotocultor) y en la Hoja de datos 47 (Cavado triple)</p> <p>En condiciones secas, esta opción puede dar lugar a que se levante polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión en estas condiciones (ver Hoja de datos 44).</p> <p>No se debe repetir el método ya que podría devolver la contaminación a la superficie.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped y suelo en jardines y otros espacios abiertos de pequeñas dimensiones. Esta opción no es adecuada para áreas que ya hayan sido excavadas después del depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para áreas pequeñas de suelo/césped (por ejemplo, jardines). |
| Tiempo de aplicación | Se logrará la máxima eficacia durante varios años después de que se haya producido la contaminación, ya que la mayoría de los contaminantes migran muy lentamente hacia abajo a través del perfil del suelo. Seguirá siendo eficaz hasta 10 años después del depósito, aunque la eficacia se reducirá con el tiempo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados o históricos, y en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Si el terreno está cubierto de nieve o congelado hasta la profundidad de cavado, este método no es viable. Textura del suelo. En casos extremos, la pendiente del área puede suponer una limitación. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un FD de 1, ya que no se elimina contaminación alguna. Se puede lograr un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 100. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Se podrían reducir las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie hasta en un 80 % dependiendo del perfil de contaminación del suelo con la profundidad en el momento de la implementación y del éxito de la misma. Las tasas de dosis externa beta deberían ser despreciables. |
| Reducción de la resuspensión | Enterrando eficazmente la actividad, las concentraciones resuspendidas en el aire sobre una superficie de césped se reducirán según el valor del FRR. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las condiciones del suelo: una consistencia demasiado seca o suelta puede hacer que el cavado sea ineficaz. La correcta implementación de la opción: toda la contaminación superficial debe ser enterrada para lograr la reducción de la resuspensión citada. |

[Volver a la lista de opciones](#)

39 Cavado manual

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>La consistencia en la aplicación.</p> <p>La textura del suelo (¿el suelo contiene piedras?, etc.).</p> <p>El tamaño del área. Se observan mayores reducciones de la tasa de dosis si se cavan áreas grandes.</p> <p>Cualquier cavado previo después del depósito.</p> <p>El tiempo de implementación. Si la contaminación ha migrado por debajo de los 15 cm superiores, la técnica será menos eficaz.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Pala.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte. | | | | | | | |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Esta opción podría, hasta cierto punto, ser implementada por los habitantes del área afectada como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades y la provisión del equipamiento de seguridad y de otro tipo necesario. Sin embargo, el cavado es una actividad extenuante y la gente tendría que estar en forma. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | En condiciones de mucho polvo puede ser recomendable el uso de protección respiratoria y de ropa/guantes de protección para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 20-25 | 25-30 | 25-30 | 35-40 | 5-10 | 10-15 | 10-15 | 20-25 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y el tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto del cavado doble en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si solo se cavan áreas de suelo, es necesario considerar otras opciones para las áreas con césped.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | 4 – 6 m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

39 Cavado manual

| | |
|------------------------|---|
| | <p>La topografía.</p> <p>La planeidad de la superficie de terreno y el nivel de vegetación.</p> <p>La accesibilidad a jardines y otras áreas.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP)</p> <p>La forma física de los trabajadores (tarea manual pesada).</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo (puede reducirse mediante el resembrado).</p> <p>Puede reducir la fertilidad del suelo.</p> <p>Posible pérdida parcial de biodiversidad.</p> <p>Puede acercar la contaminación a las aguas subterráneas.</p> <p>Complica de manera importante la eliminación posterior de contaminación, ya que se generarán más residuos y la mezcla hará más difícil la segregación de residuos contaminados .</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso del cavado de jardines (áreas que no son de suelo).</p> <p>La destrucción de jardines y la pérdida de plantas conlleva la pérdida temporal de la funcionalidad de los mismos.</p> <p>No se elimina la contaminación.</p> <p>Puede ser óptimo establecer restricciones a algunas actividades de jardinería futuras.</p> |
| Experiencia práctica | <p>El método ha sido probado a pequeña escala en Europa.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Roed J (1990). <i>Deposition and removal of radioactive substances in an urban area</i>. Final report of the NKA Project AKTU-245, Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, ISBN 87-7303-514-9.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos denominada "Garden digging" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

40 Eliminación de plantas y arbustos

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores que contengan arbustos o plantas, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de áreas con vegetación. La eliminación de actividad en los jardines puede reducir la posterior contaminación del suelo utilizado para cultivar alimentos. Y esto a su vez puede reducir la captación por parte de los alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | Se utiliza una desbrozadora portátil o una cosechadora de forraje (dependiendo del tamaño del área a tratar) para eliminar las plantas que están creciendo. Los restos de vegetación se eliminan cargándolos en remolques. Es posible que sea necesaria la replantación. Para lograr el máximo beneficio, debería considerarse junto con otras opciones para descontaminar áreas de césped. Es probable que dé lugar a la formación de polvo. No será posible aplicar agua para humedecer la superficie sin desplazar la contaminación desde la planta hacia el suelo subyacente. Por ello es recomendable la utilización de EPP por parte de los trabajadores para limitar el peligro de la resuspensión. |
| Objeto de interés | Plantas y arbustos en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo en una semana después del depósito, cuando el máximo de contaminación está sobre las plantas y los arbustos. La eficacia se reduce significativamente después de que llueva. Es improbable que sea necesaria en otoño/invierno, épocas en las que gran parte del follaje ha desaparecido. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Emplazamientos catalogados y otros de importancia histórica, y áreas de conservación. Acceso a la propiedad. Eliminación de residuos procedentes de la recogida de la vegetación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. Tipo de suelo y textura. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se pueden lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 2-10 y un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 10 si la opción se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva significativamente. Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la proporción de área cubierta por plantas y arbustos y del tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas (ver más adelante). |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta en el área que contenga plantas y arbustos se reducirá según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La resuspensión en un área que contenga plantas y arbustos puede reducirse, pero dicha reducción será menor que el valor del FD debido a la contaminación sobre el suelo circundante. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tiempo atmosférico, en particular en el momento del depósito, y la cantidad de lluvia tras dicho depósito. La correcta implementación de la opción – todo el material debe ser recogido para lograr el valor del FD mencionado. El tiempo de operación (la contaminación migra hacia el interior del suelo con el tiempo). La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. La cantidad de plantas y arbustos en el área. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. Si las superficies adyacentes, por ejemplo, las áreas con césped, son también descontaminadas. Si se han aplicado opciones de recuperación también a las superficies de suelo adyacentes. |

[Volver a la lista de opciones](#)

40 Eliminación de plantas y arbustos

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | Desbrozadora. Tractor Remolque. Astilladora para leña. Para áreas mayores puede ser necesaria una cosechadora de forraje. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para tractores y cosechadoras. | | | | | | | |
| Habilidades | Es necesario personal cualificado para operar las desbrozadoras y las cosechadoras. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Protección respiratoria y ropa de protección. Será necesaria protección facial que incluya gafas de seguridad al usar las desbrozadoras. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> 2 kg m ⁻² . <i>Tipo:</i> Vegetación y material arbustivo. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 10-15 | 10-15 | 10-15 | 15-20 | <5 | 10-15 | 5-10 | 10-15 |
| | Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de césped en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural. Si las superficies de césped adyacentes son también descontaminadas. | | | | | | | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de actividad procedente de la pluma (si la liberación de radionucleidos está en marcha). • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | 1 10 ² – 10 ³ m ² /equipo.hr (depende del equipamiento utilizado y del tamaño del área). Tamaño del equipo: 2 personas. | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La topografía. El tamaño del área a tratar. El tipo de equipamiento utilizado. | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

40 Eliminación de plantas y arbustos

| | |
|------------------------|---|
| | <p>La accesibilidad.</p> <p>La altura de la vegetación.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Posible impacto adverso en la biodiversidad.</p> <p>Pérdida de plantas y arbustos.</p> <p>Eliminación o almacenamiento de residuos. Sin embargo, esta cuestión puede minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso de la eliminación de todas las plantas y arbustos de parques o jardines.</p> <p>La restricción del acceso a áreas públicas antes de la implementación.</p> <p>La eliminación de residuos puede no ser aceptable.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a media-gran escala en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

41 Arado

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Con un arado de vertedera estándar se ara el suelo hasta una profundidad de 25-30 cm normalmente, mezclando así la contaminación en toda la profundidad del suelo arado. Una cantidad significativa de la contaminación en los pocos centímetros superiores del suelo es enterrada eficazmente. Pueden utilizarse además arados especiales de profundidad (ver Hoja de datos 37).</p> <p>Puede que sea necesario eliminar plantas, arbustos y árboles antes del arado. Después, puede ser necesaria la replantación, el reemplazo del césped y la fertilización y aplanado del terreno.</p> <p>La mezcla de la contaminación debida al arado superficial es irreversible y complicará mucho la eliminación posterior de la misma.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, así que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material de fijación antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión. Se dan más detalles en la Hoja de datos 44.</p> <p>El arado no debe repetirse, ya que esto podría devolver la contaminación a la superficie.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de suelo y césped en parques, campos de juegos y otros espacios abiertos de gran tamaño que no hayan sido arados desde que se produjo el depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para superficies de grandes dimensiones (por ejemplo, parques). |
| Tiempo de aplicación | Se obtiene el beneficio máximo si se lleva a cabo el arado poco después del depósito, es decir, antes de que se produzca la migración en el suelo. Sin embargo, continuará siendo significativamente eficaz durante muchos años después del depósito, ya que, en la mayoría de los casos, la contaminación permanecerá en los 5 cm superiores también durante muchos años (este es ciertamente el caso del Cesio en suelos arcillosos y orgánicos). La eficacia decrecerá gradualmente con el tiempo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados o históricos, o en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. Textura del suelo (no debe ser demasiado flojo/arenoso). En casos extremos, la pendiente del área puede que sea una limitación. Es necesaria una profundidad de suelo mayor de 30 cm para el arado superficial. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, debido a que no elimina contaminación alguna. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Es posible que se reduzcan las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie en un 50-80%, dependiendo de la profundidad del arado y del éxito de la implementación. Las reducciones en la tasa de dosis dependerá de los radionucleidos implicados, es decir, de sus energías de emisión gamma. La reducción dependerá también de la profundidad del arado y del perfil de contaminación del suelo en el momento de la implementación, y del éxito de esta última. Es probable que la reducción de tasa de dosis beta sea significativamente mayor que los valores dados anteriormente si se implementa la técnica con eficacia. |
| Reducción de la resuspensión | Mediante el enterramiento eficaz de la mayor parte de la contaminación, la actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 100. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tiempo atmosférico. La correcta implementación de la opción. La textura del suelo (si el suelo contiene piedras, etc.). Si el área ha sido arada desde el depósito. El tiempo de implementación: si la contaminación ha migrado por debajo de la profundidad |

[Volver a la lista de opciones](#)

41 Arado

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>de arado, la técnica será mucho menos eficaz.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>Si se han aplicado opciones de recuperación a otras superficies de terreno cercanas.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | Arado y tractor. Vehículos de transporte para el equipamiento. | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte y el tractor. Plantas y césped de reemplazo. | | | | | | | |
| Habilidades | Se puede emplear personal cualificado para el arado, pero debe ser cuidadosamente instruido acerca del objetivo. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | En condiciones de mucho polvo puede ser recomendable el uso de protección respiratoria y ropa de protección para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 10-15 | 15-20 | 15-20 | 20-25 | <5 | 10-15 | 5-10 | 15-20 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto del arado en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales) (se puede controlar con el uso de tractores con aire acondicionado). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | 6 10 ³ – 8 10 ³ m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>La cantidad de vegetación.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP)</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

41 Arado

| | |
|------------------------|--|
| | <p>La planeidad de la superficie de terreno.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La necesidad de replantar.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo (puede reducirse resembrando césped posteriormente).</p> <p>Puede que se acerque la contaminación a las aguas subterráneas.</p> <p>Pérdida de fertilidad del suelo.</p> <p>Aceptación del impacto sobre flora y fauna y la pérdida de plantas y arbustos.</p> <p>Complica de manera importante la eliminación posterior de la contaminación.</p> <p>Puede que sea necesario aplanar el suelo después de la aplicación y antes de su uso.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos.</p> <p>Se deja la contaminación <i>in situ</i>.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de que el arado sea implementado.</p> <p>Puede que no sean viables o aceptables las restricciones al arado posterior de la tierra.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado ampliamente en la antigua Unión Soviética y a escala limitada en Dinamarca.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Andersson KG, Rantavaara A, Roed J, Rosén K, Salbu B and Skipperud L (2000). <i>A guide to countermeasures for implementation in the event of a nuclear accident affecting Nordic food-producing areas</i>. NKS/BOK 1.4 project report NKS-16, ISBN 87-7893-066-9, 76p.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Vovk IF, Blagoyev VV, Lyashenko AN and Kovalev IS (1993). Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR). <i>Science of the Total Environment</i>, 137, 49-64.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Hoja de datos denominada "Shallow ploughing (park areas)" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

42 Rotocultor (excavación mecánica)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Si se aplica a huertas, el rotocultor puede reducir la contaminación en la profundidad del suelo utilizada para que crezcan los cultivos, debido a la redistribución de la contaminación. Esto a su vez puede reducir la captación de radionucleidos procedentes del suelo por parte de los alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Las áreas de suelo y césped son aradas utilizando maquinaria de potencia (rotocultores) bajo control manual. Estas máquinas aran a una profundidad de en torno a 150 mm.</p> <p>El rotocultor mezcla las capas superiores del suelo de manera bastante uniforme en una profundidad relativamente superficial. La mezcla de contaminación mediante el rotocultor es irreversible y complicará mucho la eliminación posterior de la contaminación.</p> <p>Puede ser necesaria la eliminación de plantas y arbustos de grandes dimensiones antes de utilizar el rotocultor y posteriormente puede que sea necesario replantar el área y resembrar o recubrir con césped.</p> <p>En condiciones secas, esta opción puede generar polvo, de manera que puede ser acertado utilizar la fijación con agua.</p> <p>Puede que otros métodos de excavación sean más adecuados, y se describen en la Hoja de datos 39 (cavado manual) y en la Hoja de datos 47 (cavado triple).</p> <p>La utilización repetida del rotocultor dará lugar a una mezcla más uniforme de la contaminación, que reducirá la eficacia de la opción, ya que una parte menor de la contaminación superficial permanecerá enterrada. Es por ello por lo que no se recomienda.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped y suelo. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No adecuada para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para áreas de pequeña superficie (por ejemplo, jardines). |
| Tiempo de aplicación | Se logrará la máxima eficacia durante varios años después de que se produzca el depósito, ya que la mayoría de los contaminantes migran muy lentamente hacia abajo a través del perfil del suelo. Continuará siendo eficaz hasta cerca de 10 años después del depósito inicial, con eficacia reducida con el tiempo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Uso en emplazamientos catalogados o históricos, o en áreas de conservación.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo extremadamente frío.</p> <p>Textura del suelo.</p> <p>En casos extremos, la pendiente del área puede que sea una limitación.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, ya que no se elimina contaminación alguna. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Es posible que se reduzcan las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie en un 50-70 %, dependiendo del éxito de la implementación. Es probable que las reducciones de la tasa de dosis sean menores que las conseguidas mediante el cavado manual, ya que el rotocultor no entierra la contaminación bajo una capa de suelo limpio, sino que lo mezcla (diluye) homogéneamente a lo largo de la profundidad tratada. |
| Reducción de la resuspensión | Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre una superficie de césped/suelo se reducirán según un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 15 para una implementación hasta varios años después del depósito. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El tiempo atmosférico: si el suelo está demasiado seco, la utilización del rotocultor será posiblemente menos eficaz.</p> <p>La profundidad alcanzada por el rotocultor.</p> <p>La textura del suelo (¿el suelo contiene piedras?, etc.).</p> <p>El tamaño de las áreas.</p> <p>Cualquier arado previo posterior al depósito. La repetición del arado puede devolver más</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

42 Rotocultor (excavación mecánica)

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>contaminación a la superficie del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación: la contaminación puede que haya migrado por debajo de la profundidad a la que puede llegar el rotocultor.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>Si se han aplicado opciones de recuperación a otras superficies de terreno cercanas.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Rotocultores.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento. | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Plantas y semillas de césped, si es necesario.</p> <p>Combustible y recambios para los vehículos de transporte y el equipamiento.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | No es esencial contar con personal cualificado para implementar esta opción. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Bajo condiciones de mucho polvo, puede ser recomendable el uso de protección respiratoria y ropa de protección (EPP) para reducir el peligro debido a la radiactividad resuspendida. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 10-15 | 15-20 | 10-15 | 20-25 | 5-10 | 20-25 | 10-15 | 25-30 |
| | Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre la superficie debido a la meteorización natural (la migración en el suelo es lenta).</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | 1 10 ² m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). | | | | | | | |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

42 Rotocultor (excavación mecánica)

| | |
|------------------------|--|
| | <p>La planeidad de la superficie de terreno, incluyendo la pedregosidad.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP)</p> <p>La necesidad de replantar.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo (el resembrado y el replantado pueden minimizar este).</p> <p>Posible pérdida de la fertilidad del suelo.</p> <p>Destrucción de plantas.</p> <p>Acercamiento de la contaminación hacia las aguas subterráneas.</p> <p>Complica de manera importante la posterior eliminación de contaminación, ya que se generarán más residuos y la mezcla hará que la segregación de los residuos contaminados sea más difícil.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso en los jardines.</p> <p>Destrucción de jardines y pérdida de plantas, lo que lleva a la pérdida temporal del uso del jardín.</p> <p>La contaminación no se elimina.</p> <p>Restricción sobre algunas actividades de jardinería (por ejemplo, la prohibición de realizar excavaciones posteriores).</p> |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

43 Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Reducción de la contaminación en la capa superficial del suelo (reducción del 90-95 % de la contaminación en los 20 cm superiores de suelo) en donde posteriormente se pueden cultivar alimentos, y así reducir la captación por parte de dichos cultivos. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se utiliza un arado especial con dos rejas: una cuchilla superficial y el arado principal. La cuchilla separa los 50 mm de suelo superiores y los coloca en la zanja hecha por el arado principal en la pasada anterior. Al mismo tiempo, el arado principal cava una nueva zanja y coloca el subsuelo levantado sobre la fina capa superior de suelo que ahora se encuentra en el fondo de la zanja previa. Esto hace que los 50 mm de la capa superior de suelo queden enterrados a 450 mm sin que la capa de 50-450 mm sea invertida. Se minimiza así el efecto sobre la fertilidad del suelo, aunque puede ser necesario aún así fertilizarlo después de la implementación. La contaminación queda en gran parte enterrada por debajo de la zona de enraizamiento de los cultivos.</p> <p>Puede ser necesario eliminar plantas, arbustos y árboles antes del arado. Y puede que sea necesario replantar o reemplazar el césped posteriormente. También puede ser necesario aplanar la superficie antes del replantado o resembrado.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o el uso de un material de fijación antes de la implementación para limitar el peligro de resuspensión. (Hoja de datos 44).</p> <p>No se debe repetir el arado de enterramiento de la capa superficial, ya que podría devolver la contaminación a la superficie.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped y suelo en parques, campos de juego y otros espacios abiertos de gran tamaño que no hayan sido arados desde que se produjo el depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para superficies de grandes dimensiones (por ejemplo, parques). |
| Tiempo de aplicación | Se obtiene el beneficio máximo si se lleva a cabo el arado poco después del depósito (antes de que se produzca la migración en el suelo). Sin embargo, continuará siendo eficaz durante varios años después del depósito, ya que, en la mayoría de los casos, la contaminación permanecerá en los 5 cm superiores también durante muchos años. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados o históricos, y en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. Textura del suelo (no es adecuada para suelos arenosos). En casos extremos, la pendiente del área puede que sea una limitación. Es necesaria una profundidad de suelo > 0.5 m. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción tiene un factor de descontaminación (FD) de 1, debido a que no elimina contaminación alguna. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirán en un factor 10 y las tasas de dosis externa beta deberían detenerse completamente. Las reducciones en la tasa de dosis dependerán de los radionucleidos implicados, es decir, de sus energías de emisión gamma. La reducción dependerá también de la profundidad del arado y del perfil de contaminación del suelo con la profundidad en el momento de la implementación, así como del éxito de esta última. La reducción de la tasa de dosis beta es probable que sea del 100 %. |
| Reducción de la resuspensión | Mediante el enterramiento eficaz de la mayor parte de la contaminación, la actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 100. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las condiciones meteorológicas. La correcta implementación de la opción. |

[Volver a la lista de opciones](#)

43 Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing)

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>La textura del suelo. El perfil de contaminación del suelo. La proporción del área cubierta de césped/suelo. El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia. Si se han aplicado opciones de recuperación a otras superficies de terreno cercanas.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Arado de enterramiento de la capa superficial (Skim and burial plough). Tractor potente. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. El equipamiento para el arado de enterramiento de la capa superficial no está fácilmente disponible en toda Europa en la actualidad. Puesto que este procedimiento conserva la eficacia durante varios años, se podría utilizar un solo arado para una gran extensión de terreno.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento. | | | | | | | |
| Consumibles | Combustible y recambios para el transporte de vehículos y equipamiento. | | | | | | | |
| Habilidades | Es esencial personal cualificado para el arado para implementar esta opción. Este debe ser cuidadosamente instruido acerca del objetivo. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Condiciones con mucho polvo: puede ser recomendable el uso de protección respiratoria y ropa de protección para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida.. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 15-20 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | <5 | 5-10 | 5-10 | 10-15 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tiempo de implementación. El impacto del arado en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales) (se puede controlar con el uso de tractores con aire acondicionado). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

43 Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing)

| | |
|-------------------------------------|---|
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 10 ³ – 3 10 ³ m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>La cantidad de vegetación.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> <p>La planeidad de la superficie de terreno.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La habilidad del operario.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo (reducido mediante el resembrado de césped).</p> <p>Esta técnica acercará la contaminación hacia las aguas subterráneas.</p> <p>Aceptación del impacto sobre flora y fauna y la pérdida de plantas y arbustos.</p> <p>Pérdida parcial de fertilidad del suelo.</p> <p>Complica mucho la eliminación posterior de la contaminación.</p> <p>No debe ararse profundamente la tierra en el futuro.</p> <p>Puede que sea necesario aplanar el suelo después de la aplicación y antes de su uso.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas.</p> <p>Se deja la contaminación <i>in situ</i>.</p> <p>Pérdida temporal del uso de equipamientos públicos.</p> |
| Experiencia práctica | Probado en varias ocasiones tras Chernobyl en la antigua Unión Soviética y en Dinamarca en áreas de 1000-2000 m ² . |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG, Rantavaara A, Roed J, Rosén K, Salbu B and Skipperud L (2000). <i>A guide to countermeasures for implementation in the event of a nuclear accident affecting Nordic food-producing areas</i>. NKS/BOK 1.4 project report NKS-16, ISBN 87-7893-066-9, 76p.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (1996). The skim and burial plough: a new implement for reclamation of radioactively contaminated land. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 33, (2), 117-128.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

44 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación debidas a material resuspendido de áreas de suelo/césped, en áreas habitadas a corto plazo. |
| Otros beneficios | Puede ser bueno para diluir la contaminación. Y esto puede reducir las dosis externas y, a largo plazo, las dosis por inhalación debidas a material resuspendido. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se puede utilizar agua, pintura acrílica (Vinamul) o lignina (un producto residual no tóxico de la producción de papel) para fijar la contaminación sobre las superficies de césped/suelo. El procedimiento de implementación depende de qué sustancia se utilice y del tamaño del área a tratar.</p> <p>Agua: para áreas pequeñas, se rocían dichas áreas con agua utilizando una manguera conectada a un hidrante. Para áreas grandes, se utilizan grandes carretes de mangueras que giran gracias a una turbina de agua. A medida que el carrete gira, una cortina de agua pulverizada es despedida por este, impulsándose a sí mismo por toda el área. Cuando un área está completa, un tractor remolca el carrete hasta el área siguiente.</p> <p>Habría que señalar que esta opción de gestión no debería utilizarse si el objetivo es fijar la contaminación al césped antes de cortarlo, ya que el agua lavará la contaminación hacia el suelo y la capa de enraizamiento.</p> <p>Pintura acrílica: para áreas pequeñas, se rocían dichas áreas con pequeñas gotas de 100 µm de diámetro, para asegurar que las partículas radiactivas se adhieren a la pintura en lugar de ser eliminadas de la superficie. Esto se logra utilizando una pistola atomizadora con una bomba de vacío. Para áreas grandes, la pintura se aplica mediante una cortina de pulverización remolcada por un tractor.</p> <p>Lignina: la lignina se rocía sobre la superficie y se mezcla con las partículas de suelo en una fina capa superior del mismo (la extensión depende de la dilución en agua y la humedad ambiental).</p> <p>Dependiendo del objetivo (fijación a largo o corto plazo) y el material de fijación utilizado, puede ser necesario repetir la aplicación para mantener la integridad del recubrimiento.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. |
| Radionucleidos de interés | Radionucleidos emisores alfa que dan lugar a dosis por inhalación debidas a material resuspendido. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. |
| Tiempo de aplicación | En cualquier momento después del depósito; sin embargo, se logra el máximo beneficio si se lleva a cabo poco después del depósito, antes de que se produzca la penetración y fijación de la contaminación en el suelo. La fijación es efectiva durante el periodo en el cual se mantiene la integridad del recubrimiento. La eficacia se reduce después de que llueva. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Acceso a la propiedad. Uso en áreas de conservación. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío, especialmente para la fijación con agua. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Esta opción no se aplica para descontaminar una superficie, de manera que el factor de descontaminación (FD) es 1. En la práctica, puede eliminarse algo de contaminación junto con el material de fijación (si este se elimina posteriormente) y parte de la actividad puede lavarse sobre otras superficies si se utiliza agua. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Esta opción puede ser eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa beta sobre la superficie mientras el fijador permanezca intacto, pero no es eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa gamma. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá en cerca de un 100 % mientras el fijador permanezca intacto. La aplicación de agua ayudará a la unión de la actividad con las partículas del suelo y puede lavar la contaminación por debajo de la superficie, reduciendo en ambos casos la resuspensión a largo plazo. Sin embargo, si no se eliminan plantas, arbustos y árboles, estos todavía contribuirán a las dosis por inhalación debidas a material resuspendido. |

[Volver a la lista de opciones](#)

44 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | |
|---|---|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las condiciones meteorológicas. La correcta aplicación del material de fijación sobre el área contaminada. Las superficies de suelo y césped no deben estar cubiertas de nieve. La longitud del césped (para la lignina y la pintura): es preferible que el césped sea más corto para facilitar la unión. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Depende del material utilizado y el tamaño del área a tratar. Fijación con agua: en áreas de pequeña superficie se utiliza una manguera y un hidrante. Para áreas grandes, se utilizan un carrete de manguera giratorio, una bomba y un tractor con cortina de pulverización. Fijación con pintura: en áreas de pequeña superficie se utilizan un pulverizador con bomba de vacío y un compresor de aire. Para áreas grandes se utiliza un tractor con una cortina de pulverización. En todos los casos, son necesarios vehículos de transporte para el equipamiento. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). Suministro de agua. |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte. Agua, pintura acrílica (por ejemplo, Vinamul), lignina. |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para operar los equipos. |
| Precauciones de seguridad | Se recomienda el uso de ropa impermeable al utilizar agua. Puede ser necesario el uso de ropa de protección adicional al aplicar la pintura. Equipo de protección respiratoria (EPR) para proteger frente a la pintura pulverizada. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. La fijación será 100 % eficaz en la reducción de las dosis por resuspensión debidas a la superficie tratada en el periodo durante el cual el material de fijación esté colocado, mientras su integridad permanezca intacta. Hay que señalar que para el agua es probable que esto solo sea posible durante un periodo muy corto. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. La cantidad de césped/suelo en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tiempo de implementación. El impacto sobre las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre la superficie debido a la meteorización natural (la migración en el suelo es lenta). El periodo de tiempo durante el cual el material de fijación está colocado. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 10 ² – 3 10 ³ m ² /equipo.hr dependiendo del material de fijación y el equipamiento utilizados. Tamaño del equipo: 2 personas. |

[Volver a la lista de opciones](#)

44 Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies)

| | |
|-------------------------------------|---|
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La proximidad de suministros de agua.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La contaminación química debida a la pintura acrílica (Vinamul) que migra hacia el interior del suelo puede ser un tema de preocupación.</p> <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción puede que tengan un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | Percepción de que se está contaminando el medio ambiente con productos químicos. |
| Experiencia práctica | <p>Agua y pintura: ninguna.</p> <p>Lignina: se ha probado a pequeña escala (solo unos pocos m²) en Dinamarca, junto con la eliminación. Se han llevado a cabo ensayos a escala real sobre el uso de la lignina para la supresión de polvo en Estados Unidos y Suecia, donde se utiliza de manera habitual.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG and Roed J (1994). The behaviour of Chernobyl ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs and ¹⁰⁶Ru in undisturbed soil: implications for external radiation. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 22, 183-196.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Dick JL and Baker TP (1961). Monitoring and decontamination techniques for plutonium fallout on large-area surfaces. Air Force Special Weapons Center, NT-1512.</p> <p>Tawil JJ and Bold FC (1983). <i>A Guide to Radiation Fixatives</i>. Pacific Northwest Laboratory, Richland, Washington 99352, USA, PNL-4903, 1983.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Esta opción de gestión fue considerada en conjunto con la eliminación de suelo en el proyecto STRATEGY en 2003 en la Hoja de datos denominada “<i>Topsoil removal applying lignin coating</i>”.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

45 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual)

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de áreas de césped y suelo. La eliminación de actividad de áreas con césped en los jardines puede reducir la posterior contaminación del suelo utilizado para cultivar alimentos. Y esto a su vez puede reducir la captación por parte de dichos alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se eliminan el césped y los 50 mm superiores de la capa superficial del suelo utilizando una pala. Puede que antes sea necesario eliminar cualquier planta y arbusto. Opcionalmente, el suelo puede ser reemplazado y se puede resembrar o replantar el césped dependiendo del tamaño del área.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o la utilización de un material de fijación antes de la implementación, para limitar el peligro debido a la resuspensión si se implementa la eliminación en los primeros pocos meses tras el depósito (Hoja de datos 44). A largo plazo, la mayor parte de la contaminación estará unida a las partículas del suelo que no están en el rango respirable.</p> |
| Objeto de interés | <p>Superficies de césped en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos pequeños.</p> <p>No se recomienda su aplicación sobre terrenos que hayan sido arados después de que se haya producido el incidente. (Las áreas aradas se pueden tratar pero el volumen de residuos será mucho mayor, ya que tendrá que ser eliminada una mayor profundidad de suelo).</p> |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada para áreas pequeñas (por ejemplo, jardines pequeños). |
| Tiempo de aplicación | Se logrará la máxima eficacia durante varios años después de que se haya producido el depósito, ya que la mayoría de los contaminantes migran muy lentamente hacia abajo a través del perfil del suelo. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de los residuos recogidos.</p> <p>Uso en emplazamientos catalogados o históricos, y en áreas de conservación.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo extremadamente frío.</p> <p>Textura del suelo.</p> <p>En casos extremos, la pendiente del área puede suponer una limitación.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 10 y 30 si la profundidad de eliminación se optimiza poco después del depósito.</p> <p>Si se utiliza una profundidad de eliminación estándar, la eficacia se reducirá con el tiempo, ya que la contaminación migra hacia profundidades mayores en el suelo.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie del suelo se reducirán según el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según el FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones meteorológicas, en particular aquellas existentes en el momento del depósito, y la cantidad de lluvia tras dicho depósito.</p> <p>La correcta implementación de la opción: debe recogerse todo el césped y el suelo para alcanzar el valor del FD mencionado. Una vez la contaminación ha migrado por debajo de los 50 mm de profundidad, la técnica empezará a ser menos eficaz a menos que se aumente la profundidad de eliminación. Es probable que esto lleve varios años tras el depósito.</p> <p>La textura del suelo: los suelos secos y poco consistentes serán más difíciles de eliminar.</p> <p>La planeidad del terreno.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

45 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual)

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>La cantidad de área cubierta de césped/suelo.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>El tiempo de operación (la contaminación migra hacia el interior del suelo con el tiempo).</p> <p>Si se han aplicado opciones de recuperación a las superficies de terreno adyacentes.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>(Depende del tamaño del área a tratar).</p> <p>Pala.</p> <p>Máquina para la siembra (si es necesario).</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para los vehículos y el equipamiento.</p> <p>Capa superior de suelo.</p> <p>Plantas y césped o semillas (si es necesario).</p> | | | | | | | |
| Habilidades | <p>Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Debe tenerse cuidado para eliminar el suelo hasta la profundidad óptima. Esta opción podría, hasta cierto punto, ser implementada por los habitantes del área afectada como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades y la provisión del equipamiento de seguridad y de otro tipo necesario.</p> <p>Debería señalarse que esta opción requiere trabajo físico intenso, del que no todas las personas serían capaces.</p> | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Bajo condiciones de mucho polvo puede ser recomendable la utilización de protección respiratoria y de ropa/guantes protectores para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> $5.5 \cdot 10^1 - 7 \cdot 10^1 \text{ kg m}^{-2}$ si se eliminan 5 cm de profundidad.</p> <p><i>Tipo:</i> Suelo y césped.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 60-65 | 5-10 | 15-20 | 15-20 | 30-35 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La implementación eficaz en un área extensa.</p> <p>Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y del tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la eliminación de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre dichas superficies debido a la meteorización natural.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

45 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual)

| | |
|--|---|
| <p>Tiempo de operario</p> | <p>1 10¹ m² h⁻¹ equipo⁻¹.</p> <p>Tamaño del equipo: 1 persona para eliminar la capa superficial del suelo y el césped. Hasta 4 personas si se llevan a cabo trabajos adicionales para reemplazar el suelo, resembrar o replantar el césped.</p> |
| <p>Factores que influyen en los costes</p> | <p>El tipo de suelo, su estado y la profundidad a eliminar.</p> <p>La cantidad de vegetación a eliminar.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> <p>La planeidad de la superficie del terreno.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> |
| <p>Efectos secundarios</p> | |
| <p>Impacto medioambiental</p> | <p>Riesgo de erosión del suelo.</p> <p>Posible impacto adverso en la biodiversidad.</p> <p>Pérdida de plantas, arbustos, etc.</p> <p>Posible pérdida de fertilidad del suelo.</p> <p>Eliminación o almacenamiento de residuos. Sin embargo, esta cuestión puede minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| <p>Impacto social</p> | <p>Efecto estético adverso de la eliminación, incluso si se reemplaza.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de que se implemente la eliminación del césped y la capa superficial del suelo y, posteriormente, mientras el césped crece/se asienta.</p> <p>La eliminación de residuos puede no ser aceptable.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos.</p> |
| <p>Experiencia práctica</p> | <p>Probado a media-gran escala (~ 400 m²) en varias ocasiones en la antigua Unión Soviética. Se llevó a cabo a gran escala por parte de las autoridades rusas tras el accidente de Chernobyl, pero no se optimizó con respecto a la distribución de la contaminación, y no se implementó de manera consistente sobre un área extensa.</p> |
| <p>Referencias clave</p> | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Fogh CL, Andersson KG, Barkovsky AN, Mishine AS, Ponomarjov AV, Ramzaev VP and Roed J (1999). Decontamination in a Russian settlement. <i>Health Physics</i>, 76, (4), 421-430.</p> <p>Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, Ponomarjov AV, Varkovsky AN, Mishine AS, Vorobiev BF, Chesnokov AV, Potapov VN and Shcherbak SB (1996). <i>Decontamination in a Russian settlement</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-870, ISBN 87-550-2152-2.</p> |
| <p>Versión</p> | <p>2</p> |
| <p>Historia del documento</p> | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Denominada "Top soil removal by machines" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> <p>Hoja de datos denominada "Soil/turf removal" en el <i>UK Handbook 2005</i> y dividida en dos hojas de datos en el proyecto EURANOS en 2005 denominadas "Top soil and turf removal (mechanical)" y "Top soil and turf removal (manual)".</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

46 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica)

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de áreas de césped y suelo. La eliminación de actividad de áreas con césped en los jardines puede reducir la posterior contaminación del suelo utilizado para cultivar alimentos. Y esto a su vez puede reducir la captación por parte de dichos alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se eliminan el césped y los 50 mm superiores de la capa superficial del suelo. La eliminación se puede realizar con un <i>bulldozer</i> de pequeño tamaño, que sea fácil de maniobrar en espacios reducidos, o con otro equipamiento similar. Las dimensiones del equipamiento utilizado dependerán del tamaño del área. Puede que antes sea necesario eliminar cualquier planta y arbusto. Opcionalmente, el suelo puede ser reemplazado y se puede resembrar o replantar el césped, dependiendo del tamaño del área.</p> <p>Es probable que esta opción genere polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o la utilización de un material de fijación antes de la implementación, para limitar el peligro debido a la resuspensión si se implementa la eliminación en los primeros pocos meses tras el depósito (Hoja de datos 44). A largo plazo, la mayor parte de la contaminación estará unida a las partículas del suelo que no están en el rango respirable.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. No es recomendable su aplicación en terrenos que hayan sido arados después de que se haya producido el incidente. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. |
| Tiempo de aplicación | <p>Se logrará la máxima eficacia durante varios años tras el depósito ya que la mayoría de los contaminantes migran muy lentamente hacia abajo a través del perfil del suelo.</p> <p>Puede ser beneficioso esperar hasta que caigan las primeras lluvias de manera que la mayor parte del polvo se haya lavado desde otras superficies exteriores y edificios hacia las áreas de suelo y césped.</p> |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de los residuos recogidos.</p> <p>Uso en emplazamientos catalogados o históricos importantes, y en áreas de conservación.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo extremadamente frío.</p> <p>Textura del suelo.</p> <p>En casos extremos, la pendiente del área puede suponer una limitación.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 10 y 30 si la profundidad de eliminación se optimiza. Si se utiliza una profundidad de eliminación estándar, la eficacia se reducirá con el tiempo, ya que la contaminación migra hacia profundidades mayores en el suelo. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie del suelo se reducirán en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá según el FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones meteorológicas.</p> <p>La textura del suelo: los suelos secos y poco consistentes serán más difíciles de eliminar completamente.</p> <p>La planeidad del terreno.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>El tiempo de operación (la contaminación migra hacia el interior del suelo con el tiempo).</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

46 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica)

| | |
|---|---|
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | (Depende del tamaño del área a tratar). Raspador motorizado. Motoniveladora o <i>bulldozer</i> . Máquina para la siembra (si es necesario). Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos. |
| Consumibles | Combustible y recambios para los vehículos de transporte y el equipamiento. Capa superficial de suelo. Plantas y césped o semillas. |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Se requerirá el empleo de personal cualificado si se utilizan equipos a gran escala. Debe tenerse cuidado para eliminar el suelo hasta la profundidad óptima, y no arrastrar la contaminación hacia la zona limpiada. |
| Precauciones de seguridad | Bajo condiciones de mucho polvo puede ser recomendable la utilización de protección respiratoria y de ropa/guantes protectores para reducir el peligro debido a la actividad resuspendida. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> $5.5 \cdot 10^1 - 7 \cdot 10^1$ kg m ² si se eliminan 5 cm de profundidad. <i>Tipo:</i> Suelo y césped. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | Depósito seco: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 30 % en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada, poco después de la descontaminación de las superficies de suelo o césped. Depósito húmedo: reducciones de aproximadamente el 65 %. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La implementación eficaz de la opción en un área extensa. Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y del tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas. El tiempo de implementación. El impacto de la eliminación de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre dichas superficies debido a la meteorización natural. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | $1 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2$ m ² /equipo.hr para la eliminación de suelo. Si el área es trasplantada de césped, la tarea es la más lenta, con tasas de trabajo de 80 – 100 m ² / equipo hr. (Depende del equipamiento utilizado. Posiblemente sea mucho más lento en áreas pequeñas.) Tamaño del equipo: 2 personas para la eliminación de suelo y césped. En áreas grandes, el reemplazo del suelo podría requerir 2 personas adicionales, el trasplante de césped, 6, y el resembrado de este, 4. |
| Factores que influyen en los costes | El tipo de suelo, su estado y la profundidad a eliminar. La cantidad de vegetación a eliminar. El tiempo atmosférico. La topografía. |

[Volver a la lista de opciones](#)

46 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica)

| | |
|------------------------|---|
| | <p>El tamaño del área.</p> <p>La planeidad de la superficie del terreno.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo.</p> <p>Posible impacto adverso en la biodiversidad.</p> <p>Pérdida de plantas, arbustos, etc.</p> <p>Posible pérdida parcial de fertilidad del suelo, y puede que, en algunos casos, se elimine completamente la capa fértil.</p> <p>Eliminación o almacenamiento de residuos. Sin embargo, esta cuestión puede minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso de la eliminación, incluso si se reemplaza.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de que se implemente la eliminación del césped y la capa superficial del suelo, y, posteriormente, mientras el césped crece/se asienta.</p> <p>La eliminación de residuos puede no ser aceptable.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a media-gran escala (~ 2000 m²) en varias ocasiones en la antigua Unión Soviética.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Fogh CL, Andersson KG, Barkovsky AN, Mishine AS, Ponamarjov AV, Ramzaev VP and Roed J (1999). Decontamination in a Russian settlement. <i>Health Physics</i>, 76, (4), 421-430.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Roed J, Andersson KG, Varkovsky AN, Fogh CL, Mishine AS, Olsen SK, Ponamarjov AV, Prip H, Ramzaev VP, Vorobiev VF (1998). <i>Mechanical decontamination tests in areas affected by the Chernobyl accident</i>. Risø-R-1029, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Roed J, Lange C, Andersson KG, Prip H, Olsen S, Ramzaev VP, Ponamarjov AV, Varkovsky AN, Mishine AS, Vorobiev BF, Chesnokov AV, Potapov VN and Shcherbak SB (1996). <i>Decontamination in a Russian settlement</i>. Risø National Laboratory, Risø-R-870, ISBN 87-550-2152-2.</p> <p>Vovk IF, Blagoyev VV, Lyashenko AN and Kovalev IS (1993). Technical approaches to decontamination of terrestrial environments in the CIS (former USSR). <i>Science of the Total Environment</i>, 137, 49-64.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | <p>Ver Tabla 3.2.</p> <p>Denominada "Top soil removal by machines" en el proyecto STRATEGY en 2003.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

46 Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica)

Hoja de datos denominada "*Soil/turf removal*" en el *UK Handbook 2005* y dividida en dos hojas de datos en el proyecto EURANOS en 2005 denominadas "*Top soil and turf removal (mechanical)*" y "*Top soil and turf removal (manual)*".

[Volver a la lista de opciones](#)

47 Cavado triple

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped o suelo, en áreas habitadas (con la mínima pérdida posible de fertilidad). |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Utilizando una pala, se cambia el orden de tres capas verticales de suelo. La fina capa superior de suelo y vegetación (sobre 5 cm de grosor – optimizada según la profundidad de la contaminación) se invierte y se entierra en la parte inferior. La capa inferior (en torno a 15-20 cm de grosor) se coloca encima de esta; y la capa intermedia (sobre 5-15 cm de grosor), que no debería invertirse con el fin de mantener la fertilidad, se coloca en la parte superior. La contaminación que estaba en la superficie, o dentro de los pocos centímetros superiores, queda de esta manera bien blindada.</p> <p>Puede ser necesario eliminar plantas y arbustos de gran tamaño antes del cavado y posteriormente puede que sea necesario replantar y resembrar o trasplantar de nuevo el césped.</p> <p>La mezcla de la contaminación debida al cavado triple es irreversible y complicará mucho la posterior eliminación de contaminación.</p> <p>En condiciones secas, esta opción puede dar lugar a que se levante polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie antes de la implementación, para limitar el peligro de resuspensión.</p> <p>Otros métodos de cavado pueden ser más adecuados y se describen en la Hoja de datos 39 (cavado manual) y en la Hoja de datos 42 (rotocultor).</p> <p>No se debe repetir el cavado triple, ya que podría devolver la contaminación a la superficie.</p> |
| Objeto de interés | Superficies de césped y suelo en jardines y otros espacios abiertos de pequeñas dimensiones, que no hayan sido arados desde el depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta. |
| Escala de aplicación | Adecuada solo para áreas pequeñas de suelo/césped (por ejemplo, jardines). |
| Tiempo de aplicación | <p>Se logrará la máxima eficacia durante varios años después de que se haya producido el depósito, ya que la contaminación permanecería en los 5 cm superiores también durante muchos años. El cavado triple seguirá siendo eficaz hasta 10 años después del depósito, aunque la eficacia se reducirá con el tiempo, a menos que se incremente la profundidad de la capa superior de suelo que es enterrada, de manera que se entierre también toda la contaminación.</p> <p>Puede ser beneficioso esperar hasta después de las primeras lluvias, de manera que se haya lavado la mayor parte del polvo sobre otras superficies exteriores y edificios hacia las zonas de suelo y césped.</p> |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Protección del patrimonio cultural.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo extremadamente frío.</p> <p>Textura del suelo.</p> <p>En casos extremos, la pendiente del área puede que sea una limitación.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | El factor de descontaminación (FD) será 1, ya que no se elimina contaminación alguna mediante esta opción. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Se puede esperar que se reduzcan las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie en un factor de entre 5 y 10 para emisores gamma de media a alta energía, como el Cesio. La reducción en la tasa de dosis dependerá de los radionucleidos implicados, es decir, de la energía de sus emisiones gamma. Para alcanzar las reducciones mencionadas anteriormente, es necesario enterrar toda la contaminación de la capa superior.</p> <p>La reducción en la tasa de dosis beta será probablemente del 100 % si la técnica se implementa eficazmente.</p> |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie de césped/suelo se reducirá a cero si la técnica se implementa eficazmente. |

[Volver a la lista de opciones](#)

47 Cavado triple

| | |
|---|--|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La correcta implementación: es importante que se entierre toda la contaminación superficial para lograr el factor de reducción mencionado.</p> <p>El tipo de suelo y su estado: si el suelo está muy seco y suelto, es poco probable que el cavado triple pueda ser implementado de manera eficaz.</p> <p>El tamaño del área: el cavado aplicado sobre grandes áreas dará lugar a mayores reducciones en la tasa de dosis superficial.</p> <p>Si el suelo ha sido arado desde el depósito.</p> <p>El tiempo de implementación. Si la contaminación ha migrado por debajo de la capa superior (~ 5 cm), la técnica será menos eficaz.</p> <p>Un elevado nivel freático puede impedir el cavado profundo.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Palas. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Ninguno. |
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Es necesario que las personas estén en forma, debido a la naturaleza física del trabajo. |
| Precauciones de seguridad | Equipos de protección personal (EPP). |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Ninguno. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado, pero es posible que sean similares a las correspondientes al cavado manual (Hoja de datos 39) y al arado de enterramiento de la capa superficial - <i>skim and burial ploughing</i> - (Hoja de datos 43). |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y el tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto del cavado triple en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si solo se cavan áreas de suelo, es necesario considerar otras opciones para las áreas con césped.</p> |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 – 3 m ² /equipo.hr (tamaño del equipo: 1 persona). |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado (por ejemplo, humedad, estación).</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>La planeidad de la superficie de terreno.</p> <p>La accesibilidad a jardines y otras áreas.</p> <p>La utilización de equipos de protección personal (EPP).</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Riesgo de erosión del suelo.</p> <p>El procedimiento acerca la contaminación hacia las aguas subterráneas.</p> <p>Puede reducir la fertilidad.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

| 47 Cavado triple | |
|-------------------------|--|
| | <p>Complica mucho la eliminación posterior de contaminación ya que se generarán más residuos y la mezcla hará más difícil la segregación de residuos contaminados .</p> <p>La aceptación del impacto sobre flora y fauna y la destrucción de jardines plantados y áreas de esparcimiento.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso (especialmente para áreas con césped).</p> <p>Aceptación del hecho de que se deja la contaminación <i>in situ</i>.</p> <p>Restricción sobre algunas actividades de jardinería en el futuro (por ejemplo, prohibición de cavar a profundidades de 200 mm o superiores).</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probada varias veces tras el accidente de Chernobyl, en parcelas de aproximadamente 100-200 m² en la antigua Unión Soviética.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H. (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Roed J, Andersson KG, Fogh CL, Barkovski AN, Vorobiev BF, Potapov VN, Chesnokov AV (1999). Triple Digging – a simple method for restoration of radioactively contaminated urban soil areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 45, (2), 173-183.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

48 Retirada de césped

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas beta y gamma debidas a la contaminación en áreas exteriores cubiertas de césped, en áreas habitadas, y reducir las dosis por inhalación debidas a material resuspendido de estas áreas. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de áreas de césped. La eliminación de actividad de áreas con césped en los jardines puede reducir la posterior contaminación del suelo utilizado para cultivar alimentos. Y esto a su vez puede reducir la captación por parte de dichos alimentos cultivados. |
| Descripción de la opción de gestión | Se elimina el césped y, de manera opcional, posteriormente se vuelve a sembrar o se trasplanta. La eliminación se lleva a cabo utilizando una cosechadora de césped que quita una fina capa de suelo/capa de enraizamiento (en torno a 1 cm) con el césped en forma de rollos o planchas. Estas máquinas están disponibles en varios tamaños. La eliminación manual de césped se trata en la Hoja de datos 45 . Es probable que esta opción genere polvo, de manera que se recomienda la aplicación de agua para humedecer la superficie o la utilización de un material de fijación antes de la implementación, para limitar el peligro debido a la resuspensión (Hoja de datos 44). |
| Objeto de interés | Superficies de césped en jardines, parques, campos de juego y otros espacios abiertos. Las áreas de césped deben estar maduras, es decir, deben tener una capa de enraizamiento estable. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito y antes de que se produzca el lavado de actividad desde el césped hacia el suelo subyacente. Sin embargo, continuará siendo eficaz durante varios años después de que se produzca el depósito, ya que parte de la actividad permanecerá en la capa de enraizamiento del césped. Puede ser beneficioso esperar hasta que caigan las primeras lluvias, de manera que la mayor parte del polvo se haya lavado desde otras superficies exteriores y edificios hacia las áreas de césped. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Uso en emplazamientos catalogados u otros históricos importantes, y en áreas de conservación. Acceso a la propiedad. Eliminación de los residuos recogidos. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. En casos extremos, la pendiente del área puede suponer una limitación. La planeidad del suelo. Los equipos de cosechado del césped son muy delicados con respecto a las piedras y las rocas. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de 3 - 10 si se implementa la opción poco después del depósito. La eficacia se reducirá con el tiempo, ya que la contaminación migra hacia profundidades mayores en el suelo. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta en el aire sobre una superficie de césped se reducirán en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire sobre la superficie de césped se reducirá según el valor del FD. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | Las condiciones meteorológicas, en particular aquellas existentes en el momento del depósito, y la cantidad de lluvia después de dicho depósito. La correcta implementación de la opción - debe recogerse todo el césped para alcanzar los valores de FD mencionados. Una vez la contaminación ha migrado por debajo de la superficie del césped, la técnica empezará a ser menos eficaz. La textura del suelo (¿el suelo contiene piedras?, etc.). La planeidad de la superficie. |

[Volver a la lista de opciones](#)

48 Retirada de césped

| | | | | | | | | |
|---|---|--------|-----------------|--------|--|--------|-----------------|--------|
| | <p>La implementación eficaz.</p> <p>El tamaño del área cubierta por el césped.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> <p>Si se han aplicado opciones de recuperación a las superficies de terreno adyacentes.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>(Depende del tamaño del área a tratar).</p> <p>Cortadora/cosechadora de césped (tamaños comerciales y domésticos).</p> <p>Máquina de siembra (si es necesario).</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Combustible y recambios para los vehículos de transporte y el equipamiento.</p> <p>Césped o semillas.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. Puede ser necesario emplear personal cualificado si se utilizan equipos a gran escala. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | Bajo condiciones de mucho polvo, puede ser recomendable la utilización de protección respiratoria y ropa/guantes de protección. | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> $2 \cdot 10^1 - 3 \cdot 10^1 \text{ kg m}^{-2}$ si se eliminan 2 – 2.5 cm de profundidad.</p> <p><i>Tipo:</i> Suelo y césped.</p> <p>La segregación de los residuos contaminados es posible que sea difícil. La monitorización de los residuos para determinar si cumplen con los criterios actuales de eliminación será importante para asegurar que se minimiza la cantidad de residuos que requieren una gestión especial.</p> | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 | | | | Pu-239 | | | |
| | (% de reducción en la dosis externa) | | | | (% de reducción en la dosis de resuspensión) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 60-65 | 5-10 | 15-20 | 15-20 | 30-35 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>Las reducciones en las dosis externas y por resuspensión recibidas por un miembro del público que viva en el área dependerán de la cantidad de área cubierta por césped y del tiempo que pasen los individuos en dichas áreas o cerca de ellas.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la eliminación de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre las superficies debido a la meteorización natural.</p> <p>Si se lleva a cabo también la descontaminación de las superficies de suelo adyacentes.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

48 Retirada de césped

| Costes de intervención | |
|-------------------------------------|--|
| Tiempo de operario | <p>$1.5 \cdot 10^2 - 1 \cdot 10^3$ m²/equipo.hr para la eliminación de césped (depende del equipamiento utilizado. Los tractores equipados con modernas cosechadoras de césped pueden eliminar cerca de 1200 m²/hr).</p> <p>Tamaño del equipo: 2 personas para la eliminación del césped. Para la colocación de nuevo césped serían necesarias 4 personas más en el equipo.</p> |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de suelo y su estado.</p> <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>La topografía.</p> <p>El tamaño del área.</p> <p>La planeidad de la superficie de terreno.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Posible impacto adverso en la biodiversidad.</p> <p>Eliminación o almacenamiento de residuos. Sin embargo, esta cuestión puede minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Riesgo de erosión del suelo.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso de la eliminación del césped, incluso si este se reemplaza.</p> <p>Puede ser necesario restringir temporalmente el acceso a áreas públicas antes de que se implemente la eliminación del césped y, posteriormente, mientras el césped crece/se asienta.</p> <p>Pérdida de equipamientos públicos a corto plazo</p> <p>La eliminación de residuos puede no ser aceptable.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado en praderas relativamente grandes en la antigua Unión Soviética.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG, Rantavaara A, Roed J, Rosén K, Salbu B and Skipperud L (2000). <i>A guide to countermeasures for implementation in the event of a nuclear accident affecting Nordic food-producing areas</i>. NKS/BOK 1.4 project report NKS-16, ISBN 87-7893-066-9, 76p.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

49 Revestimiento polímero retirable

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre fachadas y cubiertas de edificios y sobre las superficies pavimentadas/carreteras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies exteriores de los edificios y de las superficies pavimentadas/carreteras. Los revestimientos polímeros retirables también detendrán las dosis por inhalación debidas a material resuspendido, para el público y los trabajadores que se encarguen de la implementación de las opciones de recuperación, mientras estén colocados (fijación). |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Detex o Pelableau son ejemplos de revestimientos polímeros retirables. Puede haber otros materiales adecuados para el mismo uso (por ejemplo, PVA).</p> <p>- <i>Detex</i>: en edificios, se aplica con brocha porque es difícil de usar en una pistola pulverizadora. Además, este tipo de aplicación empuja el líquido hacia el interior de las superficies y hendiduras, lo cual es mejor para la descontaminación. En superficies planas, puede verse manualmente y extenderse utilizando rastrillos metálicos. Después del curado (45 minutos - 2 horas), la película de polímero se retira utilizando un cuchillo o pelándola. La contaminación se adhiere a la película retirable, que posteriormente se elimina como residuo activo sólido.</p> <p>- <i>Pelableau</i>: se rocía sobre la superficie utilizando una bomba de vacío. Después del curado se retira la película. No está ampliamente disponible y no es adecuado para el uso sobre tejados, lo que reduce su utilidad.</p> |
| Objeto de interés | Fachadas y cubiertas de edificios. Superficies pavimentadas (carreteras, aceras, caminos, etc.). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. Como opción de fijación: radionucleidos emisores alfa que dan lugar a dosis por inhalación debidas a material resuspendido. |
| Escala de aplicación | Adecuada para áreas pequeñas (por ejemplo, casas, aceras, patios de recreo). Es improbable que sea adecuada para áreas grandes ya que los revestimientos pueden resultar muy difíciles de extraer intactos cuando se usan sobre grandes áreas superficiales. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito, cuando el máximo de contaminación todavía está sobre la superficie. El revestimiento extraíble será eficaz frenando la resuspensión durante el periodo en el cual permanezca intacto. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Uso en edificios catalogados, emplazamientos históricamente importantes y áreas de conservación. Legislación sobre eliminación de residuos sólidos. Acceso a la propiedad. |
| Restricciones del entorno | Tiempo extremadamente frío. No se puede aplicar con tiempo húmedo. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de hasta 5 si se implementa esta opción de eliminación en pocas semanas después del depósito. Es posible que esta opción sea más eficaz si se utiliza sobre superficies lisas (ver la Hoja de datos 53 para más información sobre el uso de revestimientos polímeros retirables sobre superficies metálicas). Una aplicación mas tardía es posible que dé como resultado un FD menor, en particular en materiales de construcción porosos, como ladrillos y tejas. La aplicación repetida puede aportar un beneficio adicional, es decir, un aumento en la contaminación eliminada. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta debidas a fachadas y cubiertas, se reducirán en aproximadamente el valor del FD. |
| Reducción de la resuspensión | A largo plazo, la actividad resuspendida en el aire adyacente a las superficies se reducirá en un factor de reducción de la resuspensión (FRR) de 5. Mientras el revestimiento retirable está colocado, la actividad resuspendida en el aire se reducirá en casi el 100 %. |

[Volver a la lista de opciones](#)

49 Revestimiento polímero retirable

| | | | | | | | | |
|---|--|--------|-----------------|--------|---|--------|-----------------|--------|
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones meteorológicas y temperatura.</p> <p>El tipo, planeidad y estado de la superficie.</p> <p>El tiempo de operación: cuanto más tiempo pase entre el depósito y la implementación de la opción, menos eficaz será, debido a la fijación de la contaminación a la superficie.</p> <p>La aplicación consistente de revestimientos polímeros retirables en el área contaminada.</p> <p>La viscosidad de los líquidos aplicados.</p> <p>La cantidad de edificios y superficies pavimentadas en el área.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> | | | | | | | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | | | | | | | |
| Viabilidad | | | | | | | | |
| Equipamiento | <p>Escaleras de mano. Andamios. Brochas. Rastrillos metálicos. Pulverizador con bomba de vacío y compresor.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos.</p> | | | | | | | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos. | | | | | | | |
| Consumibles | <p>Revestimientos polímeros retirables.</p> <p>Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos de transporte.</p> | | | | | | | |
| Habilidades | Personal cualificado esencial para aplicar (y retirar) los revestimientos. | | | | | | | |
| Precauciones de seguridad | <p>Ropa de protección.</p> <p>Para edificios altos se necesitarán líneas de vida y cascos de seguridad.</p> | | | | | | | |
| Residuos | | | | | | | | |
| Cantidad y tipo | Cantidad: 1 kg m ⁻² . Tipo: Material polímero. | | | | | | | |
| Dosis | | | | | | | | |
| Dosis evitadas | Cs-137 (% de reducción en la dosis externa) | | | | Pu-239 (% de reducción en la dosis por resuspensión a largo plazo después de la retirada) | | | |
| | Durante el primer año | | Durante 50 años | | Durante el primer año | | Durante 50 años | |
| | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo | Seco | Húmedo |
| | 5-10 | <5 | 5-10 | <5 | 0 | <5 | <5 | 0 |
| Las reducciones de dosis se indican únicamente con fines ilustrativos y son para una persona que viva en un área habitada típica. | | | | | | | | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El comportamiento de la población en el área.</p> <p>La cantidad de edificios en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la limpieza de las superficies en las dosis totales se reducirá con el tiempo, ya que habrá menos contaminación sobre dichas superficies debido a la meteorización natural.</p> | | | | | | | |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies. • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> <p>Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP.</p> <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> | | | | | | | |
| Costes de intervención | | | | | | | | |
| Tiempo de operario | <p>7 – 5 10¹ m²/equipo.hr.</p> <p>Tamaño del equipo: 2 personas.</p> | | | | | | | |

[Volver a la lista de opciones](#)

49 Revestimiento polímero retirable

| | |
|-------------------------------------|--|
| Factores que influyen en los costes | <p>El tiempo atmosférico.</p> <p>El tamaño del edificio/la altura/la pendiente del tejado.</p> <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>La accesibilidad.</p> <p>La planeidad de la superficie.</p> <p>El tamaño del área a tratar.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o el almacenamiento de residuos generados por la implementación de esta opción puede que tengan un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | <p>El método para la eliminación de una cantidad tan grande de residuos contaminados puede no ser aceptable para los residentes locales.</p> <p>El tratamiento tendrá el impacto positivo de limpiar las superficies.</p> |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

50 Eliminación de nieve

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación sobre fachadas y cubiertas de edificios y sobre las superficies pavimentadas/carreteras, en áreas habitadas. |
| Otros beneficios | Eliminará la contaminación de las superficies exteriores. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Si el depósito se produce en áreas abiertas cubiertas por una gruesa capa de nieve, la eliminación de esta antes de que comience el deshielo evitará que los contaminantes alcancen la superficie de terreno subyacente. En general, será más importante tratar las áreas de suelo, pero el método podría aplicarse también sobre superficies pavimentadas.</p> <p>Si la nube de nieve estaba contaminada, debería eliminarse toda la nieve.</p> <p>La eliminación puede llevarse a cabo con un <i>bulldozer</i> de pequeñas dimensiones (fácil de maniobrar en áreas pequeñas) o con equipos similares que estén disponibles.</p> <p>Alternativamente, la eliminación se puede realizar con palas, azadas o raspadores manuales. Sin embargo, estas alternativas son mucho más lentas.</p> <p>También debería tenerse en cuenta la eliminación de la nieve de los tejados. Las paredes estarían raramente lo suficientemente contaminadas por la nieve como para requerir una atención especial. Los árboles/arbustos se pueden eliminar/podar como se describe en la Hoja de datos 52.</p> |
| Objeto de interés | La nieve que haya cubierto áreas abiertas, en particular áreas de césped y de suelo, por ejemplo, parques, campos de juego y jardines. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si se implementa rápidamente. |
| Escala de aplicación | Cualquier escala. Adecuada para áreas pequeñas (por ejemplo, jardines) y áreas grandes (por ejemplo, parques, campos de juego, etc.). |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo tan pronto como sea posible después del depósito. Debe realizarse antes de que empiece el deshielo tras el depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Responsabilidades por el posible daño a la propiedad.</p> <p>Legislación sobre eliminación de residuos.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Las tormentas de nieve pueden hacer muy difícil el llevar a cabo el trabajo.</p> <p>En casos extremos, la pendiente del área puede suponer una limitación (depende de la habilidad del operario).</p> <p>Obstáculos, por ejemplo, árboles/arbustos.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Se puede lograr un factor de descontaminación (FD) de entre 10 y 30 si se lleva a cabo esta opción antes de que la nieve se funda y en la medida en que la profundidad de la capa eliminada incluya la contaminación. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa sobre las superficies cubiertas de nieve se reducirán en un valor similar al FD. Si nieva después del depósito, las tasas de dosis externa beta sobre la superficie de nieve es probable que sean despreciables antes de la eliminación. |
| Reducción de la resuspensión | Las concentraciones de resuspensión en el aire sobre la superficie se reducirán en un valor similar al FD. La resuspensión desde una superficie cubierta de nieve será normalmente baja. Si nieva después del depósito, las concentraciones de resuspensión en el aire sobre la superficie de nieve serán nulas antes de la eliminación. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La aplicación eficaz y consistente de la opción en un área extensa.</p> <p>El tiempo de implementación. El impacto de la eliminación de nieve se reducirá con el tiempo una vez comienza su fusión.</p> <p>Con el tiempo, la nieve puede formar montones que den lugar a áreas con mayor contaminación.</p> <p>La capa de nieve debe ser lo suficientemente gruesa como para permitir la eliminación completa de la superficie. Si, por ejemplo, la actividad humana ha comprimido la nieve, será más difícil su completa eliminación.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |

[Volver a la lista de opciones](#)

50 Eliminación de nieve

| | | |
|---|---|--|
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | <i>Bulldozer</i> de pequeñas dimensiones o equipo similar (por ejemplo, tractor con raspador), o palas, azadas o raspadores manuales. Vehículos para el transporte de equipamiento y residuos. | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras para el transporte de equipamiento y residuos. | |
| Consumibles | Combustible y piezas para vehículos. | |
| Habilidades | Se requieren pocas instrucciones. A escala local, la eliminación de nieve del terreno podría llevarse a cabo por parte de los habitantes del área afectada como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades y la provisión del equipamiento de seguridad y de otro tipo necesario. Sin embargo, el trabajo manual requiere trabajo físico intenso, del que no todas las personas serían capaces. | |
| Precauciones de seguridad | Ropa, calzado y guantes impermeables. En caso de helada/tiempo tormentoso, debería considerarse la utilización de protección respiratoria si se lleva a cabo el procedimiento poco después de la contaminación. | |
| Residuos | | |
| Cantidad y tipo | Depende del grosor de la capa de nieve. 5 cm de nieve = 0.5 kg m ⁻² de residuos. | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | Condiciones secas: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 35 % en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada, poco después de la descontaminación de la superficie cubierta de nieve. Depósito húmedo: es probable que las reducciones en las tasas de dosis sean mucho mayores, en torno al 80 %. | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | El comportamiento de la población en el área: el tiempo que pasan los individuos en las superficies cubiertas de nieve o cerca de ellas. La proporción del área que contiene superficies cubiertas de nieve. | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Tasa de trabajo (m ² /equipo.hr) | 2.5 10 ² - 5 10 ² (la eliminación manual probablemente sería en torno a un factor 5 más lenta). Incluye la carga de los residuos en el camión de transporte. |
| | Tamaño del equipo (personas) | 1 |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La topografía. El tamaño del área. El grosor de la capa de nieve a eliminar. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. La utilización de equipos de protección personal (EPP). | |
| Efectos secundarios | | |
| Impacto medioambiental | La eliminación del agua residual generada por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. | |

[Volver a la lista de opciones](#)

50 Eliminación de nieve

| | |
|------------------------|---|
| Impacto social | Tranquilidad pública. Efecto estético adverso limitado, debido al uso de maquinaria relativamente pesada en áreas ajardinadas. |
| Experiencia práctica | Probado con éxito a escala relativamente pequeña en Noruega. |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson, K. G. and Roed, J. (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Qvenild C and Tveten U (1984). <i>Decontamination and winter conditions</i>. Institute for Energy Technology, Kjeller, Norway, ISBN 82-7017-067-4, 1984.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

51 Recogida de hojas

| | |
|---|---|
| Objetivo | <p>Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a las hojas caídas en áreas habitadas.</p> <p>Principalmente se usa cuando el depósito ha tenido lugar en condiciones secas y cuando los árboles y arbustos tienen hojas. Tras un depósito húmedo, se debería considerar la descontaminación del terreno situado bajo los árboles, ya que la mayor parte de la contaminación se lava directamente de estos últimos.</p> |
| Otros beneficios | Ninguno. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se recogen las hojas (árboles y arbustos de hoja caduca), agujas y piñas (coníferas).</p> <p>Se recogen las hojas que han caído de los árboles para su eliminación o compostaje. Puede ser necesaria también una descontaminación adicional de las superficies situadas bajo los árboles/arbustos.</p> <p>No es apropiado el uso de ningún tipo de espray químico para acelerar el proceso de la caída de la hoja, ya que esto causaría un peligro medioambiental adicional.</p> <p>Puesto que las coníferas cambian las agujas a lo largo de una serie de años (2 – 7), la aplicación repetida puede ser beneficiosa después de que se haya recogido el material resultante de la primera caída de las hojas.</p> |
| Objeto de interés | Árboles y arbustos en áreas habitadas que tengan hojas en el momento del depósito. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. Radionucleidos de vida corta si el tiempo transcurrido entre el depósito y la caída de la hoja es corto. |
| Escala de aplicación | Cualquiera. |
| Tiempo de aplicación | <p>Árboles de hoja caduca: La recogida debe llevarse a cabo poco después de la caída de la hoja y antes de que la meteorización traslade la actividad desde las hojas hasta el suelo subyacente, antes de que las hojas vuelen contaminando áreas adyacentes o comience su compostaje en el suelo.</p> <p>Coníferas: Se logra el máximo beneficio si se recogen las piñas en otoño, cuando la caída de las agujas ha terminado por ese año.</p> |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Eliminación de los residuos de las hojas recogidas.</p> |
| Restricciones del entorno | Pendiente del terreno (si es extrema). |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | La mayor parte de la contaminación en los árboles y arbustos está asociada a las hojas. De esta manera, el factor de descontaminación (FD) es probable que sea similar al correspondiente a la eliminación de árboles si estos tienen hojas en el momento del depósito y se recogen todas (Hoja de datos 52). Esta opción será menos eficaz para coníferas, incluso aunque se repita la recogida varias veces. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | Las tasas de dosis externa gamma y beta alrededor de arbustos y árboles se reducirán significativamente si se recogen las hojas. |
| Reducción de la resuspensión | La actividad resuspendida en el aire adyacente a los arbustos y árboles se reducirá significativamente si se recogen las hojas. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>Las condiciones meteorológicas, por ejemplo, condiciones de mucho viento, complicarán los intentos de recoger todas las hojas contaminadas.</p> <p>La recogida de todas las hojas contaminadas; una vez que se dispersan o que empieza su compostaje, la técnica será menos eficaz.</p> <p>Parte de la contaminación se puede transferir de las hojas a las superficies subyacentes.</p> <p>La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa.</p> <p>El número de árboles/arbustos en el área y las especies arbóreas.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. |
| Viabilidad | |

[Volver a la lista de opciones](#)

51 Recogida de hojas

| | |
|---|---|
| Equipamiento | Sopladores de hojas. Equipos de aspiración de jardinería. Rastrillos. Carretillas. Los vehículos municipales para la recogida de lodos serían también muy eficaces para aspirar las hojas y podrían aplicarse a gran escala en otoño. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). |
| Consumibles | Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos. |
| Habilidades | Es probable que solo sean necesarias unas pocas instrucciones. El método podría ser implementado por parte de los habitantes del área afectada como medida de autoayuda, después de las instrucciones dadas por las autoridades. Puede ser necesaria la provisión de equipamiento de seguridad y de otro tipo. |
| Precauciones de seguridad | Guantes y monos de trabajo. Protección respiratoria, especialmente en condiciones de mucho polvo. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | <i>Cantidad:</i> $5 \cdot 10^{-1} \text{ kg m}^{-2}$. <i>Tipo:</i> hojas/aguja de coníferas/piñas. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | La mayor parte de la contaminación está asociada con las hojas. La Figura 1.4 aporta una orientación sobre la posible importancia de los árboles en la contribución a las dosis externas a largo plazo. Se podría esperar que las reducciones en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada, poco después de la recogida de las hojas, fueran similares a las obtenidas con la eliminación de árboles (Hoja de datos 52) si dichos árboles fueran predominantemente de hoja caduca. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La consistencia en la implementación eficaz de la opción en un área extensa. El comportamiento de la población en el área. El número de árboles/arbustos en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. El tiempo de implementación. El impacto de la recogida de hojas en las dosis totales se reducirá con el tiempo ya que habrá menos contaminación sobre dichas hojas debido a la meteorización natural. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). • inhalación de polvo generado. • <i>ingestión inadvertida de polvo procedente de las manos de los trabajadores.</i> Las contribuciones debidas a las vías en cursiva no serán significativas y las dosis debidas a estas vías pueden ser controladas mediante la utilización de EPP. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | $2 \cdot 10^2 \text{ m}^2/\text{equipo.hr}$ (tamaño del equipo: 1 persona). |
| Factores que influyen en los costes | El tiempo atmosférico. La accesibilidad. El tamaño del área. La superficie subyacente. El tipo de equipamiento utilizado. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |

[Volver a la lista de opciones](#)

51 Recogida de hojas

| | |
|------------------------|---|
| Impacto social | <p>La recogida de las hojas caídas hará que el área parezca más limpia.</p> <p>Restricción temporal del acceso a áreas públicas.</p> <p>La eliminación de residuos puede que no sea aceptable.</p> <p>Los árboles permanecen en su lugar (impacto positivo para la vida salvaje y el área).</p> |
| Experiencia práctica | Ninguna. |
| Referencias clave | Morgan CJ (1987). Methods and cost of decontamination and site restoration following dispersion of plutonium in a weapon accident. Aldermaston, AWE, SCT Laboratory. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

52 Poda/eliminación de árboles y arbustos

| | |
|---|---|
| Objetivo | <p>Reducir las dosis por inhalación y las dosis externas gamma y beta debidas a la contaminación de árboles y arbustos en áreas habitadas.</p> <p>Principalmente se usa cuando el depósito ha tenido lugar en condiciones secas y cuando los árboles y arbustos tienen hojas. Tras un depósito húmedo, se debería considerar la descontaminación del terreno situado bajo los árboles ya que la mayor parte de la contaminación se lava directamente de estos últimos.</p> |
| Otros beneficios | <p>La eliminación de contaminación de áreas en las que haya árboles. La eliminación de actividad de los jardines puede reducir la posterior contaminación del suelo utilizado para cultivar alimentos. Y esto a su vez puede reducir la captación por parte de dichos alimentos cultivados.</p> |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Consiste en la eliminación o poda intensa de árboles y arbustos, con la opción de reemplazarlos por otros. Lo más importante es que las hojas deben ser eliminadas.</p> <p>Si la tala de árboles se lleva a cabo a pequeña escala, la incineración de los residuos es una opción. Las hojas y los restos de la poda más pequeños pueden ser triturados para el compostaje.</p> <p>Esta opción puede generar grandes cantidades de polvo. Sin embargo, el uso de agua para humedecer la superficie del árbol o la utilización de un material de fijación es improbable que sean viables, de manera que se debería proveer a los trabajadores de equipos de protección personal (EPP) para protegerles frente al peligro de resuspensión, si este es significativo.</p> <p>Se podría pedir a los habitantes del área afectada que podasen los árboles y arbustos como opción de autoayuda.</p> |
| Objeto de interés | <p>Árboles y arbustos altamente contaminados en áreas habitadas, que tengan hojas en el momento del depósito. Las coníferas pueden contribuir más a las dosis externas a largo plazo, ya que no pierden sus hojas anualmente. Sin embargo, las contribuciones totales de los árboles de hoja caduca y las coníferas a las dosis externas dependen del destino de las hojas caídas.</p> |
| Radionucleidos de interés | <p>Todos los radionucleidos de vida larga. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente.</p> |
| Escala de aplicación | <p>Cualquiera.</p> <p>La incineración de los residuos solo es una opción a pequeña escala.</p> |
| Tiempo de aplicación | <p>Para obtener el máximo beneficio, la tala de árboles debería tener lugar dentro del primer mes después del depósito, y antes de que se produzca el lavado de actividad hacia el suelo subyacente. Además, es importante que se complete antes de la caída de las hojas en el caso de los árboles caducifolios.</p> |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | <p>Responsabilidades por el posible daño a los jardines o la propiedad.</p> <p>Acceso a la propiedad.</p> <p>Uso en emplazamientos catalogados y otros de importancia histórica, y en áreas de conservación.</p> |
| Restricciones del entorno | <p>Tiempo extremadamente frío.</p> <p>Tipo de suelo y textura.</p> <p>Alcance de la raíz, si es necesario eliminar el cepellón.</p> |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | <p>La reducción en la contaminación es proporcional a la fracción de árbol/arbusto eliminada. Si se tala un árbol entero y se recogen todas las hojas, se podría alcanzar un factor de descontaminación (FD) muy elevado. En la práctica, se podría alcanzar un FD de hasta cerca de 50.</p> |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | <p>Las tasas de dosis externa gamma y beta debidas a árboles y arbustos se reducirán en aproximadamente el valor del FD.</p> |
| Reducción de la resuspensión | <p>La actividad resuspendida en el aire adyacente a los árboles y arbustos se reducirá en un valor similar al del FD.</p> |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>El grado de poda o eliminación y la eficacia de la recogida de hojas.</p> <p>El tiempo de implementación: la meteorización reducirá la contaminación con el tiempo, de manera que una rápida implementación mejorará la eficacia.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

52 Poda/eliminación de árboles y arbustos

| | | |
|---|--|--|
| | El tipo de árbol: las coníferas presentan un cambio continuo de hojas y puede llevar años que pierdan todas las agujas inicialmente contaminadas. | |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | La aceptación por parte del público de la gestión y el almacenamiento de residuos. | |
| Viabilidad | | |
| Equipamiento | Tractor y remolque. Motosierra. Hachas/cortadoras. Cuerdas y escaleras de mano (árboles altos). Desfibradora. Se puede utilizar una incineradora para los residuos de áreas pequeñas. Vehículos de transporte para el equipamiento y los residuos. | |
| Servicios públicos e infraestructuras | Carreteras (transporte de equipamiento, materiales y residuos). Suministro de energía. | |
| Consumibles | Combustible y recambios para el equipamiento y los vehículos. Plántones, si se implementa la opción de reemplazo. | |
| Habilidades | Es necesario personal cualificado con experiencia en la tala de árboles para los de mayor tamaño. | |
| Precauciones de seguridad | Condiciones secas y con mucho polvo: protección respiratoria y ropa de protección. Cascos de seguridad. Para árboles altos, debería utilizarse una línea de vida. | |
| Residuos | | |
| Cantidad | Tala de árboles: $1 \cdot 10^1 \text{ kg m}^2$. | |
| Tipo | Madera y vegetación. También puede contaminarse la fruta de las huertas. | |
| Dosis | | |
| Dosis evitadas | <p>Depósito seco: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 20 % en la tasa de dosis externa gamma recibida por un miembro del público que viva en un área habitada, poco después de la eliminación de los árboles/arbustos contaminados.</p> <p>Depósito húmedo: las reducciones en la tasa de dosis serán despreciables.</p> | |
| Factores que influyen en la dosis evitada | El número de árboles/arbustos en el área, es decir, el tipo de entorno/uso del suelo. Las dosis en el interior se verán afectadas por el número de ventanas de los edificios que estén junto a los árboles, ya que gran parte de la dosis debida a estos últimos está causada por la menor protección que ofrecen las ventanas. | |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • inhalación de material radiactivo resuspendido desde el terreno y otras superficies (puede aumentar con respecto a los niveles normales). Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. | |
| Costes de intervención | | |
| Tiempo de operario | Solo tala. | Tala y reemplazo de árboles. |
| | $5 \cdot 10^1 \text{ m}^2/\text{equipo.hr}$ Tamaño del equipo: 2 personas. | $5 \cdot 10^1 \text{ m}^2/\text{equipo.hr}$ (el talado de los árboles es la tarea más lenta). Tamaño del equipo: 3 personas (talado y reemplazo). El reemplazo de árboles tiene una tasa de trabajo en torno a $4 \cdot 10^2 \text{ m}^2/\text{equipo.hr}$. |
| Factores que influyen en los costes | El tipo de árboles / tamaño y altura de los árboles. El tamaño de los árboles a eliminar. El tipo de equipamiento utilizado. La accesibilidad. | |

[Volver a la lista de opciones](#)

52 Poda/eliminación de árboles y arbustos

| | |
|------------------------|---|
| | <p>La distancia a transportar.</p> <p>El grado de eliminación.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>Posible impacto adverso sobre la biodiversidad.</p> <p>Posible erosión del suelo.</p> <p>Efecto negativo sobre las aves.</p> <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> |
| Impacto social | <p>Efecto estético adverso.</p> <p>Aceptación de la eliminación de árboles.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a pequeña escala en Europa tras el accidente de Chernobyl.</p> |
| Referencias clave | <p>Andersson KG (1996). Evaluation of early phase nuclear accident clean-up procedures for Nordic residential areas. NKS Report NKS/EKO-5 (96) 18, ISBN 87-550-2250-2.</p> <p>Andersson KG, Roed J, Eged K, Kis Z, Voigt G, Meckbach R, Oughton DH, Hunt J, Lee R, Beresford NA and Sandalls FJ (2003). <i>Physical countermeasures to sustain acceptable living and working conditions in radioactively contaminated residential areas</i>. Risø-R-1396(EN), Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.</p> <p>Andersson KG and Roed J (1999). A Nordic preparedness guide for early clean-up in radioactively contaminated residential areas. <i>Journal of Environmental Radioactivity</i>, 46, (2), 207-223.</p> <p>Brown J and Jones AL (2000). Review of decontamination and remediation techniques for plutonium and application for CONDO version 1.0. NRPB, Chilton, NRPB-R315.</p> <p>Brown J, Charnock T and Morrey M (2003). DEWAR – Effectiveness of decontamination options, waste arising and other practical aspects of recovery countermeasures in inhabited areas. Environment Agency R&D Technical Report P3-072/TR.</p> <p>Guillitte O and Willdrocht C (1993). An assessment of experimental and potential countermeasures to reduce radionuclide transfers in forest ecosystems. <i>Science of the Total Environment</i>, 137, 273-288.</p> <p>Roed J, Andersson KG and Prip H (ed.) (1995). <i>Practical means for decontamination 9 years after a nuclear accident</i>. Risø-R-828(EN), ISBN 87-550-2080-1, ISSN 0106-2840, 82p.</p> <p>Schell WR, Linkov I, Myttenaere C and Morel B (1996). A dynamic model for evaluating radionuclide distribution in forests from nuclear accidents. <i>Health Physics</i>, 70, (3), 318-335.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

53 Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación sobre superficies metálicas en edificios industriales. Para obtener información sobre el uso de los revestimientos polímeros retirables sobre otro tipo de superficies de edificios, ver la Hoja de datos 49 . |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación del área y la prevención de la redistribución de contaminación en los edificios. Puede reducir las dosis por resuspensión en ambientes con mucho polvo. |
| Descripción de la opción de gestión | Consiste en la aplicación de pasta de polímero (basada en alcohol de polivinilo – PVA -) para eliminar la contaminación de superficies metálicas. En particular se puede utilizar para maquinaria y sistemas de ventilación. Los revestimientos retirables son líquidos o geles. Una vez se ha formado la película seca intacta sobre la superficie, el revestimiento se quita a mano, eliminando la contaminación suelta. La técnica se puede aplicar fácil y rápidamente y requiere un equipamiento y personal mínimos. |
| Objeto de interés | Superficies metálicas contaminadas (industriales) en edificios y piezas especiales de maquinaria , por ejemplo, sistemas de ventilación, herramientas manuales y equipamiento. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Podría llevarse a cabo a pequeña escala en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Reducción del 75 – 97 %. La eficacia de la descontaminación de diferentes compuestos se ha probado sobre acero inoxidable, hierro fundido y latón. Los factores de eficacia que se presentan aquí están basados en experimentos de laboratorio y de campo a pequeña escala. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. Sin embargo, las reducciones en la tasa de dosis externa sobre la superficie deberían ser similares a los mencionados anteriormente. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | El tipo de superficie: si el metal está oxidado o se está descamando, la descontaminación se reduce de 4 a 7 veces. Los revestimientos requieren una retirada cuidadosa para que sean eficaces. Esta debería hacerse a mano. La consistencia en el procedimiento de aplicación. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Ninguno. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Vehículos de transporte para el equipamiento. Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos, donde los conductos pueden estar montados bajo el falso techo. |
| Consumibles | Alcohol de polivinilo (PVA), el cual está basado en agua. Pasta hecha de PVA, EDTA, carbonato sódico y glicerina. Combustible. |
| Habilidades | Es necesario personal cualificado. Las compañías de limpieza industrial tendrán las capacidades requeridas. |
| Precauciones de seguridad | Líneas de vida. Cascos de seguridad. Protección respiratoria. |

[Volver a la lista de opciones](#)

53 Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas

| | |
|---|--|
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | 0.2 – 1.8 kg m ⁻² de residuos sólidos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en las cercanías de la maquinaria y las herramientas contaminadas. |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. <p>Debido a los niveles de concentración potencialmente elevados, es importante evaluar completamente las tasas de dosis externa en estas áreas antes de la limpieza.</p> <p>Los revestimientos se quitan a mano, de manera que las dosis para los trabajadores pueden ser importantes.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 - 6 m ² / equipo hr. Tiempo variable para el montaje de andamios. |
| Factores que influyen en los costes | <p>La necesidad de andamios/plataformas elevadoras móviles.</p> <p>La accesibilidad a las superficies.</p> <p>El coste de la mano de obra especializada.</p> <p>El coste de los productos químicos.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos. Este puede ser minimizado mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación de los residuos contaminados.</p> <p>Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo.</p> <p>La utilización de revestimientos polímeros retirables puede tener un efecto positivo en la apariencia de las superficies.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Probado a pequeña escala en la provincia de Gomel, en Bielorrusia, tras el accidente de Chernobyl.</p> <p>Dos revestimientos desprendibles desarrollados en los años 80 son la resina de vinilo a base de agua y la dispersión de polibutilo, siendo ambos no inflamables, no tóxicos y resistentes a la abrasión (OIEA, 1989; Andersson y Roed, 1994).</p> |
| Referencias clave | <p>Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany.</p> <p>Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i>. Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

54 Limpieza química de superficies metálicas

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación sobre superficies metálicas en edificios industriales. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación del área y la prevención de la redistribución de contaminación en los edificios. Puede reducir las dosis por resuspensión en ambientes con mucho polvo. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Consiste en el lavado industrial con soluciones químicas. Los procesos de descontaminación incluyen, normalmente, los siguientes pasos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - oxidación o reducción. - complejación: disolución. - pasivación: preparación de una superficie resistente a la corrosión y termodinámicamente estable después de eliminar la capa superficial contaminada. <p>Hay dos tipos de procedimientos: estático (sin flujo) y dinámico (con flujo). El método dinámico es útil para eliminar radionucleidos de superficies internas y de otra manera inaccesibles.</p> <p>Dependiendo de los productos químicos aplicados, los procedimientos se denominan técnicas suaves o intensivas.</p> <p>Los productos químicos suaves (<i>soft</i>) incluyen reactivos no corrosivos, como detergentes, agentes complejizadores, ácidos o álcalis diluidos. Estos se pueden utilizar cuando el objeto tiene que ser tratado sin atacar al material de la base.</p> <p>Los productos químicos intensivos (<i>hard</i>) incluyen ácidos fuertes o álcalis concentrados y otros reactivos corrosivos.</p> <p>La descontaminación química se lleva a cabo normalmente mediante la circulación de los reactivos seleccionados a través de un sistema de filtrado. La solución química está contenida en un tanque en el cual un sistema de pulverización, colocado cerca o debajo de la superficie a limpiar, hace circular la solución.</p> <p>La descontaminación también puede llevarse a cabo mediante la inmersión del objeto contaminado (herramientas manuales, piezas especiales de maquinaria) en una bañera.</p> |
| Objeto de interés | Superficies metálicas contaminadas (industriales) en edificios y piezas especiales de maquinaria (herramientas). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Media escala en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Posibles regulaciones sobre el uso de productos químicos. |
| Restricciones del entorno | Incompatibilidad química. Por ejemplo, si el sistema a descontaminar contenía previamente productos químicos especiales, este material puede producir gases explosivos al juntarlo con el producto químico para la descontaminación. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Técnicas suaves: reducción del 50 – 90 %. Técnicas intensivas: reducción > 90 % (hasta del 100 %). |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. Sin embargo, las reducciones en las tasas de dosis externa sobre la superficie deberían ser similares a las mencionadas anteriormente. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La temperatura a la que se lleva a cabo el tratamiento (normalmente en el rango 20-90 °C).</p> <p>La concentración química.</p> <p>La tasa de flujo de la solución química aplicada</p> <p>El tiempo de contacto.</p> <p>El tipo de superficie (menos eficaz en superficies porosas).</p> <p>Incompatibilidad química.</p> <p>La consistencia en la aplicación del procedimiento.</p> <p>La parte inferior del edificio debería limpiarse especialmente bien, ya que a menudo será</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

54 Limpieza química de superficies metálicas

| | |
|---|--|
| | esta la más cercana a las personas que trabajan en el edificio. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Máquina de lavado de agua a alta presión. Máquinas de pulverización. Otras herramientas manuales. Tanques de líquido. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Vehículos de transporte para el equipamiento. Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos. Suministros eléctrico y de agua. Suministro de aire a presión. |
| Consumibles | Descontaminación química suave (<i>soft</i>). - <i>Primer paso</i> : atacar y disolver las películas de óxido metálico, permanganato de potasio (KMnO ₄) (uno de los mejores para el Cesio) o hidróxido de potasio (KOH) o hidróxido de sodio (NaOH) o fosfato trisódico (Na ₃ PO ₄). - <i>Segundo paso</i> : enlazar y eliminar los radionucleidos; detergente: cualquier material hidrófobo, por ejemplo ácido dodecil benceno sulfúrico; agente de complejación: EDTA (uno de los mejores para el Cesio) o ácido oxálico (C ₂ H ₂ O ₄) o ácido cítrico (C ₆ H ₈ O ₆) (uno de los mejores para el Cesio). - <i>Tercer paso</i> : pasivación mediante ácido nítrico (HNO ₃) o ácido fosfórico (H ₃ PO ₄) o ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) o peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂). Descontaminación química intensiva (<i>hard</i>). - <i>Los pasos primero y tercero</i> son los mismos que para las técnicas suaves, pero con concentraciones mayores de los productos químicos. - <i>Segundo paso</i> : detergente y agentes de complejación; detergente: cualquier material hidrófobo, por ejemplo ácido dodecil benceno sulfúrico; agente de complejación: bisulfato de sodio (NaHSO ₄) o sulfato de sodio (Na ₂ SO ₄) u oxalato de amonio [(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O] o citrato de amonio [(NH ₄) ₂ HC ₆ H ₅ O ₇] o EDTA. |
| Habilidades | Se necesita personal cualificado. Se necesitan conocimientos y experiencia en tecnologías de corrosión, generación de residuos/técnicas de eliminación y limpieza química. Las compañías de limpieza industrial tendrán las capacidades necesarias. |
| Precauciones de seguridad | Cascos de seguridad y líneas de vida. Ropa impermeable y de seguridad. Protección respiratoria. Ventilación adecuada (puesto que los tanques están generalmente abiertos al aire). |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | 5 – 30 l por m ² de residuos líquidos (aplicando un sistema de reciclado). |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en los edificios o cerca de ellos. La proporción del edificio que está cubierta por superficies metálicas. El alcance de la descontaminación de las superficies cercanas. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |

[Volver a la lista de opciones](#)

54 Limpieza química de superficies metálicas

| | |
|-------------------------------------|--|
| Tiempo de operario | 2 – 6 m ² /equipo hr. Tiempo variable para el montaje de los andamios/transporte. |
| Factores que influyen en los costes | La necesidad de andamios/plataformas elevadoras móviles. Los diferentes tipos de tratamiento de las superficies y los productos químicos residuales. El coste de la mano de obra especializada. El coste de los productos químicos. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o el almacenamiento de los residuos resultantes de la implementación de esta opción pueden tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. Los componentes electrónicos pueden resultar dañados por el agua si no se desmontan. Daños al equipamiento debido al impacto mecánico (por ejemplo, el material de la base será más fino y áspero). Si se utilizan productos químicos agresivos, pueden dar lugar a la producción de reactivos tóxicos y corrosivos, que deberán ser tratados y eliminados. |
| Impacto social | Aceptación de la eliminación de residuos y productos químicos contaminados. Eliminación de los productos de corrosión de la superficie; las superficies metálicas se limpian. Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo. |
| Experiencia práctica | Utilizado ampliamente durante el desmantelamiento de las centrales nucleares. La descontaminación química es muy eficaz en los procedimientos normales de las centrales nucleares. |
| Referencias clave | Barkatt A, Spring S and Olzsovka SA (1995). <i>Removal of radioactive or heavy metal contaminants by means of non-persistent complexing agents</i> . United States Patent and Trademark Office: United States Patent; No. 5435331. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2000). <i>Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences</i> . Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, vols 1 and 2. Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany. Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i> . Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3. Murray AP (1989). <i>Method of decontaminating metal surfaces</i> . European Patent Office: European Patent Specification; No. 04164988 B1. Nuclear Energy Agency (NEA) (1999). <i>Decontamination techniques used in decommissioning activities</i> . NEA Report-1707. Available online at: http://www.nea.fr/html/rwm/reports/1999/decontec.pdf [Accessed 16/10/08] US Department of Energy (1994). <i>Decommissioning technology descriptions: decontamination</i> . USDoE, Office of Environmental Management. |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

55 Limpieza química de superficies plásticas y revestidas

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación sobre superficies plásticas y revestidas en edificios industriales. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación del área y la prevención de la redistribución de contaminación en los edificios. Puede reducir las dosis por resuspensión en ambientes con mucho polvo. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Consiste en el lavado industrial con detergentes o soluciones químicas en procesos de múltiples pasos. El método químico utiliza principalmente productos químicos suaves.</p> <p>La limpieza química se lleva a cabo normalmente mediante la circulación de los reactivos seleccionados a través de un sistema de filtrado. La solución química está recogida en un tanque cerca, o debajo, de la superficie a tratar. Desde este tanque, un sistema de pulverización hace circular la solución entre la superficie y dicho tanque. La descontaminación también puede llevarse a cabo mediante la inmersión del objeto contaminado (herramientas manuales, piezas especiales de maquinaria) en una bañera.</p> <p>Hay dos tipos de procedimientos: estático (sin flujo) y dinámico (con flujo). El método dinámico es útil para eliminar los radionucleidos de las superficies internas y escondidas.</p> |
| Objeto de interés | Superficies industriales contaminadas de plástico, cerámica, vidrio y revestidas en edificios y piezas especiales de maquinaria (herramientas). |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Media escala en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Posibles regulaciones sobre el uso de productos químicos. |
| Restricciones del entorno | Incompatibilidad química. Por ejemplo, si el sistema a descontaminar contenía previamente productos químicos, este material puede producir algunos gases explosivos al juntarlo con el producto químico para la descontaminación. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Reducción del 90 – 99 %. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. Sin embargo, las reducciones en la tasa de dosis externa sobre la superficie deberían ser similares a las mencionadas anteriormente. |
| Reducción de la resuspensión | N/A |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La temperatura a la que se lleva a cabo el tratamiento (normalmente en el rango 20-90 °C).</p> <p>La concentración (pH).</p> <p>La tasa de flujo (de la solución química aplicada) para el procedimiento mecánico.</p> <p>El tiempo de contacto.</p> <p>Menos eficaz en superficies porosas.</p> <p>La consistencia en la aplicación del procedimiento.</p> <p>La parte inferior del edificio debería limpiarse especialmente bien, ya que a menudo será esta la más cercana a las personas que trabajan en el edificio.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Máquina de lavado de agua a alta presión.</p> <p>Máquinas de pulverización.</p> <p>Otras herramientas manuales (esponja, cepillo, ropa).</p> <p>Tanques de líquido.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> <p>Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos.</p> <p>Suministro de agua.</p> <p>Suministro de aire a presión.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

55 Limpieza química de superficies plásticas y revestidas

| | |
|---|---|
| Consumibles | Depende de la resistencia química de las superficies objetivo. Productos químicos: detergentes de limpieza, productos químicos como detergentes con agentes complejizantes. |
| Habilidades | Se necesita personal cualificado. Se necesita conocimientos y experiencia en tecnologías de corrosión, generación de residuos/técnicas de eliminación y limpieza química. Las compañías de limpieza industrial tendrán las capacidades necesarias. |
| Precauciones de seguridad | Cascos de seguridad. Líneas de vida. Ropa impermeable y de seguridad. Protección respiratoria. Ventilación adecuada (los tanques están generalmente abiertos al aire). |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | 5 – 30 l m ⁻² de residuos líquidos (aplicando un sistema de reciclado). El reciclado eficaz de los reactivos químicos ayudará a mantener bajos los niveles de residuos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en los edificios o cerca de ellos. La proporción del edificio que está cubierta por superficies plásticas o revestidas. El alcance de la descontaminación de las superficies cercanas. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 2 – 6 m ² / equipo hr. Tiempo variable para el montaje de los andamios/transporte. |
| Factores que influyen en los costes | La necesidad de andamios/plataformas elevadoras móviles. Los diferentes tipos de tratamiento de las superficies y los productos químicos residuales. El coste de la mano de obra especializada. El coste de los productos químicos. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos. Debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. Los componentes electrónicos pueden resultar dañados por el agua si no se desmontan. Daños al equipamiento debido al impacto mecánico. Si se utilizan productos químicos agresivos, pueden dar lugar a la producción de reactivos tóxicos y corrosivos, que deberán ser tratados y eliminados. |
| Impacto social | Aceptación de la eliminación de residuos y productos químicos contaminados. Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo. La eliminación de los revestimientos de las superficies puede tener un efecto negativo sobre la apariencia de las mismas. |
| Experiencia práctica | Utilizado a pequeña escala en la operación normal de las centrales nucleares. Probado en una serie de edificios industriales en la antigua Unión Soviética y en Europa tras el accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2000). <i>Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences</i> . Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, vols 1 and 2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

55 Limpieza química de superficies plásticas y revestidas

| | |
|------------------------|--|
| | <p>Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany.</p> <p>International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989). <i>Cleanup of large areas contaminated as a result of a nuclear accident</i>. Vienna: International Atomic Energy Agency, Technical Report Series No. 300.</p> <p>Magyar Szabvány (1983). <i>Testing of painted coatings in the laboratory, determination for ease of decontamination</i>. Hungarian Patent Office: Hungarian Patent, No. MSZ-05 22.7662-83.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

56 Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación de los sistemas de ventilación en edificios industriales. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación del área y la prevención de la redistribución de la contaminación en los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>El accidente de Chernobyl demostró cómo los sistemas de ventilación industriales pueden quedar fuertemente contaminados y cómo no es fácil su descontaminación. La limpieza incluye aspiración industrial, lavado con soluciones químicas y la posibilidad del uso de un cepillo rotatorio eléctrico en conductos de ventilación estrechos.</p> <p>En conductos con diámetros mayores (> 50 cm) a menudo es necesario que una persona entre en el conducto con una aspiradora industrial de tipo "NORCLEAN". Alternativamente, es posible abrir el sistema de ventilación y regarlo con agua a alta presión.</p> |
| Objeto de interés | Sistemas de ventilación (industriales) altamente contaminados. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Podría llevarse a cabo a media escala en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. Puede tener un efecto importante en la reducción de los niveles de contaminación, incluso si se aplica una década después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Posibles regulaciones sobre el uso de productos químicos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Limpieza con chorro a alta presión: Reducción en la contaminación del 80 – 97 %. Aspiración/cepillado: Reducción en la contaminación del 80 – 90 %. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se ha estimado. |
| Reducción de la resuspensión | No se ha estimado. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La forma fisicoquímica del aerosol (por ejemplo, tamaño, solubilidad).</p> <p>La habilidad del operario.</p> <p>La presión y la cantidad de agua para el tratamiento a alta presión.</p> <p>La temperatura del agua: debido a que los conductos de salida de aire pueden estar grasientos y contener polvo; una temperatura del agua elevada (> 60°C) es necesaria para asegurar una elevada reducción de los niveles de contaminación. Sin embargo, debería señalarse que los conductos de entrada de aire son los que están normalmente más contaminados.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Cepillos.</p> <p>Dispositivos de aspiración.</p> <p>Filtro "atrapa-polvo" y/o aspirador industrial tipo "NORCLEAN" y/o maquina de lavado con agua a alta presión.</p> <p>Máquinas de lijado.</p> <p>Otras herramientas manuales.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> <p>Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos, donde los conductos pueden estar montados bajo el falso techo.</p> |
| Consumibles | <p>Suministro de agua.</p> <p>Suministro de aire a presión.</p> |
| Habilidades | <p>Es necesario personal cualificado.</p> <p>Las compañías de limpieza industrial tendrán las capacidades requeridas.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

56 Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados

| | |
|---|---|
| Precauciones de seguridad | Líneas de vida. Casco de seguridad. Ropa impermeable de seguridad. Protección respiratoria. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Residuos sólidos: 50 – 100 g por m ² (Nivel de contaminación de los residuos sólidos: ~ 10 – 20 kBq m ⁻³ por Bq m ²). Residuos secos: se recogen en los filtros de los equipos de aspiración y son relativamente fáciles de eliminar. Residuos líquidos: procedentes del lavado a presión, la mayoría se pueden recoger y filtrar con la aspiradora industrial, de manera que se limpia el agua y solo quedan los lodos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en las cercanías de los conductos de ventilación. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. <p>La dosis a lo largo de un día para un trabajador que lleve a cabo la implementación de la descontaminación de los conductos de ventilación puede ser significativamente mayor que la de un individuo que viva o trabaje en el área contaminada. Esto se debe a los niveles de contaminación muy elevados que pueden acumularse en los sistemas de ventilación (especialmente en los filtros). El nivel de la contaminación depende del tamaño del filtro y el sistema de filtrado (es decir, si es necesario meterse en el sistema o existe la posibilidad de realizar la tarea desde el exterior).</p> <p>Las tasas de dosis deben evaluarse antes de cualquier acción que requiera un tiempo considerable.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Conductos pequeños: (< 20 cm de diámetro): 6 m ² por hora. Conductos más grandes: 2 – 3 m ² por hora. Si hay válvulas, habrá que desmontarlas. Se tarda 1.5 h en desmontar cada válvula. |
| Factores que influyen en los costes | La necesidad de andamios/plataformas elevadoras móviles. La necesidad de diferentes tipos de tratamiento (dependiendo de, por ejemplo, los tamaños de los conductos y otras características del sistema de ventilación). El coste de la mano de obra especializada. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. Los componentes electrónicos pueden resultar dañados por el agua si no se desmontan. |
| Impacto social | Aceptación de la eliminación de residuos contaminados. Eliminación de los productos de corrosión de la superficie. Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo. |
| Experiencia práctica | Probado en una serie de edificios industriales en la antigua Unión Soviética y Europa después del accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany. Hubert P, Annisomova L, Antsipov G, Ramsaev V and Sobotovitch V (1996). <i>Strategies of decontamination</i> . Experimental Collaboration Project 4, European Commission, EUR 16530 EN, ISBN 92-827-5195-3. |

[Volver a la lista de opciones](#)

56 Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados

| | |
|------------------------|--------------------------------|
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2. |

[Volver a la lista de opciones](#)

57 Limpieza electroquímica de superficies metálicas

| | |
|---|--|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación sobre superficies metálicas, en particular de maquinaria y herramientas, en edificios industriales. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación de la maquinaria y las herramientas y la prevención de la redistribución de contaminación en los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Consiste en una descontaminación química, ayudada por un campo eléctrico. Se utiliza una corriente eléctrica directa, que da como resultado la disolución anódica y la eliminación de las capas de óxido y metálicas. Estos procesos <i>in situ</i> solo se pueden aplicar para eliminar la contaminación por radionucleidos de superficies conductoras, como las aleaciones basadas en hierro (incluido el acero inoxidable), cobre, aluminio, plomo y molibdeno. Son altamente eficaces.</p> <p>Se pueden aplicar mediante inmersión del objeto contaminado en un baño de electrolito o pasando un paño sobre la superficie a descontaminar. El electrolito se regenera de manera continua mediante recirculación.</p> <p>Los productos químicos que se pueden utilizar y su aplicabilidad para diferentes superficies se indican en la sección sobre consumibles más adelante.</p> |
| Objeto de interés | Superficies metálicas contaminadas (industriales) que constituyan piezas especiales de maquinaria y herramientas manuales. No es eficaz para la descontaminación de soldaduras. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Escala muy pequeña en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Posibles regulaciones sobre el uso de productos químicos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Casi el 100 % de reducción. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La eliminación de revestimientos, como aceites, grasa, óxidos, pintura, etc., antes de la descontaminación.</p> <p>Los parámetros de operación importantes incluyen: la composición y concentración del electrolito, la temperatura de operación, el tiempo de contacto, el potencial de electrodo y la densidad de corriente, la construcción del sistema de electropulido (la homogeneidad de la corriente y de los campos de potencial).</p> <p>El proceso <i>in situ</i> está limitado por el tamaño de la bañera si se utiliza la inmersión, y por la geometría de las superficies y el espacio libre disponible alrededor de la pieza que se va a tratar, si se utiliza un paño (menos aplicable para geometrías complejas).</p> <p>La eficacia se puede mejorar aumentando la concentración de la solución química aplicada.</p> <p>El electropulido no elimina (o elimina con dificultad) las partículas de combustible nuclear (partículas calientes) de la superficie.</p> <p>La consistencia en la aplicación del procedimiento.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Requisitos | |
| Equipamiento | <p>Sistema de electropulido con recirculación.</p> <p>Dos tanques (uno contiene el electrolito, los electrodos y las piezas estructurales o de otro tipo a descontaminar; el otro contiene el agua utilizada para enjuagar las piezas después de la descontaminación).</p> <p>Provisiones para el calentamiento y la agitación del electrolito.</p> <p>Es necesario un paño especial móvil como electrodo para llevar la corriente al componente sumergido a descontaminar.</p> |

[Volver a la lista de opciones](#)

57 Limpieza electroquímica de superficies metálicas

| | |
|---|---|
| | Campana extractora para controlar la liberación de vapores del electrolito. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Vehículos de transporte para el equipamiento. Suministros de agua y electricidad. |
| Consumibles | Materiales químicos normalmente utilizados como electrolitos: - <i>ácido fosfórico</i> (T= 40 – 80°C, potencial de electrodo 8 – 12 V, densidad de corriente 60 – 270 mA/cm ²), debido a su estabilidad, seguridad y aplicabilidad a una gran variedad de sistemas de aleación. - <i>ácido nítrico</i> (T= 10 – 35°C, potencial de electrodo 5 – 8 V, densidad de corriente 400 – 2000 mA/cm ²), buenos resultados también sobre superficies soldadas. - <i>ácidos orgánicos</i> (T= 20 – 40°C, potencial de electrodo 15 – 24 V, densidad de corriente 200 mA/cm ²), los procesos con ácidos orgánicos tienen una buena estabilidad de pH, y resisten los cambios de pH debidos a la formación de hidróxidos. Pasivación: ácido nítrico (HNO ₃) o ácido fosfórico (H ₃ PO ₄) o ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) o peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂). |
| Habilidades | Se necesita personal cualificado que esté entrenado en técnicas electroquímicas. |
| Precauciones de seguridad | Cascos de seguridad. Ropa impermeable de seguridad. Protección respiratoria. Ventilación adecuada. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | 5 – 15 l m ⁻² de residuos líquidos. El reciclado eficaz de los reactivos químicos disminuirá la cantidad de residuos producidos. Si se utilizan ácidos orgánicos, la destrucción del componente orgánico del ácido da lugar a residuos no ácidos. |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en los edificios o cerca de ellos. La proporción del edificio que está cubierta por superficies metálicas. El alcance de la descontaminación de las superficies cercanas. |
| Dosis adicionales | Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son: • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. El ácido debe ser cambiado o regenerado periódicamente. El manejo de las piezas a sumergir o del paño puede tener como resultado una exposición adicional para los trabajadores. |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | 5 – 20 min. para eliminar la contaminación de las superficies. El pretratamiento y la pasivación de las superficies llevará algunas horas. |
| Factores que influyen en los costes | La accesibilidad a las superficies. El proceso utilizado. El coste de la mano de obra especializada. El coste de los productos químicos. |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. En el caso de los procesos con ácido fosfórico, la contaminación aérea se minimiza y las características de la complejación minimizan la recontaminación. Altas densidades de corriente tienden a producir un exceso de oxígeno (que puede ser peligroso y, potencialmente, causar una explosión). El grosor del metal eliminado durante la descontaminación es generalmente menor de 5 mm |

[Volver a la lista de opciones](#)

57 Limpieza electroquímica de superficies metálicas

| | |
|------------------------|--|
| | <p>(nuevas técnicas), con lo que la superficie no se daña sustancialmente.</p> <p>Puede haber problemas de corrosión. Las principales fuentes de estos problemas son la corrosión selectiva como consecuencia de procesos de disolución selectiva de los componentes de la aleación de los metales descontaminados y la falta de una pasivación perfecta de la superficie tras el procedimiento de descontaminación.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación de residuos contaminados.</p> <p>Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo.</p> <p>Eliminación de los productos de corrosión de la superficie; las superficies metálicas se limpian.</p> |
| Experiencia práctica | <p>Aplicada ampliamente en las centrales nucleares durante la operación normal y el desmantelamiento.</p> |
| Referencias clave | <p>Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany.</p> <p>Metal Coating Process Corporation (2002). <i>An overview and general process steps of electropolishing</i>. Charlotte, NC: MCP Corporation. Disponible en línea en: http://www.electropolish.com/master.htm [Acceso el 16/10/08]</p> <p>Nuclear Energy Agency (NEA) (1999). <i>Decontamination techniques used in decommissioning activities</i>. NEA Report-1707. Disponible en línea en: http://www.nea.fr/html/rwm/reports/1999/decontec.pdf [Acceso el 16/10/08]</p> <p>US Department of Energy (1994). <i>Decommissioning technology descriptions: decontamination</i>. USDoE, Office of Environmental Management.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

58 Eliminación de filtros

| | |
|---|---|
| Objetivo | Reducir las dosis externas debidas a la contaminación en los sistemas de filtrado de los edificios industriales y los vehículos comerciales. |
| Otros beneficios | La eliminación de contaminación del área y prevención de la redistribución de la contaminación en los edificios. |
| Descripción de la opción de gestión | Se puede eliminar una cantidad importante de radiactividad cambiando los filtros de los edificios industriales, principalmente los de los sistemas de ventilación y otros ventiladores y calefactores sencillos. Además, también puede ser eficaz la eliminación de los filtros de los vehículos (camiones, vehículos de transporte). Es muy improbable la recontaminación posterior, hasta el punto de que sea necesario repetir la aplicación. |
| Objeto de interés | Sistemas de ventilación (industrial) altamente contaminados. También puede ser adecuada para los vehículos comerciales. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Media escala en áreas industriales altamente contaminadas. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito. Puede tener un efecto importante en la reducción de los niveles de contaminación incluso si se aplica una década después del depósito. |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Reducción esperada de hasta el 100 %. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se han hecho estimaciones. |
| Reducción de la resuspensión | No se han hecho estimaciones. |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | La contaminación de los filtros. La posición de los filtros. El tipo de filtro. El diseño de la carcasa del filtro. |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | Depende del tipo de sistema de filtrado. Los sistemas de ventilación y los vehículos puede que requieran la utilización de diferentes tipos de herramientas de mano. |
| Servicios públicos e infraestructuras | Vehículos de transporte para el equipamiento. Andamios o plataformas elevadoras móviles para edificios altos. Suministro eléctrico. |
| Consumibles | Ninguno. |
| Habilidades | Es necesario personal cualificado. |
| Precauciones de seguridad | Líneas de vida. Cascos de seguridad. Ropa impermeable de seguridad. Protección respiratoria. |
| Residuos | |
| Cantidad y tipo | Filtro (sólido). |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han estimado, aunque las reducciones en las tasas de dosis a los conductores de vehículos es probable que sean mayores que las de aquellas personas que trabajen en los edificios, debido a su proximidad a los filtros. |

[Volver a la lista de opciones](#)

58 Eliminación de filtros

| | |
|---|--|
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo que se pasa en las cercanías de los sistemas de ventilación, ventiladores o calefactores. |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> <p>La dosis a lo largo de un día para un trabajador que lleve a cabo la implementación de la descontaminación puede ser significativamente mayor que la de un individuo que viva o trabaje en el área contaminada, debido a los niveles de contaminación muy elevados que pueden acumularse en los sistemas de ventilación, especialmente en los filtros.</p> <p>Las tasas de dosis deben evaluarse antes de cualquier acción que requiera un tiempo considerable.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Entre unos pocos minutos y unas pocas horas por filtro, dependiendo del tipo de este. |
| Factores que influyen en los costes | <p>La necesidad de andamios/plataformas elevadoras móviles.</p> <p>Los diferentes tipos de filtro y el acceso, dependiendo del sistema de ventilación.</p> <p>El coste de la mano de obra especializada.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | <p>La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes.</p> <p>Los componentes electrónicos pueden resultar dañados por el agua si no se desmontan.</p> <p>Daño al equipamiento debido al impacto mecánico.</p> |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación de residuos contaminados.</p> <p>Eliminación de los productos de corrosión de la superficie; se limpia el sistema de ventilación y es de esperar que funcione mejor.</p> <p>Tranquilidad de empleados y usuarios y mantenimiento de la continuidad del trabajo.</p> |
| Experiencia práctica | Probado en una serie de edificios industriales en la antigua Unión Soviética y Europa después del accidente de Chernobyl. |
| Referencias clave | <p>Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2000). <i>Compendium of measures to reduce radiation exposure following events with not insignificant radiological consequences</i>. Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, vols 1 and 2.</p> <p>Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

[Volver a la lista de opciones](#)

59 Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química

| | |
|---|---|
| Objetivo | Tranquilizar a los trabajadores de la industria. |
| Otros beneficios | La reducción en las dosis externas y por contacto de la piel debidas a la contaminación sobre objetos metálicos utilizados en la industria. Limpiará herramientas y objetos. |
| Descripción de la opción de gestión | <p>Se basa en la utilización de ondas de ultrasonidos en una bañera que contiene una solución limpiadora. El ultrasonido es producido por un generador a una frecuencia superior a 20kHz. Un transductor convierte la energía de alta frecuencia en vibraciones de baja amplitud a la misma frecuencia. La limpieza se logra mediante la formación y el colapso violento de miles de diminutas burbujas, que levantan los radionucleidos de la superficie del objeto.</p> <p>La descontaminación ultrasónica (con productos químicos) requiere un reciclado eficaz de los reactivos químicos para minimizar la producción de residuos secundarios, que pueden ser difíciles de tratar.</p> <p>Puede ser necesario repetir la aplicación si las herramientas se contaminan posteriormente.</p> |
| Objeto de interés | Herramientas manuales metálicas (industriales) contaminadas que se guardan en el exterior o en el interior. Posiblemente solo sea posible su utilización para artículos valiosos o que no sean fáciles de reemplazar. No es recomendable para hormigón o plásticos. |
| Radionucleidos de interés | Todos los radionucleidos. No es adecuada para radionucleidos de vida corta solamente. |
| Escala de aplicación | Adecuada para su uso a escala pequeña. |
| Tiempo de aplicación | Beneficio máximo si se lleva a cabo poco después del depósito |
| Restricciones | |
| Restricciones legales | Responsabilidades por el posible daño a la propiedad. Posibles regulaciones sobre el uso de productos químicos. |
| Restricciones del entorno | Ninguna. |
| Eficacia | |
| Reducción de la contaminación sobre la superficie | Reducción del 90 – 99 % en la contaminación sobre superficies metálicas. |
| Reducción de las tasas de dosis en superficies | No se ha estimado. |
| Reducción de la resuspensión | |
| Factores técnicos que influyen en la eficacia | <p>La frecuencia del generador.</p> <p>La antigüedad de la contaminación.</p> <p>Un subsistema de procesado solvente: la filtración solvente para la eliminación de las partículas radiactivas, el control de la temperatura, y la recuperación solvente.</p> |
| Factores sociales que influyen en la eficacia | Ninguno. |
| Viabilidad | |
| Equipamiento | <p>Vibrador ultrasónico (generador) y tanque vibratorio.</p> <p>Bañera.</p> <p>Vehículos de transporte para el equipamiento.</p> |
| Servicios públicos e infraestructuras | <p>Suministro eléctrico.</p> <p>Carreteras para el transporte de equipamiento, materiales y residuos.</p> |
| Consumibles | <p>Combustible para los vehículos de transporte.</p> <p>Soluciones de limpieza (por ejemplo, Alconox o Contrad)</p> |
| Habilidades | Es necesario personal cualificado. |
| Precauciones de seguridad | <p>Ropa impermeable.</p> <p>Guantes y gafas de seguridad.</p> <p>Protección respiratoria.</p> <p>Debe instalarse un sistema de ventilación, ya que normalmente las bañeras están abiertas al aire.</p> |
| Residuos | |

[Volver a la lista de opciones](#)

59 Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química

| | |
|---|---|
| Cantidad y tipo | <p><i>Cantidad:</i> Depende del tamaño del tanque. El tratamiento (filtración) y el acondicionamiento de estos residuos requiere que estén disponibles los procesos apropiados al elegir la opción de descontaminación.</p> <p><i>Tipo:</i> Agua residual.</p> |
| Dosis | |
| Dosis evitadas | No se han hecho estimaciones. El principal objetivo es tranquilizar a los trabajadores. |
| Factores que influyen en la dosis evitada | La cantidad de tiempo empleado en la utilización de las herramientas. |
| Dosis adicionales | <p>Las vías de exposición relevantes para los trabajadores son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • exposición externa debida a los radionucleidos en el ambiente y al equipo contaminado. • aumento de la resuspensión que lleva a la inhalación de polvo. <p>Las rutas de exposición debidas al transporte y eliminación de residuos no están incluidas.</p> |
| Costes de intervención | |
| Tiempo de operario | Normalmente entre 10 y 90 minutos por tratamiento, pero dependerá del número de artículos introducidos en el tanque. |
| Factores que influyen en los costes | <p>El tipo de equipamiento utilizado.</p> <p>El método para el tratamiento de los residuos.</p> |
| Efectos secundarios | |
| Impacto medioambiental | La eliminación o almacenamiento de los residuos generados por la implementación de esta opción puede tener un impacto medioambiental. Sin embargo, este debería minimizarse mediante el control de cualquier ruta de eliminación y las autorizaciones pertinentes. |
| Impacto social | <p>Aceptación de la eliminación de residuos contaminados.</p> <p>Eliminación de los productos de corrosión de la superficie.</p> <p>Tranquilidad de empleados y usuarios.</p> <p>Continuidad del trabajo.</p> |
| Experiencia práctica | Utilizado a pequeña escala en las centrales nucleares en su operación normal y en los laboratorios radioquímicos. |
| Referencias clave | <p>Eged K, Kis Z, Andersson KG, Roed J and Varga K (2003). Guidelines for planning interventions against external exposure in industrial area after a nuclear accident. Part 1: a holistic approach to countermeasure application. GSF-Bericht 01/03, Germany.</p> <p>Fuchs FJ (2002). <i>Ultrasonic cleaning: fundamental theory and application</i>. Jamestown, NY: CAE Ultrasonics. Disponible en línea en: http://www.caeultrasonics.com/fu-page1.php3 [Acceso el 15/10/08].</p> <p>US Department of Energy (1994). <i>Decommissioning technology descriptions: decontamination</i>. USDoE, Office of Environmental Management.</p> |
| Versión | 2 |
| Historia del documento | Ver Tabla 3.2 . |

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 4

| | | |
|------------|---|----------------|
| 4 | FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN | 217 |
| 4.1 | Factores temporales y espaciales | 217 |
| 4.2 | Eficacia de las opciones de gestión | 218 |
| 4.2.1 | Eficacia de las opciones de blindaje | 218 |
| 4.2.2 | Eficacia de las opciones de blindaje – opciones de fijación | 219 |
| 4.2.3 | Eficacia de las opciones de eliminación | 221 |
| 4.2.4 | Factores sociales que afectan a la eficacia de las opciones de gestión | 222 |
| 4.3 | Protección de los trabajadores | 222 |
| 4.3.1 | Trabajadores que implementan una estrategia de recuperación | 222 |
| 4.3.2 | Tipos de riesgos específicos para los trabajadores | 223 |
| 4.4 | Eliminación de residuos contaminados radiactivamente | 223 |
| 4.4.1 | Clasificación de los residuos contaminados | 223 |
| 4.4.2 | Gestión de residuos sólidos y líquidos resultantes de la limpieza | 224 |
| 4.4.3 | Gestión de residuos (basura) y bienes contaminados | 226 |
| 4.4.4 | Agua residual contaminada: lluvia y escorrentía natural | 228 |
| 4.5 | Aspectos sociales y éticos de la estrategia de recuperación | 229 |
| 4.5.1 | Consideraciones sociales | 229 |
| 4.5.2 | Consideraciones éticas | 232 |
| 4.6 | Impacto medioambiental | 232 |
| 4.6.1 | Impactos medioambientales positivos | 232 |
| 4.6.2 | Impactos medioambientales negativos | 232 |
| 4.7 | Coste económico | 233 |
| 4.8 | Cuestiones de información y comunicación | 234 |
| 4.9 | Referencias | 235 |
| | Tabla 4.1 Grosor de material necesario para reducir las tasas de dosis externa gamma a la mitad y a la décima parte en función de la energía gamma | 219 |
| | Tabla 4.2 Eficacia de algunas opciones de fijación en la reducción de las tasas de dosis externa beta para emisores beta | 220 |
| | Tabla 4.3 Protección proporcionada por la implementación de opciones de fijación para superficies exteriores contaminadas en áreas habitadas | 221 |
| | Tabla 4.4 Límites de dosis para prácticas para trabajadores y miembros del público | 222 |
| | Tabla 4.5 Estimación de la concentración de actividad en los residuos líquidos generados por la limpieza en función del depósito | 225 |
| | Tabla 4.6 Factores a considerar para la gestión de los residuos domésticos/comerciales | 227 |
| | Tabla 4.7 Rutas del agua de lluvia y vías potenciales de exposición para los miembros del público | 228 |
| | Tabla 4.8 Factores sociales que pueden influir en las prioridades de recuperación | 231 |
| | Tabla 4.9 Costes económicos de la implementación de las opciones de gestión | 233 |
| | Figura 4.1 Rutas para la gestión de residuos | 224 |

4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

Hay una serie de factores que es necesario tener en cuenta a la hora de desarrollar una estrategia de gestión para la recuperación a largo plazo de un área habitada contaminada. Los más importantes son:

- factores temporales y espaciales
- eficacia de las opciones de gestión
- protección de los trabajadores
- cuestiones relativas a la eliminación de residuos
- aspectos sociales y éticos
- impacto medioambiental
- coste económico
- cuestiones relativas a la comunicación y la información

Cada factor se trata con más detalle en las secciones siguientes.

4.1 Factores temporales y espaciales

Las consecuencias de un incidente radiológico dependen del momento de la liberación. Si esta ocurre en mitad de la noche, es probable que haya menos gente en el exterior que sea contaminada directamente.

Algunos radionucleidos decaen muy rápidamente, mientras que otros pueden permanecer en el entorno durante décadas; además, los radionucleidos se transferirán desde el lugar donde se depositaron debido a la meteorización. Es por ello por lo que el tiempo transcurrido desde la liberación de radiactividad puede ser de gran importancia, dependiendo de los radionucleidos involucrados. Además, la propagación de la contaminación en el área se incrementará con el tiempo, dando lugar a un cambio en las concentraciones de actividad de los radionucleidos en el tiempo.

El tipo de área afectada y su ubicación y tamaño pueden tener un impacto sobre la elección de las opciones de gestión. El tamaño del área afecta a la velocidad con la que una estrategia de recuperación puede ser implementada, qué implica y la escala temporal en la cual puede completarse. Las áreas pequeñas de contaminación pueden ser más fácilmente limpiadas que las áreas grandes, y puede que más opciones sean viables. Además, el tipo de área y su ubicación son factores importantes. Si se contamina un área residencial con un gran número de habitantes, habrá una gran presión por parte del público para que se asegure que todavía es seguro vivir allí y enviar a los niños a la escuela o a jugar en los parques. Si la ubicación de un incidente afecta a elementos prioritarios, que pueden estar vinculadas al turismo, la sensibilidad política, estabilidad económica o instalaciones esenciales e infraestructuras, habrá también un aumento de la presión para minimizar la contaminación rápidamente.

4.2 Eficacia de las opciones de gestión

Como se ha mencionado en la [Sección 1](#), el objetivo principal de la mayoría de las opciones de gestión consideradas en este Manual es reducir las dosis externas debidas a los radionucleidos depositados y las dosis por inhalación debidas a la resuspensión de material contaminado.

La eficacia de las opciones de gestión está influida por factores técnicos y sociales, algunos de los cuales son muy específicos para una o dos opciones. En las hojas de datos individuales ([Sección 3](#)) se da una orientación exhaustiva sobre la eficacia.

4.2.1 Eficacia de las opciones de blindaje

La eficacia de una opción de blindaje se define como la reducción en la tasa de dosis externa debida a una superficie (por ejemplo, edificios, superficies pavimentadas, césped, suelo, y arbustos), expresada generalmente como un porcentaje, después de la implementación de la opción.

La eficacia del blindaje proporcionado por una opción depende de los radionucleidos presentes y del grosor del material de blindaje. La eficacia de las diferentes opciones de blindaje se incluye en las hojas de datos pertinentes (Sección 3). También se han hecho estimaciones de los grosores habituales de los materiales que serían necesarios para reducir las tasas de dosis gamma en factores de dos y diez. Los grosores se pueden aplicar a una serie de materiales sólidos comunes que podrían utilizarse para el blindaje en un área habitada, y van desde el papel pintado hasta el hormigón, y se dan en la [Tabla 4.1](#) para tres bandas de energía gamma (< 0.1 MeV, 0.1 – 1.0 MeV, > 1 MeV). Todos los grosores son valores aproximados y deberían utilizarse solamente para los cálculos previos. Los grosores son apropiados solo para materiales con densidades de hasta 2500 kg m⁻³. La [Tabla 1.1](#) aporta la energía gamma de todos los radionucleidos considerados en el Manual. Para otros radionucleidos, esta información se puede encontrar en una publicación de la ICRP (ICRP, 1983). Hay que destacar que este enfoque se ha desarrollado para los materiales que es más probable se encuentren dentro de las áreas contaminadas. Se sabe que otros materiales como el plomo proporcionan el mejor blindaje frente a los radionucleidos emisores gamma; sin embargo, su uso es improbable que sea viable a media o gran escala en áreas habitadas.

Las reducciones en la tasa de dosis beta que se podrían esperar del uso de materiales de blindaje en áreas habitadas se dan para el ⁹⁰Sr en la [Tabla 4.2](#) (este radionucleido tiene un hijo emisor beta de alta energía, el ⁹⁰Y). Para los radionucleidos emisores de radiación beta débil¹ (ver [Tabla 1.1](#)) el blindaje será muy eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa debidas a la superficie.

¹ Para los fines del Manual, un emisor beta débil tiene una energía máxima de menos de 2 MeV.

Tabla 4.1 Grosor de material necesario para reducir las tasas de dosis externa gamma a la mitad y a la décima parte en función de la energía gamma

| Rango de energía* | Radionucleidos | Grosor de material (cm) | |
|----------------------------------|---|-------------------------|------------------------|
| | | Factor de reducción 2 | Factor de reducción 10 |
| Bajas energías (< 0.1 MeV) | ²³⁸ Pu, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Am | < 5 | < 20 |
| Energías medias (0.1 – 1 MeV) | ⁷⁵ Se, ⁹⁵ Zr, ⁹⁵ Nb, ⁹⁹ Mo, ¹⁰³ Ru, ¹⁰⁶ Ru, ¹³¹ I, ¹³² Te, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ¹⁶⁹ Yb, ¹⁹² Ir, ²³⁵ U | < 10 | Algunas decenas |
| Altas energías (> 1 MeV) | ⁶⁰ Co, ¹³⁶ Cs, ¹⁴⁰ Ba, ¹⁴⁰ La, ¹⁴⁴ Ce, ²²⁶ Ra | Algunas decenas | Algunas decenas - 100 |

Notas:

*: Se ha utilizado la energía con la mayor probabilidad de emisión. Se han tenido en cuenta las energías de los radionucleidos hijo. Las energías se han tomado de ICRP, 1983.

4.2.2 Eficacia de las opciones de blindaje – opciones de fijación

La **eficacia de una opción de fijación** se define como la reducción en la dosis por inhalación debida a la reducción de la resuspensión de material contaminado desde una superficie (por ejemplo, edificios, superficies pavimentadas, césped, suelo y arbustos), generalmente expresada como un porcentaje, después de la implementación de la opción.

Las posibles opciones de fijación consideradas para cada superficie se dan en la [Tabla 4.3](#) junto con los posibles beneficios para los radionucleidos que están siendo considerados en el Manual. El objetivo principal de las opciones de fijación es reducir la incorporación de contaminación al cuerpo, por ejemplo, por inhalación. Además, estas opciones pueden proporcionar algo de blindaje frente a la contaminación, y por lo tanto reducir las tasas de dosis externa. En la [Tabla 4.3](#) se da una orientación sobre lo eficaces que pueden ser las opciones de fijación en la reducción de las tasas de dosis externa. Los valores proporcionados en la tabla son para el ⁹⁰Sr y su hijo el ⁹⁰Y. Se ha elegido estos radionucleidos porque emiten radiación beta de alta energía. Para muchos radionucleidos emisores beta, las reducciones en la tasa de dosis serán mayores. Los valores de la tabla son aproximados y solo deberían usarse para valorar la eficacia del material de fijación como medio de blindaje. La mayoría de las opciones de fijación aportan muy poca protección frente a los radionucleidos emisores gamma. Si se utiliza suelo, arena o materiales bituminosos como material de fijación, hay algunos beneficios en términos de reducción de las tasas de dosis externa sobre la superficie contaminada, como se muestra en la [Tabla 4.3](#).

La fijación puede ser tanto temporal como permanente, dependiendo del material utilizado, como se especifica en la [Tabla 4.3](#). En dicha tabla se asume que los métodos de fijación son beneficiosos si se pueden lograr reducciones en las dosis de más del 30 %. Las opciones de fijación temporal posiblemente solo sean eficaces durante un día o dos, después de los cuales es probable que su integridad se haya visto comprometida, a menos que la aplicación se repita. Las opciones de fijación

permanentes quedan colocadas hasta que son posteriormente eliminadas (por ejemplo, revestimientos bituminosos sobre carreteras), aunque debería señalarse que todos los materiales de fijación es probable que, hasta cierto punto, pierdan su integridad con el tiempo y sean menos eficaces. Las opciones de fijación consideradas en este Manual es improbable que sean adecuadas para superficies de construcción especializadas. El agua solo se espera que sea utilizada para humedecer la superficie antes de la eliminación para reducir las dosis por inhalación a los trabajadores debidas a material resuspendido durante dicha eliminación. Para el suelo contaminado, el agua tiene además el beneficio de ayudar a la unión de la actividad con las partículas de dicho suelo y puede lavar la contaminación por debajo de suelos porosos, dos acciones que reducen la resuspensión a largo plazo. Sin embargo, cabe señalar que la resuspensión a menudo no contribuye de manera significativa a las dosis y que el material radiactivo lavado del césped o las plantas da lugar a concentraciones de actividad mayores en el suelo. Para carreteras y áreas pavimentadas, el agua también es probable que lave parte de la contaminación de la superficie hacia los desagües o sobre las superficies de suelo y césped circundantes. Conviene señalar que el suelo podría ser utilizado también como material de recubrimiento en carreteras y áreas pavimentadas. Capas tan delgadas son potencialmente alteradas por los vehículos, los peatones, el viento y otros medios. La arena y el suelo en las carreteras puede interferir con los canales de escorrentía de agua de lluvia, a menos que se preste especial atención.

Tabla 4.2 Eficacia de algunas opciones de fijación en la reducción de las tasas de dosis externa beta para emisores beta

| Opción de fijación | Reducciones en la tasa de dosis externa beta sobre la superficie mientras el material de blindaje está colocado | |
|--|---|---|
| | Grosor de material* (mm) | Reducción de la tasa de dosis sobre la superficie (%) |
| Pintura sobre las superficies exteriores de los edificios | 1 | 45 |
| Agua sobre carreteras y áreas pavimentadas | 1 | 45 |
| Arena sobre carreteras y áreas pavimentadas | 2 | 90 |
| Materiales bituminosos sobre carreteras y áreas pavimentadas | 1 | 70 |
| Suelo sobre superficies de terreno exteriores | 50 | 100 |
| Revestimientos polímeros retirables sobre superficies duras exteriores | 2 | 65 |

Nota:

*: Los grosores de los materiales se asume que son los indicados en las hojas de datos ([Sección 3](#))

Tabla 4.3 Protección proporcionada por la implementación de opciones de fijación para superficies exteriores contaminadas en áreas habitadas.

| Opción de fijación | Protección frente a la inhalación de material resuspendido | Protección frente a la radiación externa gamma | Protección frente a la radiación externa beta |
|--|--|--|---|
| Pintura sobre las superficies exteriores de los edificios (T/P)* | Si | No | Si |
| Agua sobre carreteras y áreas pavimentadas | Si | No | Si |
| Arena sobre carreteras y áreas pavimentadas | Si | No | No |
| Materiales bituminosos sobre carreteras y áreas pavimentadas | Si | No | Si |
| Materiales bituminosos sobre carreteras y áreas pavimentadas | Si | No | Si |
| Suelo sobre superficies de terreno exteriores | Si | Si | Si |
| Revestimientos polímeros retirables sobre superficies duras exteriores | Si | No | Si |

Claves: T = temporal; P = permanente

Nota:

*: La pintura podría considerarse también para superficies interiores. De igual manera, el enmoquetado o el empapelado también fijarían.

4.2.3 Eficacia de las opciones de eliminación

La eficacia de una opción de eliminación se define como la relación entre la actividad presente inicialmente sobre una superficie específica (por ejemplo, edificios, superficies pavimentadas, césped, suelo y arbustos) y la que queda después de implementar la opción. A esta relación se la suele llamar Factor de Descontaminación (FD).

Un FD de 5, por ejemplo, significa que el 80 % de la actividad sobre la superficie se puede eliminar mediante una técnica particular. Debería señalarse que el FD solo es una medida de la eficacia de una técnica al eliminar actividad de una superficie específica; no es una medida de la reducción de la exposición total debida a material depositado sobre todas las superficies del entorno en el que un individuo vive.

En los casos en los que la contaminación puede penetrar significativamente en una superficie, como por ejemplo en el suelo, la utilización de un FD no es por lo general apropiada. En su lugar, se utiliza la reducción de la tasa de dosis a una altura de referencia sobre la superficie (normalmente 1 m) después de la eliminación parcial o total de la contaminación hasta una profundidad dada, para expresar la eficacia de la implementación de una opción particular sobre esa superficie.

Para las superficies duras, es razonable asumir que gran parte de la actividad sobre las mismas está disponible para la resuspensión y que, por lo tanto, las técnicas que eliminan la contaminación de dichas superficies también reducen la actividad resuspendida en el aire desde ellas. Para superficies permeables, como por ejemplo el suelo, se acepta en general que solo la capa superficial del suelo (normalmente hasta una profundidad de 10 mm) contribuye a la actividad resuspendida. La reducción de la

actividad en las capas superficiales del suelo tras la implementación de las opciones de eliminación es por eso una medida importante de la posible reducción en la resuspensión, y la concentración resultante en el aire se reducirá según el valor del FD.

Todos los valores del FD, las reducciones en la tasa de dosis sobre una superficie, y las reducciones en la resuspensión que se presentan en este Manual deberían tratarse solamente como orientativas. Los valores reales logrados dependen en gran medida de las circunstancias específicas del incidente. En el caso de una emergencia radiológica, puede ser necesario probar la técnica propuesta sobre una pequeña parte del área a descontaminar, para determinar con más precisión la eficacia que se podría esperar.

4.2.4 Factores sociales que afectan a la eficacia de las opciones de gestión

La eficacia de las opciones de gestión está influenciada por una amplia gama de factores sociales, incluida la habilidad de las autoridades para controlar el movimiento de entrada y salida de las personas en el área contaminada y su cumplimiento de las instrucciones y consejos; no se puede forzar a las personas a cumplir dichas instrucciones; puede que no las entiendan, o que no puedan o quieran seguirlas.

4.3 Protección de los trabajadores

Se puede dividir a los trabajadores en dos grupos: miembros del público que trabajan en el área o que entran en el área afectada para trabajar, denominados personal normal, y las personas que implementan la estrategia de recuperación, incluyendo las operaciones de limpieza, monitorización y otras.

4.3.1 Trabajadores que implementan una estrategia de recuperación

Si los trabajadores que implementan las opciones de gestión están sujetos a riesgos adicionales, estos deberían tenerse en cuenta en la justificación y optimización de la estrategia de recuperación (ICRP, 2007). Las personas involucradas en las operaciones de recuperación deberían estar sujetas al sistema de protección radiológica normal para exposición ocupacional (ver la [Tabla 4.4](#)), ya que se puede planificar su trabajo y controlar su exposición (ICRP, 2007). Este sistema de limitación de dosis también se aplica al manejo y eliminación de cualquier residuo producido durante la implementación de las acciones de recuperación.

Tabla 4.4 Límites de dosis para prácticas para trabajadores y miembros del público

| Categoría | Dosis efectiva (mSv a ⁻¹) | Dosis en piel (mSv a ⁻¹) | Dosis en cristalino (mSv a ⁻¹) |
|----------------------|--|---|---|
| Trabajadores | 20 | 500 | 150 |
| Miembros del público | 1 | 50 | 15 |

4.3.2 Tipos de riesgos específicos para los trabajadores

Los riesgos debidos a la radiación para los trabajadores estarán especialmente relacionados con la exposición externa a la contaminación en el entorno, con la exposición externa a la contaminación radiactiva sobre el cuerpo, y con la exposición interna debida a la inhalación de sustancias radiactivas resuspendidas.

Se puede elegir una serie de medidas de protección para reducir los riesgos para los trabajadores, de acuerdo con los requisitos de la situación específica. Estas medidas incluyen: retrasar la implementación de las opciones de gestión; restricciones sobre el tiempo de trabajo; blindaje; ventilación; fijación; protección respiratoria; gafas de seguridad protectoras bien ajustadas, y ropa de protección.

La utilización de equipamiento de protección debería optimizarse según la tarea. Una protección excesiva, innecesaria y claramente visible de los trabajadores puede contribuir al nerviosismo de la población local del área; por eso su utilización debería estar justificada. Las precauciones de seguridad se tratan, en términos generales, para cada opción en las hojas de datos (ver [Sección 3](#)).

4.4 Eliminación de residuos contaminados radiactivamente

La contaminación de un área habitada tras un incidente radiológico genera residuos radiactivos sólidos y líquidos, independientemente de la estrategia de recuperación que se implemente. Se consideran tres categorías de residuos radiactivos en este Manual:

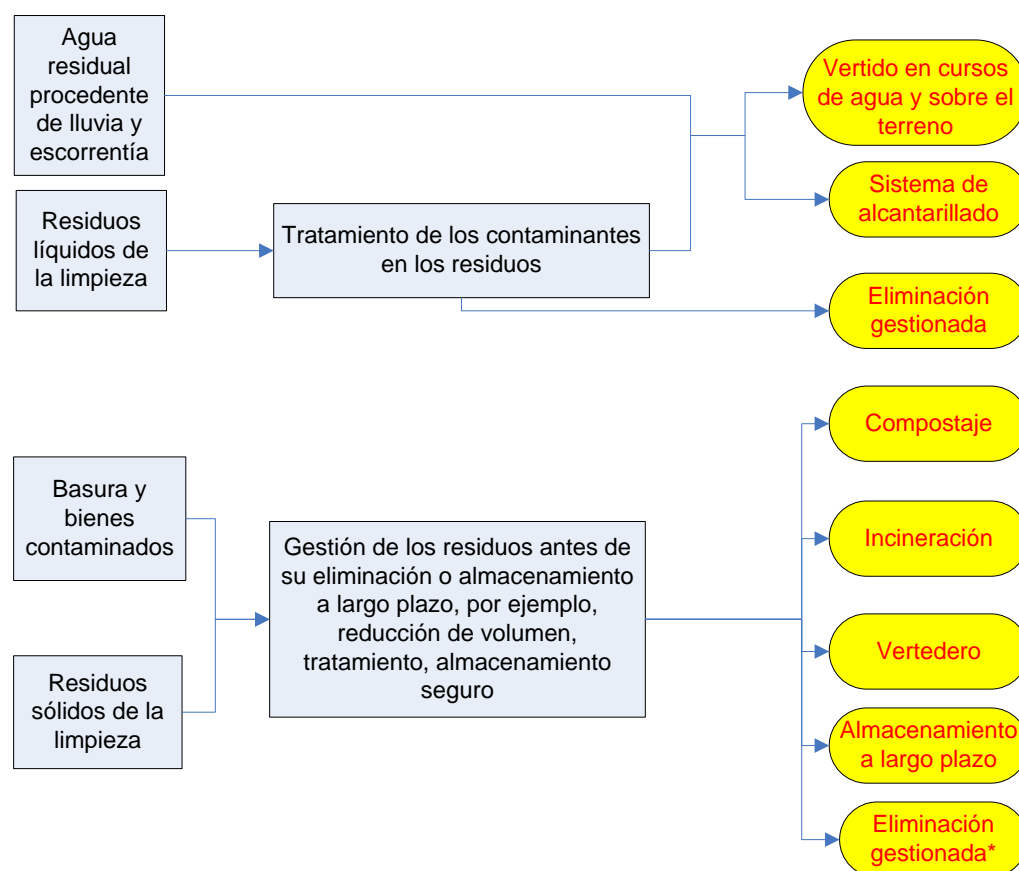
- residuos (basura) y bienes contaminados;
- residuos procedentes de la limpieza del área contaminada (sólidos y líquidos);
- agua residual procedente de la lluvia y la escorrentía natural.

Por eso es importante tener en cuenta el impacto de los residuos contaminados sobre el público, los trabajadores que manejan dichos residuos, el medio ambiente y las prácticas habituales de eliminación de residuos. La [Figura 4.1](#) ilustra una visión global de las rutas de gestión de residuos para los sólidos y los líquidos contaminados con radiactividad.

4.4.1 Clasificación de los residuos contaminados

Cada país europeo ha desarrollado su propio sistema de caracterización para los residuos contaminados generados por las prácticas, de acuerdo con una serie de rangos de actividad específica (por ejemplo, media, baja y muy baja). Si bien no existe un sistema de clasificación común para los estados miembro, se han sugerido niveles de desclasificación por debajo de los cuales la contaminación en los residuos da lugar a niveles insignificantes de dosis (OIEA, 1996). Estos niveles se podrían utilizar para definir categorías de residuos que pueden ser eliminados mediante las rutas habituales para ello.

Figura 4.1 Rutas para la gestión de residuos



*Eliminación gestionada = Eliminación a través de rutas autorizadas (por ejemplo, el Cabril o un futuro almacenamiento geológico profundo)

4.4.2 Gestión de residuos sólidos y líquidos resultantes de la limpieza.

Una serie de opciones de gestión pueden generar residuos radiactivos. Cualquier decisión sobre acometer una limpieza que genere residuos radiactivos debería estar respaldada por una evaluación del impacto que los residuos generados tendrán sobre el público, los trabajadores y el medio ambiente y consideraciones sobre el método de eliminación de dichos residuos. Esta evaluación implica una estimación de los niveles de actividad en los residuos, una estimación de las cantidades producidas y una evaluación de las exposiciones de los trabajadores y el público debidas a ellos. El [Apéndice C](#) contiene más información sobre la gestión de residuos sólidos y líquidos resultantes de la limpieza. Se indican estimaciones de las cantidades de residuos que se podrían esperar de la implementación de las opciones de limpieza en las hojas de datos para cada opción ([Sección 3](#)) y en la [Tabla 6.11](#). La opción de eliminación de residuos seleccionada dependerá de la naturaleza de los residuos, el nivel de actividad en ellos y la disponibilidad y aceptabilidad de sus rutas de eliminación.

Para ayudar a identificar si la eliminación de residuos acuosos directamente a través del alcantarillado es posible que sea un problema, se han hecho estimaciones de los niveles de contaminación probables en los residuos generados por las opciones de limpieza en función del nivel de depósito. Los datos se presentan en la [Tabla 4.5](#). Estos datos deberían tenerse en cuenta solo como meramente ilustrativos, siendo necesaria

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

la monitorización para demostrar los niveles de contaminación reales en cualquier residuo producido. Puede que sea técnicamente viable segregar los residuos acuosos producidos en dos corrientes, una de polvo/lodo contaminado y otra de agua. Dependiendo del radionucleido y su forma física dentro de los residuos, quizá sea posible eliminar el agua sin restricciones. Sin embargo, es posible que esto resulte demasiado caro. La [Tabla 4.5](#) recoge tanto las concentraciones de actividad en los residuos totales (polvo + agua) como las concentraciones probables en el polvo/lodo tras el filtrado, para las opciones de limpieza que produzcan residuos acuosos.

Tabla 4.5 Estimación de la concentración de actividad en los residuos líquidos generados por la limpieza en función del depósito^a

| Opción de limpieza | Superficie | Material residual | Concentración de actividad por unidad de depósito (Bq kg ⁻¹ por Bq m ⁻²) | | |
|--|-----------------------|------------------------|--|--------------------|--------------------|
| | | | ¹³⁷ Cs | ¹³¹ I | ²³⁹ Pu |
| Tras depósito húmedo | | | | | |
| Limpieza con chorro de agua | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 3 10 ⁻¹ | 8 10 ⁻² | 2 10 ⁻¹ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 9 10 ⁻² | 2 10 ⁻³ | 4 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 4 10 ¹ | 8 10 ⁻¹ | 2 10 ¹ |
| Barrido con aspirador | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 1 | 2 10 ⁻¹ | 5 10 ⁻¹ |
| Limpieza con chorro de arena | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 6 10 ⁻² | 1 10 ⁻³ | 3 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 1 10 ⁻¹ | 3 10 ⁻³ | 6 10 ⁻² |
| Espuma | Carreteras/pavimentos | Residuo acuoso + polvo | 2 10 ¹ | 5 | 1 10 ¹ |
| Limpieza con chorro de agua | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 1 10 ⁻² | 5 10 ⁻³ | 6 10 ⁻³ |
| | | Solo lodos y polvo | 1 | 5 10 ⁻¹ | 6 10 ⁻¹ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 1 10 ⁻³ | 5 10 ⁻⁵ | 7 10 ⁻⁴ |
| | | Solo lodos y polvo | 3 | 1 10 ⁻¹ | 1 |
| Limpieza con chorro de arena | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 2 10 ⁻³ | 6 10 ⁻⁵ | 8 10 ⁻⁴ |
| | | Solo lodos y polvo | 5 10 ⁻³ | 2 10 ⁻⁴ | 2 10 ⁻³ |
| Espuma | Edificios-fachadas | Residuo acuoso + polvo | 6 10 ¹ | 3 10 ⁻¹ | 3 10 ⁻¹ |
| Limpieza con chorro de agua | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 2 10 ⁻¹ | 5 10 ⁻² | 8 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 8 10 ¹ | 2 10 ¹ | 3 10 ¹ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 8 10 ⁻² | 2 10 ⁻³ | 4 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 1 10 ² | 3 | 7 10 ¹ |
| Limpieza con chorro de arena | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 9 10 ⁻² | 2 10 ⁻³ | 4 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 3 10 ⁻¹ | 6 10 ⁻³ | 1 10 ⁻¹ |
| Espuma | Edificios-cubiertas | Residuo acuoso + polvo | 3 10 ¹ | 8 | 2 10 ¹ |

Tabla 4.6 Estimación de la concentración de actividad en los residuos líquidos generados por la limpieza en función del depósito^a

| Opción de limpieza | Superficie | Material residual | Concentración de actividad por unidad de depósito (Bq kg ⁻¹ por Bq m ⁻²) | | |
|--|-----------------------|------------------------|--|--------------------|--------------------|
| | | | ¹³⁷ Cs | ¹³¹ I | ²³⁹ Pu |
| Tras depósito seco | | | | | |
| Limpieza con chorro de agua | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 8 10 ⁻² | 3 10 ⁻² | 4 10 ⁻² |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 2 10 ⁻² | 6 10 ⁻⁴ | 8 10 ⁻³ |
| | | Solo lodos y polvo | 7 | 3 10 ⁻¹ | 4 |
| Barrido con aspirador | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 1 10 ⁻¹ | 6 10 ⁻² | 7 10 ⁻² |
| Limpieza con chorro de arena | Carreteras/pavimentos | Agua y polvo | 8 10 ⁻³ | 3 10 ⁻⁴ | 4 10 ⁻³ |
| | | Solo lodos y polvo | 2 10 ⁻² | 6 10 ⁻⁴ | 8 10 ⁻³ |
| Espuma | Carreteras/pavimentos | Residuo acuoso + polvo | 3 | 1 | 2 |
| Limpieza con chorro de agua | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 4 10 ⁻² | 2 10 ⁻² | 2 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 5 | 2 | 2 |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 5 10 ⁻³ | 2 10 ⁻⁴ | 5 10 ⁻³ |
| | | Solo lodos y polvo | 1 10 ¹ | 4 10 ⁻¹ | 9 |
| Limpieza con chorro de arena | Edificios-fachadas | Agua y polvo | 6 10 ⁻³ | 3 10 ⁻⁴ | 3 10 ⁻³ |
| | | Solo lodos y polvo | 2 10 ⁻² | 8 10 ⁻⁴ | 9 10 ⁻³ |
| Espuma | Edificios-fachadas | Residuo acuoso + polvo | 2 | 1 | 1 |
| Limpieza con chorro de agua | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 1 10 ⁻¹ | 8 10 ⁻² | 5 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 4 10 ¹ | 3 10 ¹ | 2 10 ¹ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 4 10 ⁻² | 3 10 ⁻³ | 4 10 ⁻² |
| | | Solo lodos y polvo | 8 10 ¹ | 5 | 7 10 ¹ |
| Limpieza con chorro de arena | Edificios-cubiertas | Agua y polvo | 5 10 ⁻² | 3 10 ⁻³ | 2 10 ⁻² |
| | | Polvo | 1 10 ⁻¹ | 1 10 ⁻² | 7 10 ⁻² |
| Espuma | Edificios-cubiertas | Residuo acuoso + polvo | 2 10 ¹ | 1 10 ¹ | 1 10 ¹ |

a) Estimaciones de las concentraciones de actividad en los residuos calculadas utilizando CONDO (Charnock et al, 2003).

4.4.3 Gestión de residuos (basura) y bienes contaminados.

Cuando no hay contaminación, los residuos domésticos y comerciales se envían normalmente a un vertedero o se incineran. Puede incluirse una etapa de clasificación en la que los residuos se clasifican manualmente y los artículos adecuados se envían a reciclar. Los residuos orgánicos, como los recortes de césped de los jardines, se pueden recoger por separado y enviar a instalaciones de compostaje. En el caso de una emergencia radiológica, parte de estos residuos no serán contaminados, ya que estarán colocados en cubos cubiertos antes del depósito. Otra basura y residuos de jardinería recogidos tras el paso de la pluma es probable que estén contaminados. Algunos de los diferentes factores que requieren consideración para la gestión de los residuos domésticos y comerciales tras un incidente radiológico se perfilan en la [Tabla 4.6](#). La responsabilidad de la gestión de los residuos dependerá de los niveles de contaminación presentes.

Tabla 4.7 Factores a considerar para la gestión de los residuos domésticos/comerciales

Recogida de residuos domésticos/comerciales

Los miembros del público pueden tener la percepción de que los residuos domésticos y comerciales (basura) están contaminados, incluso si no lo están. Debería instalarse un esquema de monitorización que permita la liberación de los residuos que pueden eliminarse según las prácticas habituales (Ver [Apéndice C](#)).

Los retrasos en la recogida de residuos domésticos pueden dar lugar a vertidos incontrolados por parte del público, con la consiguiente pérdida de control sobre dichos residuos. Por eso no es aceptable, en general, pedir a la gente que guarde la basura.

Debería considerarse la suspensión temporal de la clasificación y reciclado de los residuos.

Debería considerarse la segregación de los residuos de jardinería de otros residuos en el caso de que no sea una práctica habitual.

Si la gente sigue viviendo normalmente en un área, cualquier precaución especial o diferencia en la manera de recoger los residuos puede dar lugar a preguntas sobre los riesgos para las personas que viven en dicha área.

Concentraciones de actividad en los residuos

Cualquier residuo cubierto, sellado o protegido de alguna otra manera, a la espera de ser recogido en el momento de la liberación, no estará contaminado, aunque el contenedor o el envase mismos sí que pueden estarlo.

Los restos de la poda de jardines también pueden ser motivo de preocupación si la poda se lleva a cabo en los primeros pocos meses tras el depósito. Los residuos de alimentos procedentes de los cultivos en jardines y huertos en el área contaminada pueden tener niveles de contaminación similares a los de los recortes de césped.

Las concentraciones de actividad en los residuos de jardinería es probable que sean del orden de $1-10 \text{ Bq kg}^{-1}$ poco después del depósito por cada 1 Bq m^{-2} . Estas concentraciones disminuirán con el tiempo debido a la meteorización natural y la eliminación de actividad con los residuos de jardinería. Las concentraciones de actividad en los residuos contaminados en el interior serán significativamente menores, probablemente al menos 100 veces.

Monitorización

Es necesario un programa de monitorización para demostrar que los niveles de contaminación en los residuos cumplen con los criterios de eliminación y como apoyo a la segregación de residuos y su posterior eliminación o almacenamiento si es necesario.

Puede ser necesaria la monitorización para demostrar que los niveles de contaminación en los residuos domésticos y de jardinería descienden con el tiempo.

Transporte de residuos

El transporte de residuos a través de áreas no contaminadas puede ser inaceptable, aunque también inevitable.

Deberían evaluarse las dosis a los trabajadores que participen en el transporte de residuos (ver [Apéndice C](#)).

Trabajadores que participan en la recogida de residuos (basura), transporte y otras actividades

Deberían evaluarse como se requiere los riesgos para los trabajadores que normalmente recogen los residuos (basura) (ver [Apéndice C](#)). Es necesario poder asegurar a estos trabajadores que es seguro manejar los residuos.

Si la gente sigue viviendo en el área, las dosis externas recibidas por las personas que trabajan en el exterior recogiendo la basura serán del mismo orden que aquellas que recibe alguien que pase tiempo en el exterior en esa área. Las dosis por contacto deberían estar controladas, por ejemplo, utilizando guantes.

Debería considerarse como alternativa la utilización de contratas especializadas.

Debería considerarse la suspensión temporal de la clasificación manual.

Almacenamiento de residuos

Es necesario identificar las instalaciones para almacenar temporalmente los residuos antes de la monitorización y selección de la ruta de eliminación apropiada.

Las instalaciones de almacenamiento para residuos radiactivos no son adecuadas para la eliminación normal. Las comunidades locales puede que no quieran almacenar residuos en sus áreas. Tener en cuenta los emplazamientos nucleares, el lugar del incidente, emplazamientos pertenecientes al Ministerio de Defensa, áreas trasladadas (es decir, áreas con altos niveles de contaminación a las que el acceso está prohibido).

¿Podrían los locales comerciales con productos contaminados (por ejemplo, almacenes, supermercados) operar bajo la *Radioactive Substances (Storage in Transit) Exemption Order* de 1962 -en el Reino Unido-? Pueden ser necesarias autorizaciones dependiendo de los niveles de contaminación.

4.4.4 Agua residual contaminada: lluvia y escorrentía natural

Tras el depósito de radiactividad por parte del agua de lluvia, la posterior escorrentía natural en un área habitada es poco probable que se pueda controlar. Es importante por eso tener información para ayudar en la evaluación del impacto de esta agua contaminada. Este incluirá dosis a los miembros del público, dosis a los trabajadores participantes en la gestión del agua residual, y el impacto sobre la operación normal de las plantas de tratamiento de aguas residuales y las prácticas habituales para la eliminación de estas. La [Tabla 4.7](#) contiene información sobre las posibles rutas de destino para el agua de lluvia y escorrentía y también vías potenciales de exposición para los miembros del público. El agua de lluvia puede entrar en el sistema de alcantarillado, aunque esto depende del tipo de sistema de desagüe existente. Muchas áreas residenciales e industriales modernas tienen sistemas separativos para la recogida de aguas pluviales y residuales; en estos casos, el agua de lluvia no entra en las alcantarillas. Las áreas urbanizadas pueden tener sistemas combinados que pueden permitir que el agua de lluvia entre en el sistema de alcantarillado. Las propiedades en asentamientos rurales es más probable que tengan sistemas mixtos, aunque algunas, viviendas especialmente aisladas, puede que tengan fosas sépticas. En este caso, el agua de lluvia y escorrentía se enviará directamente hacia los pozos. El drenaje de la fosa séptica no se considera más adelante en el Manual. Debería señalarse que el agua procedente de tormentas puede que sea gestionada de manera diferente al agua de escorrentía en condiciones meteorológicas normales.

Tabla 4.8 Rutas del agua de lluvia y vías potenciales de exposición para los miembros del público.

| Ruta del agua de lluvia | Vías potenciales de exposición |
|--|--|
| La escorrentía procedente de las superficies de un área habitada entra en cursos de agua, como, por ejemplo, ríos. | Utilización de los cursos de agua para pescar, nadar, como suministro de agua potable o de riego. |
| La escorrentía entra en el alcantarillado (sistema de recogida de aguas residuales) | Los efluentes tratados procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser descargados en ríos o en aguas costeras. Los lodos residuales pueden ser incinerados, enviados a un vertedero o dispersados sobre el terreno. |
| Sumideros-pozos (por ejemplo, los tejados se drenan a través de los canalones y las bajantes hacia el terreno) | Utilización de los jardines para el recreo, ingestión de alimentos cultivados en los jardines. |

Además de entrar en el alcantarillado, el agua contaminada puede llegar hasta las aguas subterráneas (por ejemplo, lixiviados procedentes de vertedero o del compostaje de material contaminado) y contaminar los suministros de agua potable si esta se obtiene de tales fuentes. Otras fuentes de agua potable tendrán también que ser consideradas y potencialmente monitorizadas (ver el Manual para los Suministros de Agua Potable).

4.4.4.1 *Estimaciones de las concentraciones de actividad en el agua de lluvia y de escorrentía*

Una estimación conservadora de la concentración de actividad en el agua de lluvia, si el depósito se ha producido por lluvias, es 1 Bq l^{-1} por Bq m^{-2} depositado (Brown *et al*, 2008). La escorrentía procedente de edificios y otras superficies de terreno en un área habitada debida a las lluvias no contaminadas posteriores, eliminará cantidades muy pequeñas de material contaminado de las superficies. Las concentraciones de actividad en el agua de escorrentía serán bajas y podría esperarse que estuvieran en la región de $1 \cdot 10^{-3} \text{ Bq l}^{-1}$ por Bq m^{-2} inicialmente depositado para radionucleidos de vida larga (Charnock *et al*, 2003). La escorrentía a largo plazo es improbable que suponga un motivo de preocupación para radionucleidos de vida corta.

El agua residual contaminada puede entrar en el sistema de alcantarillado dependiendo del sistema de drenaje. El [Apéndice C](#) contiene información para situaciones en las que la contaminación ha entrado en el alcantarillado y en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

4.5 Aspectos sociales y éticos de la estrategia de recuperación

4.5.1 Consideraciones sociales

Varios estudios han reconocido la complejidad y la importancia de los aspectos sociales al adoptar una estrategia de recuperación tras un incidente de radiación (Álvarez and Gil, 2003; Hedemann-Jensen, 2003; Hunt and Wynne, 2002; OECD, 2004; Oughton *et al.*, 2003). A pesar de las consecuencias beneficiosas de la implementación de las opciones de gestión, algunas de las implicaciones asociadas pueden disminuir la calidad de vida de los afectados. La implementación de las opciones de gestión interrumpe la vida normal social y económicamente y puede causar pánico, estrés o convulsionar a los afectados, dando lugar posiblemente a daños en la salud y en el bienestar (Hedemann-Jensen, 2003). Son especialmente susceptibles los ancianos, padres con familias jóvenes y mujeres embarazadas.

Por otra parte, la implementación de opciones de gestión puede ayudar a proporcionar tranquilidad a los miembros del público y a los trabajadores. Además, puede tener un impacto positivo haciendo que un área parezca más limpia de lo que estaba originalmente o mejorando las condiciones de las infraestructuras (por ejemplo, mejoras a la red de carreteras y ferrocarriles). Las compañías locales pueden involucrarse en las operaciones de limpieza y con ello beneficiarse económicamente. El fallo a la hora de emprender acciones positivas y llevar a cabo las medidas de protección, también puede causar ansiedad, a menudo exacerbada por una falta de información objetiva (Hedemann-Jensen, 2003).

Muchos estudios han enfatizado la importancia de involucrar a las partes interesadas con el fin de evaluar las implicaciones sociales de una estrategia de recuperación (Hedemann-Jensen, 2003; Howard *et al*, 2005; Hunt and Wynne, 2002; Nisbet *et al*, 2005; OECD, 2004; Oughton *et al*, 2003). La implicación de las partes interesadas puede tener en cuenta otras consideraciones distintas a aquellas directamente relacionadas con la protección radiológica (Hedemann-Jensen, 2003). El objetivo es que los que están preocupados por la situación deberían implicarse y tener la

oportunidad de participar en los procesos de ayuda a la decisión en condiciones de no existencia de crisis. La implicación de las partes interesadas es un componente importante del proceso de toma de decisiones y, en algunos casos, es esencial para llegar a una solución aceptada y generar confianza en las autoridades encargadas de tomar dichas decisiones (OCDE, 2004). Dentro de la comunidad de la protección radiológica, los procesos participativos de las partes interesadas se han ido trasladando paulatinamente hacia el primer plano de los debates políticos y son claramente elementos clave en las decisiones con respecto al desarrollo y la implementación de las políticas de protección radiológica (OCDE, 2004). Esta posición es coherente con las recomendaciones de la ICRP, que enfatizan la importancia de la implicación de las partes interesadas como una aportación importante para la optimización (ICRP, 2007).

Los factores sociales que pueden influir en las prioridades dadas a una estrategia de recuperación se recogen en la [Tabla 4.8](#).

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

Tabla 4.9 Factores sociales que pueden influir en las prioridades de recuperación

| Factor | Comentarios |
|---|---|
| Ubicación | La ubicación de una emergencia radiológica afecta a las prioridades, que pueden estar relacionadas con el turismo, sensibilidades políticas, estabilidad económica o instalaciones e infraestructuras esenciales. |
| Número de personas afectadas | Si hay grandes poblaciones afectadas, el impacto para la salud pública puede ser importante incluso si las dosis individuales no son elevadas. De la misma manera, el trastorno colectivo causado por la implementación de las opciones de gestión será importante. Puede que haya presiones para dar prioridad a áreas residenciales altamente pobladas o a áreas donde trabaja mucha gente, con respecto a áreas rurales escasamente pobladas. |
| ¿Hay gente viviendo en el área contaminada? ¿Han sido evacuados en la fase de emergencia? | <p>Se puede dar prioridad a las áreas residenciales en las que la gente no haya sido evacuada. Posteriormente, las prioridades dentro de las áreas residenciales pueden establecerse basándose en las dosis previstas. La viabilidad de las opciones y las prioridades en un área pueden verse afectadas por la gente que no haya sido trasladada.</p> <p>Si la gente ha sido evacuada, es posible ampliar el tiempo durante el cual están fuera del área afectada, con el fin de implantar las opciones elegidas.</p> <p>Algunas opciones de gestión requieren que el acceso a áreas públicas sea restringido temporalmente. Además, se pueden aplicar restricciones sobre algunas actividades públicas tras la finalización de la implementación de las opciones de gestión (por ejemplo, estará prohibido cavar por debajo de una determinada profundidad). Estas restricciones pueden no ser viables o aceptables por parte del público, lo que es necesario considerar al desarrollar una estrategia de gestión.</p> |
| Tipo de emergencia o incidente radiológico | Los incidentes que implican sustancias radiactivas específicas, como el Plutonio, pueden dar lugar a un aumento del miedo entre la población afectada y fuera del área afectada. |
| Estabilidad económica. Necesidad de mantener los negocios y las infraestructuras abiertos | Las prioridades deben tender hacia los negocios comerciales, tiendas, carreteras, ferrocarriles y otras actividades, para asegurar que la economía del área no es excesivamente afectada y para apoyar a las personas que viven en dicha área. |
| Vuelta a la vida normal. Necesidad de mantener las instalaciones e infraestructuras esenciales abiertas | <p>Las instalaciones públicas o comerciales existentes en el área que se consideren esenciales pueden requerir una elevada prioridad en cualquier estrategia de recuperación para asegurar que siguen siendo viables y seguras.</p> <p>Es posible que haya que someter a los servicios públicos a cargas adicionales (por ejemplo, escuelas y hospitales). Mantener escuelas y otros edificios públicos abiertos y permitir a las personas moverse libremente por el área afectada puede convertirse en una prioridad con el fin de demostrar que la vida ha vuelto a la normalidad.</p> |
| Daño a la propiedad personal | La propiedad y los objetos personales, los equipamientos y los objetos del patrimonio pueden resultar dañados o contaminados tras la implementación de las opciones de gestión. |
| Percepción pública de las áreas afectadas por parte de la gente que vive fuera de ellas | <p>La percepción pública de que el área está significativamente contaminada puede tener profundas consecuencias sociales. Las industrias y los negocios pueden verse afectados, así como la identidad de las comunidades y grupos locales.</p> <p>Se puede esperar que los turistas no volverán al área afectada hasta que la gente haya vuelto a la vida normal. Puede llevar varios años la restauración de la industria turística en el área, dependiendo del tamaño del incidente.</p> |
| Áreas medioambientalmente sensibles (declaradas oficialmente o de alguna otra manera) | Se puede aplicar presión para dar prioridad a una estrategia de recuperación que favorezca al medio ambiente y la protección de la vida salvaje. Restringir el acceso puede ser suficiente para cumplir con estas necesidades. |
| Cuestiones de sensibilidad política | A todos los niveles de gobierno, las sensibilidades y las agendas políticas pueden influir en las prioridades de recuperación. |

4.5.2 Consideraciones éticas

Las consideraciones éticas que deberían tenerse en cuenta al desarrollar una estrategia de recuperación se dan más abajo. Estas cuestiones se exploran de manera más exhaustiva en Oughton et al. (2003).

- Autoayuda. Las opciones que son llevadas a cabo por parte de la población afectada, como cortar el césped, el cavado y la limpieza interior, pueden aumentar la comprensión personal o el control sobre la situación. Además, mediante su implicación, la población refuerza su autonomía, libertad y dignidad. A la inversa, la imposición de opciones de gestión como el traslado puede atentar contra la libertad o restringir el comportamiento normal.
- Bienestar animal. El bienestar animal se refiere a la cantidad de sufrimiento que la opción de gestión puede infligir a los animales, como por ejemplo a las mascotas, a los animales de un zoológico o a los salvajes.
- Riesgo medioambiental debido a los cambios en el ecosistema. Las opciones de gestión que cambian o interfieren en los ecosistemas pueden tener consecuencias inciertas o impredecibles para el medio ambiente. El riesgo medioambiental plantea una serie de cuestiones éticas, entre las que se incluyen las consecuencias para las generaciones futuras, la sostenibilidad, la contaminación transfronteriza, y el equilibrio entre los daños al medio ambiente/los animales y el beneficio para los humanos. La aceptabilidad de la opción de gestión será altamente dependiente del estatus ecológico del área y del grado en que la opción de gestión diverge de la práctica habitual (por ejemplo, el arado superficial puede ser una práctica habitual, mientras que el arado profundo puede que no lo sea). En la mayoría de los casos, debe tenerse en cuenta la legislación medioambiental (por ejemplo en el Reino Unido, *Natural Environment and Rural Communities (NERC) Act 2006*, *National Parks and Access to the Countryside Act 1949*).

4.6 Impacto medioambiental

El impacto sobre el medio ambiente de las opciones de gestión debería considerarse durante el proceso de toma de decisiones, con el fin de asegurar que la acción está justificada. Hay impactos medioambientales positivos y negativos debidos a la implementación de las opciones de gestión.

4.6.1 Impactos medioambientales positivos

La sustitución o el tratamiento de carreteras y superficies pavimentadas pueden dar lugar a una mejora en su estado (dependiendo de su estado original).

4.6.2 Impactos medioambientales negativos

Si un número importante de personas es trasladado temporalmente, el área a la que son enviados experimentará incrementos de tráfico que pueden dar lugar a un impacto medioambiental negativo materializado, por ejemplo, en un incremento del ruido y de la contaminación del aire. En los lugares a donde las poblaciones son trasladadas permanentemente, el emplazamiento de nuevos edificios e infraestructuras podría tener un impacto negativo en la estética medioambiental. De manera similar, en donde se

prohíbe el acceso de los trabajadores a un edificio, el propio edificio y el terreno circundante podrían quedar en un estado de abandono.

Las opciones de gestión para el césped, el suelo y las superficies exteriores pueden dar lugar a una serie de impactos medioambientales negativos. Por ejemplo, pueden tener como resultado un descenso de la biodiversidad, la pérdida de plantas y arbustos, el riesgo de erosión del suelo, la pérdida parcial o total de la fertilidad del suelo, cambios en el paisaje, y otros efectos adversos. Además, los productos químicos utilizados para una opción de fijación pueden ellos mismos contaminar el suelo. La aceptabilidad de la opción de cubrir un área de césped o suelo con asfalto con el fin de blindar a la población frente a la contaminación, es probable que tenga un impacto negativo sobre la estética del entorno.

4.7 Coste económico

La implementación de las opciones de gestión conlleva costes económicos, tanto directos como indirectos. En la [Tabla 4.9](#) se recogen ejemplos de costes directos e indirectos. La cuantía de estos costes depende de muchos factores, incluidos:

- periodo de tiempo durante el cual se implementa una opción de gestión.
- escala del suceso: los costes son proporcionales al área de tierra afectada.
- uso del suelo.
- disponibilidad de equipamiento y consumibles.

Es difícil predecir el coste económico de la implementación de las opciones de gestión debido a los numerosos factores que pueden influir en él (Álvarez-Farizo et al., 2009).

Tabla 4.10 Costes económicos de la implementación de las opciones de gestión

Costes directos

Mano de obra. Incluye los salarios de los trabajadores que implementan las opciones de gestión y los gastos generales de la organización del trabajo, y una partida para el personal adicional que pudiera ser necesario.

Coste de las medidas de protección, como dosímetros o seguimiento médico.

Pérdida de producción debida al cierre de negocios e industrias.

Consumibles y equipamiento específico necesario para determinadas opciones de gestión, incluyendo el manejo de residuos (ver hojas de datos en la [Sección 3](#)).

Comunicación, apoyo, transporte y la necesidad de verificar análisis de laboratorio o técnicas de cribado con fines de control de calidad.

Costes indirectos

Los cambios en áreas exteriores pueden tener un impacto en la estructura del suelo y la fertilidad, y pueden aumentar el riesgo de erosión del suelo. Si se implementan opciones como el arado profundo en áreas donde el nivel freático es alto, las aguas subterráneas pueden contaminarse.

La restricción temporal o permanente del acceso y una reducción o pérdida del turismo, pueden tener un impacto en los negocios (especialmente en los de pequeño tamaño). El impacto puede ser también experimentado en el conjunto de la región si los turistas evitan las zonas cerca del área contaminada por el miedo a dicha contaminación.

Las restricciones sobre el uso posterior de la tierra, una vez las opciones de gestión han sido implementadas, pueden significar que la gente no pueda vivir o trabajar en ciertas áreas, o volver a su estilo de vida normal. Esto puede dar lugar a costes de traslado o cierres de negocios.

4.8 Cuestiones de información y comunicación

Tras la contaminación radiactiva del medio ambiente, las cuestiones relativas a la información y la comunicación serán de la mayor importancia, independientemente de la escala o el alcance de la liberación. La manera en que se aborda la comunicación es probable que tenga un impacto significativo en la respuesta de la sociedad al suceso y en el éxito global de la estrategia de gestión. Durante la planificación por adelantado de un incidente (ver [Sección 5](#)), se podría establecer un marco de comunicación. Este marco, en el caso de que se produjera un incidente, aseguraría una adecuada comunicación y el suministro de información a los afectados. En el caso de que no se planificara la comunicación por adelantado, podría ser extremadamente complicado asegurar que el proceso es preciso, apropiado y coherente en el caso de un incidente.

Algunas de las cuestiones referentes a la comunicación y la información que deberían ser consideradas al desarrollar una estrategia de gestión, son:

- Durante las fases previa al depósito e inicial de un incidente radiológico, normalmente hay una falta de información disponible. Por eso, en estas etapas, hay mucha dependencia de las predicciones acerca de la escala y el impacto de la contaminación y las consecuencias esperadas. Las autoridades son los principales comunicadores de información en la fase inicial.
- A medida que la situación se desarrolla, las fuentes de información y las rutas de difusión crecen rápidamente. Cuantas más fuentes para la difusión haya disponibles, mayor será la posibilidad de que se emita información contradictoria. Las autoridades tendrían que hacer frente a esta situación y estar en posición de suministrar información precisa.
- Antes y durante la implementación de las opciones de gestión en un área habitada contaminada, debería funcionar una estrategia de comunicación bien enfocada y el diálogo con y entre las poblaciones afectadas y otras partes interesadas. La información debería tratar sobre qué opciones de gestión se han seleccionado y por qué, cómo funcionan, cómo se aplican y por quién, y cuál es el impacto económico y medioambiental.
- A medida que la situación cambia y se desarrolla, pueden surgir conflictos y desacuerdos entre las poblaciones afectadas. La razón para tales desacuerdos podría ser las diferencias en la distribución entre la comunidad de los costes y beneficios resultantes de la implementación de las opciones de gestión. Es esencial que se utilicen todas las oportunidades para el diálogo y el debate sobre las estrategias de gestión adecuadas, para adelantarse a estas situaciones tanto como sea posible.

El desarrollo de una estrategia de comunicación detallada no se discute más adelante en este Manual. Para más información, ver Nisbet et al., 2009.

4.9 Referencias

- Álvarez-Farizo B and Gil JM (2003). Valuing side effects associated with countermeasures for radioactive contamination. Deliverable 7 of the STRATEGY project. Gobierno de Aragón, Spain.
- Alvarez-Farizo, B., Gil, J.M. and Howard B.J. (2009). Impacts from restoration strategies: assessment through valuation workshops. *Ecological Economics* 68: 287-297
- Charnock T, Brown J, Jones AL, Oatway W and Morrey M (2003). *CONDO: Software for estimating the consequences of decontamination options. Report for CONDO version 2.1 (con la base de datos asociada versión 2.1)*. Chilton, NRPB-W43.
- Hedemann-Jensen P (2003). Radiation protection and decision-making on cleanup of contaminated urban environments. NKS Conference on Radioactive Contamination in Urban Areas, Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark, 7 – 9 May 2003.
- Howard BJ, Beresford NA, Nisbet AF, Cox G, Oughton DH, Hunt J, Alvarez B, Andersson KG, Liland A and Voigt G (2005). The STRATEGY project: decision tools to aid sustainable restoration and long-term management of contaminated agricultural ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 83, 275 – 295.
- Hunt J and Wynne B (2000). Social assumptions in remediation strategies. Deliverable 5 of the STRATEGY project. University of Lancaster, Lancaster.
- ICRP (1983). Radionuclide transformations, energy and intensity of emissions. ICRP Publication 38. *Ann ICRP*, 11-13.
- ICRP (2007). The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*, 37, (2-4), 1-332. ISBN 978-0-7020-3048-2.
- Nisbet AF, Mercer JA, Rantavaara A, Hanninen R, Vandecasteele C, Carlé B, Hardeman F, Ioannides KG, Papachristodoulou C, Tziaila C, Ollagnon H, Jullien T and Pupin V (2005). Achievements, difficulties and future challenges for the FARMING network. *Journal of Environmental Radioactivity*, 83, 263 – 274.
- Nisbet, A.F., Jones, A., Turcanu, C., Camps, J., Andersson, K.G., Hänninen, R., Rantavaara, A., Solatie, D., Kostianen, E., Jullien, T., Pupin, V., Ollagnon, H., Papachristodoulou, C., Ioannides, K., Oughton, D. (2009). Generic Handbook for Assisting in the Management of Contaminated Food Production Systems in Europe following a radiological emergency v2. EURANOS(CAT1)-TN(09)-01. Disponible en <http://www.euranos.fzk.de>.
- OECD – Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-operation and Development (2004). Stakeholder participation in radiological decision making: processes and implications. Case Studies for the third Villigen workshop, Villigen, Switzerland 21 – 23 October 2003. NEA No. 5410, OECD, (Paris).
- Oughton DH, Bay I, Forsberg E-M, Hunt J, Kaiser M and Littlewood D (2003). Social and ethical aspects of countermeasure evaluation and selection using an ethical matrix in participatory decision - making. Disponible en <http://www.strategy-ec.org.uk>.

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 5

| | | |
|----------|--|------------|
| 5 | PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO | 237 |
| | Tabla 5.1 Datos e información que podría ser útil recopilar con antelación a un incidente | 238 |
| | Tabla 5.2 Factores y acciones que puede ser necesario considerar al desarrollar las líneas generales de una estrategia de recuperación para áreas habitadas con antelación a un incidente | 241 |

5 PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO

Hay una gran diversidad de condiciones climáticas, tipos de áreas habitadas, culturas, infraestructuras y marcos regulatorios por toda Europa. La planificación de la recuperación por adelantado de un incidente requerirá que se lleve a cabo la personalización de este manual genérico a nivel nacional, regional o local. Un componente esencial del proceso de personalización es la participación de todas las partes interesadas para identificar con más eficacia e incluir las especificidades nacionales/regionales/locales. En el [Apéndice D](#) se dan recomendaciones prácticas para la participación de las partes interesadas en la gestión de áreas contaminadas.

El propósito de este capítulo es ayudar al proceso de planificación identificando los aspectos fundamentales que sería necesario abordar y la información necesaria para ayudar al desarrollo de las estrategias de recuperación. Aunque gran parte depende de la naturaleza de la emergencia o incidente (por ejemplo, su magnitud y la extensión de la contaminación radiactiva), la consideración de temas como los “requisitos de información” y el “esbozo de acuerdos” antes de que ocurra un incidente beneficiaría a la velocidad de la respuesta para la recuperación y puede que también asegure un resultado más exitoso. La [Tabla 5.1](#) recoge un desglose de temas que cubren los requisitos de datos e información que podría ser útil recopilar con antelación a un incidente. Es necesario considerar el desarrollo e intercambio de bases de datos localizadas sobre empresas, suministradores de materias primas, contratistas, instalaciones de eliminación de residuos y otra información. Aunque algunas de estas bases de datos puede que ya existan de alguna manera, es posible que su acceso no sea ampliamente conocido. Además, es importante que la información se mantenga actualizada y revisada. Sería necesario asignar la responsabilidad de estas tareas para cada base de datos. Debido a la variada naturaleza de la información presentada en la [Tabla 5.1](#), todavía no está claro cómo habría que reunirlos. Sería necesario asignar prioridades para asegurar el mejor uso posible de los recursos disponibles. Las organizaciones a nivel local necesitarían desarrollar su propia aproximación a la preparación para una emergencia radiológica, de acuerdo con sus responsabilidades e implicación. La [Tabla 5.2](#) recoge una lista de factores, que se añaden a los requisitos de información relacionados en la [Tabla 5.1](#) y que podría ser necesario considerar al desarrollar los acuerdos generales para una estrategia de recuperación con anterioridad a un incidente. La estrategia debería enfocarse a nivel local y como una actividad coordinada entre todas las agencias y partes interesadas relevantes. El diálogo entre las diferentes partes interesadas es importante con el fin de obtener una visión equilibrada sobre varios aspectos de temas a nivel nacional, regional o local. Posibilita un lenguaje común y una comprensión compartida de los desafíos a abordar. Se pueden utilizar varias aproximaciones para el desarrollo de Manuales regionales en conjunto con las partes interesadas, incluyendo talleres basados en escenarios planteados, sesiones de realimentación sobre las hojas de datos y el Manual y el establecimiento de subgrupos para una planificación más detallada sobre temas específicos (por ejemplo, gestión de residuos).

Tabla 5.1 Datos e información que podría ser útil recopilar con antelación a un incidente

| Tema | Categoría | Requisitos de datos e información |
|---|---|---|
| Población | Cuestiones generales | Distribución y tamaño. Grupos, por ejemplo, niños en edad escolar, grupos por religión, pacientes, presos, turistas. Movimientos, por ejemplo, viajeros, estudiantes, gente de vacaciones. El tiempo que la población pasa en el exterior, por ejemplo, granjeros frente a trabajadores de oficina. |
| | Traslado | Número de personas. Disponibilidad de y provisión de recursos para alojamiento/vivienda. Disponibilidad de transporte, propiedad de vehículos privados. Infraestructura de transporte, por ejemplo, carreteras, líneas de ferrocarril. |
| Tipo de edificios | | Sistemas constructivos. Configuración, por ejemplo, de varias plantas, aterrazados, adosados, aislados. Factores de ubicación Intercambio de aire / ventilación. |
| Tipos de subárea / uso del suelo | | Industrial. Recreativo. Edificios públicos. Residencial. Producción de alimentos. Instalaciones esenciales (fábricas, hospitales, etc.). Infraestructura (plantas de tratamiento de aguas, plantas de tratamiento de aguas residuales, carreteras, vías férreas, etc.). Emplazamientos señalados (áreas de protección especial, reservas naturales, áreas de excepcional belleza natural, humedales Ramsar). |
| Tasas de dosis ambientales (para ayudar a la monitorización y a la comunicación con el público) | | Determinar cuáles son las tasas de dosis gamma ambiental típicas en el área. |
| Opciones de gestión | Viabilidad técnica | ¿Será necesario el desarrollo de habilidades y métodos específicos? Identificación del entrenamiento necesario. |
| | Recursos disponibles para implementar la estrategia de recuperación | Disponibilidad local y regional del equipamiento y los materiales requeridos. Coste de los recursos: costes de mano de obra, coste de los materiales y el equipamiento. Necesidad de mantener algún equipamiento disponible para respuesta rápida, por ejemplo, coches de bomberos. ¿Son necesarios trabajadores cualificados para operar los equipos? ¿Cuántos trabajadores cualificados hay disponibles? ¿Trabajarían en áreas contaminadas? |
| | Personal para implementar las opciones de gestión | Lista de contratistas y organizaciones disponibles con los que se puede contactar para obtener asesoramiento sobre las técnicas, el equipamiento, la protección del personal, etc. |

PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO

Tabla 5.1 Datos e información que podría ser útil recopilar con antelación a un incidente

| Tema | Categoría | Requisitos de datos e información |
|---------------------|--|---|
| | Impacto de la geografía y el tiempo atmosférico sobre las opciones de gestión | Disponibilidad de información meteorológica, incluidas previsiones del tiempo. Utilización de sistemas de información geográfica para proporcionar información sobre los tipos de suelo, la topografía, etc. |
| | Impacto de las opciones de gestión sobre la economía y el medio ambiente | ¿Cuál es la escala probable del impacto económico debido a la implementación de las opciones de gestión? ¿Qué opciones pueden tener un impacto positivo? ¿Qué opciones pueden tener un impacto negativo? |
| | Aceptabilidad de la opción "evolución natural sin acciones (no hacer nada)" / vuelta a la "normalidad" | Aprovechar la experiencia de otras emergencias / desastres naturales para identificar qué factores favorecen la vuelta a la normalidad, incluida la experiencia en el uso de diferentes tipos de equipamiento. Observar si la descontaminación u otras opciones de gestión promueven u obstaculizan esta vuelta a la normalidad. |
| | Aceptabilidad de las opciones de gestión | Es probable que esto este influenciado por el tipo de emergencia/incidente radiológico, su tamaño, cómo se maneja la respuesta, la causa de la emergencia, etc. Se podrían buscar los puntos de vista del público y otras partes interesadas sobre la aceptabilidad de los tipos de opciones de gestión disponibles para reducir el número de estas a considerar en el caso de una emergencia radiológica. |
| Gestión de residuos | Residuos sólidos | Límites autorizados para incineradoras, vertederos convencionales, instalaciones de compostaje, etc. Número, tipo y capacidad de las instalaciones. Cantidades de basura doméstica producida semanalmente, incluidos los residuos de jardinería. Vías para segregar los residuos de jardinería contaminados de la basura doméstica. Prácticas habituales para la eliminación de residuos resultantes del tratamiento de la basura, por ejemplo, lodos de depuradora, ceniza de incineradora, material compostado. Opciones de eliminación para bienes comerciales contaminados que no se puedan vender (no necesariamente porque estén altamente contaminados). Emplazamiento para el almacenamiento de residuos e instalaciones de eliminación. Legislación sobre la construcción de instalaciones de residuos. |
| | Agua residual contaminada procedente de la escorrentía natural | Comprensión de los sistemas de drenaje y de plantas de aguas residuales en el área local. ¿Qué ocurre con el exceso de agua que no pasa por el tratamiento, por ejemplo, el caso del agua tras una tormenta de lluvia o inundaciones? ¿Qué nivel de intervención del personal se da durante el proceso de tratamiento de aguas residuales? |
| Legislación | Opciones | La legislación medioambiental puede impedir la implementación de algunas opciones de gestión en el área contaminada (por ejemplo, restricción aplicada a la eliminación de árboles). |

Tabla 5.1 Datos e información que podría ser útil recopilar con antelación a un incidente

| Tema | Categoría | Requisitos de datos e información |
|---------------|---|--|
| | Trabajadores y público | <p>Establecer límites de dosis para todos aquellos implicados en la recuperación.</p> <p>Establecer criterios para el transporte de residuos radiactivos.</p> |
| Entrenamiento | | <p>Considerar la posibilidad de desarrollar un programa de entrenamiento para los roles que sea necesario llevar a cabo, por ejemplo, responsables de la toma de decisiones, trabajadores de descontaminación y personal de protección civil.</p> <p>Provisión de información sobre los objetivos de la opción de gestión para asegurarse de que aquellos que llevan a cabo la implementación de la opción comprenden por qué se está realizando y cómo se puede lograr el objetivo.</p> <p>Folletos para proporcionar instrucciones sobre cómo implementar las opciones correcta y eficazmente para situaciones en las que no son posibles ejercicios de entrenamiento importantes.</p> |
| Contactos | | <p>Listas de contactos en organizaciones que desempeñan un papel en el caso de una emergencia radiológica.</p> <p>Listas de contactos con información local.</p> <p>Listas de bases de datos locales/regionales/estatales que proporcionan antecedentes útiles e información sobre cómo acceder a ellas.</p> |
| Comunicación | Miembros del público | <p>Acuerdos para las comunicaciones a través de la televisión y la radio locales/nacionales, páginas web. Planificación temporal.</p> <p>Plan para implicar a la población local en las decisiones que les afectarán.</p> <p>Derechos de compensación, incluidos los acuerdos internacionales sobre compensación por emergencias radiológicas.</p> <p>Información preparada con antelación que puede distribuirse entre los negocios afectados.</p> <p>Mantenimiento de recibos y registros.</p> <p>Información preparada con antelación para otros que puedan sufrir pérdidas económicas debido al incidente.</p> |
| | Provisión de información a los implementadores de las opciones de gestión | <p>Provisión de información sobre los objetivos de la opción de gestión para asegurarse de que aquellos que llevan a cabo la implementación de la opción comprenden por qué se está realizando y cómo se pueden lograr los objetivos.</p> <p>Folletos para proporcionar instrucciones sobre cómo implementar las opciones correcta y eficazmente.</p> |

PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO

Tabla 5.2 Factores y acciones que puede ser necesario considerar al desarrollar las líneas generales de una estrategia de recuperación para áreas habitadas con antelación a un incidente

| Tema | Factores y acciones a considerar |
|---------------------------------|--|
| Estrategia genérica | <p>Asegurarse de que se da prioridad a los requisitos de información (ver Tabla 5.1), se ponen en funcionamiento, se logran y se mantienen – es importante tener la confianza de que la información es completa, fiable y está actualizada.</p> <p>Establecer los mecanismos para el acceso a la información.</p> <p>Los procedimientos para caracterizar la situación a más largo plazo, posiblemente se iniciarán en la fase de respuesta a la emergencia. Por ello, los planes de respuesta para la recuperación deberían ser coherentes con sus equivalentes de respuesta frente a la emergencia, para asegurar un flujo continuo de información y respuesta.</p> <p>Estudiar cómo la estrategia de respuesta para la recuperación se enlazará con las opciones de gestión implementadas en la fase de emergencia.</p> <p>Estudiar la utilización de una aproximación por fases en la que algunas áreas contaminadas sean tratadas rápidamente, mientras que otras lo sean con posterioridad.</p> <p>Estudiar el papel que desempeñará la autoayuda.</p> <p>Considerar el impacto que las diferentes condiciones meteorológicas y la geografía del área tendrán sobre la estrategia y la elección de las opciones de gestión.</p> <p>Producir y mantener un registro de riesgo para las cosas que podrían ir mal en el desarrollo de la estrategia (por ejemplo, incumplimiento). Identificar las barreras y establecer cuáles serán las de mayor importancia.</p> |
| Criterios de recuperación | <p>Identificar los criterios adecuados a usar para determinar la necesidad y la escala de las opciones de gestión de recuperación y para medir su éxito.</p> |
| Papeles y responsabilidades | <p>Asegurarse de que se conocen bien los papeles y las responsabilidades de aquellas agencias que llevarían a cabo tareas en la fase de recuperación. Identificar las principales agencias y las responsabilidades legales.</p> <p>Establecer cómo cambian los papeles y responsabilidades a lo largo de la planificación temporal.</p> <p>Considerar para cada opción de gestión cómo se coordinarán los recursos disponibles y se trasladarán al área afectada, por ejemplo, el uso del ejército, protección civil. Esto debería realizarse a nivel nacional para asegurar la consistencia.</p> <p>Explorar el mejor papel para el gobierno y las agencias locales.</p> |
| Papel de las partes interesadas | <p>Identificar los grupos de partes interesadas que existan en el área, por ejemplo, juntas parroquiales, grupos comunitarios, foros existentes (hospitales, escuelas). Investigar si estos podrían/estarían preparados para proporcionar información sobre una estrategia de recuperación para el área.</p> <p>Considerar los procesos que podrían utilizarse para establecer paneles de partes interesadas hechos a la medida donde no existan grupos relevantes. Establecer los pasos para cada proceso considerado.</p> |
| Opciones de gestión | <p>Identificar las opciones de recuperación viables y aceptables para su uso a nivel local basándose en la información suministrada en los manuales con antelación. Intentar colaborar con las partes interesadas. Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • cualquier limitación sobre el uso de las opciones (obtenidas de la Tabla 6.1 y las hojas de datos de la Sección 3). • el impacto de las condiciones meteorológicas, es decir, cuándo no serán viables las opciones debido a la nieve, superficies heladas, tormentas eléctricas, etc. • ¿qué opciones serán aplicables al rango de escenarios de emergencia/incidente posibles? ¿cómo podrían ser implementadas? ¿cómo se gestionarán los residuos? <p>Aspectos para cada opción de gestión que requerirán consideración con antelación a una emergencia radiológica y aquellos que será de particular importancia tener en cuenta en el caso de una emergencia radiológica.</p> <p>Pruebas de las opciones de gestión, para obtener una mejor comprensión sobre su eficacia y su viabilidad.</p> |

Tabla 5.2 Factores y acciones que puede ser necesario considerar al desarrollar las líneas generales de una estrategia de recuperación para áreas habitadas con antelación a un incidente

| Tema | Factores y acciones a considerar |
|---------------------------------------|--|
| Protección de los trabajadores | Acuerdo entre los organismos reguladores, especialistas en protección radiológica y empleadores sobre qué opciones de gestión de recuperación es posible que requieran el uso de equipos de protección respiratoria y/o ropa de protección. Debería tenerse en cuenta la naturaleza y la extensión de la contaminación, el tiempo que ha pasado desde que comenzó la emergencia radiológica y si la gente todavía vive en el área. |
| Criterios para una estrategia exitosa | Identificar los criterios apropiados a utilizar para determinar la necesidad y la escala de las medidas de recuperación y para medir su éxito. |

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 6

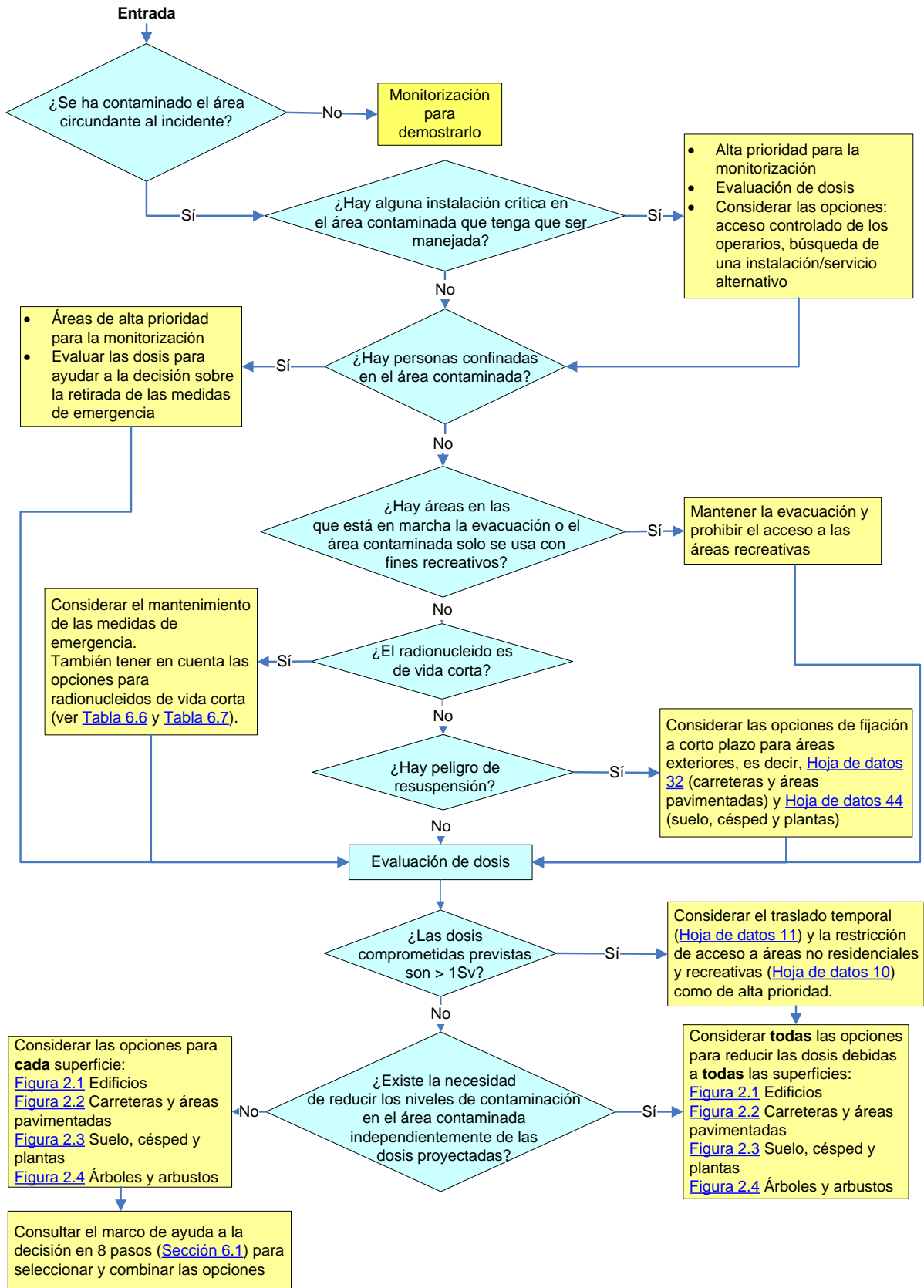
| | | |
|----------|--|------------|
| 6 | DISEÑANDO UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN | 244 |
| 6.1 | Pasos clave en la selección y combinación de opciones | 246 |
| 6.2 | Tablas de selección | 247 |
| 6.3 | Aplicabilidad de las opciones de gestión para situaciones que incluyen diferentes radionucleidos | 253 |
| 6.4 | Lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión | 260 |
| 6.5 | Eficacia de las opciones de gestión | 266 |
| 6.6 | Cantidades y tipos de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión | 280 |
| 6.7 | Comparación de las opciones de gestión restantes | 283 |
| 6.8 | Referencias | 284 |
| | Tabla 6.1 Pasos generales que intervienen en la selección y combinación de opciones | 247 |
| | Tabla 6.2 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios | 249 |
| | Tabla 6.3 Tabla de selección de opciones de gestión para carreteras y áreas pavimentadas | 250 |
| | Tabla 6.4 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas | 251 |
| | Tabla 6.5 Tabla de selección de opciones de gestión para árboles y arbustos | 252 |
| | Tabla 6.6 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 1) | 254 |
| | Tabla 6.7 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 2) | 257 |
| | Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión | 260 |
| | Tabla 6.9 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis cuando el acceso está restringido | 268 |
| | Tabla 6.10 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para edificios | 269 |
| | Tabla 6.11 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para carreteras y áreas pavimentadas | 273 |
| | Tabla 6.12 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para suelo, césped y plantas | 275 |
| | Tabla 6.13 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de las dosis para árboles y arbustos | 279 |
| | Tabla 6.14 Eficacia de las opciones de gestión para superficies especiales | 280 |
| | Tabla 6.15 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión | 281 |
| | Tabla 6.16 Criterios que se pueden utilizar para comparar las opciones de gestión posibles para un área habitada contaminada | 283 |
| | Figura 6.1 Árbol de decisión para la caracterización del accidente, los requisitos de monitorización y la evaluación de dosis | 245 |

6 DISEÑANDO UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN

Con el fin de desarrollar una estrategia de recuperación para un área habitada, los responsables de la toma de decisiones tendrán que desarrollar un marco para explorar las opciones. A lo largo de este proceso, necesitarán una cantidad importante de información que sirva de apoyo a las decisiones sobre las opciones de gestión oportunas y eficaces. El Manual es una recopilación de información para ayudar a los usuarios a identificar las cuestiones importantes y evaluar las opciones. El marco de decisión global ([Figura 6.1](#)) guía al usuario a través de los siguientes pasos: determinar la naturaleza del incidente y caracterizar la escala de la contaminación (ver también la [Sección 1.9](#)); estimar las dosis actuales y proyectadas a las personas en áreas habitadas contaminadas (ver también la [Sección 1.12](#) y el [Apéndice B](#)); y considerar las opciones de recuperación apropiadas (ver también la [Sección 2.1](#)). La escala de tiempo, el nivel de trastorno y las necesidades en cuanto a recursos asociados con una opción dada serán fuertemente dependientes del tamaño y la naturaleza del (de las) área(s) contaminada(s). Por eso, es importante reconocer que se debe mantener cierta flexibilidad en la elección de opciones, con el fin de adecuarlas a las circunstancias reales del accidente.

El Manual aporta información sobre 59 opciones ([Sección 3](#)) para ayudar a la gestión de edificios, carreteras y áreas pavimentadas, suelos, césped y plantas, y árboles y arbustos; solo se consideran en esta sección las opciones relevantes para la fase de recuperación. La selección de opciones individuales depende de un amplio rango de criterios (distribución temporal y espacial de la contaminación, eficacia, coste económico, impacto radiológico y medioambiental, eliminación de residuos, cuestiones legales y aspectos sociales y éticos por ejemplo), que son tratados en la [Sección 4](#). Para cada escenario accidental será aplicable solo un subconjunto de opciones. Sin embargo, como cada accidente será diferente en términos de su composición radiológica e impacto sobre las áreas habitadas, no es posible crear una estrategia general. Esta sección proporciona una serie de tablas para guiar a los responsables de la toma de decisiones hacia el subgrupo de opciones de gestión más adecuadas, mediante la eliminación de las que no son apropiadas. En la [Sección 7](#) se dan dos ejemplos prácticos sobre cómo elegir y combinar las opciones de gestión tras la contaminación de un área habitada con ^{37}Cs (ejemplo 1) y ^{239}Pu (ejemplo 2).

Figura 6.1 Árbol de decisión para la caracterización del accidente, los requisitos de monitorización y la evaluación de dosis



6.1 Pasos clave en la selección y combinación de opciones

Hay 8 pasos clave en la selección y combinación de opciones. Estos pasos se resumen en la [Tabla 6.1](#) y se describen con más detalle más adelante.

Paso 1: Identificar las superficies que es probable que hayan sido contaminadas (es decir, edificios, carreteras y áreas pavimentadas, suelos, césped y plantas, arbustos y árboles)

Paso 2: Consultar las tablas de selección para las superficies específicas ([Tabla 6.2](#) – [Tabla 6.5](#)). Estas tablas de selección proporcionan una lista de todas las opciones de gestión aplicables para la superficie seleccionada. Las tablas indican si las opciones de gestión son adecuadas para su implementación en la fase inicial o en las fases intermedia-de recuperación. También aportan una orientación sobre si es posible que las opciones de gestión sean viables, teniendo en cuenta las potenciales limitaciones técnicas, logísticas, económicas o sociales. Las limitaciones se recogen con más detalle para cada opción en una tabla de consulta posterior y en las hojas de datos individuales en la [Sección 3](#). La clasificación con códigos de colores utilizada en las tablas de selección pretende servir de guía y sin duda sería necesaria una adaptación a nivel local o regional por parte de las partes interesadas pertinentes.

Paso 3: Consultar la [Tabla 6.6](#) y la [Tabla 6.7](#), que muestran la aplicabilidad de las opciones de gestión para cada radionucleido a considerar. Este paso permite eliminar varias de las opciones recogidas en las tablas de selección ([Tabla 6.2](#) – [Tabla 6.5](#)) si no son adecuadas, basándose en el peligro radiológico y el periodo de semidesintegración del (de los) radionucleido(s).

Paso 4: Consultar la [Tabla 6.8](#), que muestra una lista de comprobación con las restricciones clave para cada opción de gestión. Estas restricciones harían la implementación de una opción muy difícil, si no imposible.

Paso 5: Consultar [Tabla 6.9](#) - [Tabla 6.14](#), en las que se muestra la eficacia de cada opción de gestión en la eliminación de contaminación de la superficie, o en el blindaje de las personas frente a la contaminación, o la reducción en las dosis por resuspensión. Esta información puede permitir la eliminación de algunas de las opciones menos eficaces, aunque las opciones de gestión a veces se eligen por razones distintas a la protección radiológica.

Paso 6: Consultar la [Tabla 6.15](#), que muestra qué opciones de gestión generan residuos, incluyendo el tipo y las cantidades de los mismos producidas. Esta información no eliminará opciones necesariamente, pero sirve para advertir a los responsables de la toma de decisiones de que la selección de una opción particular puede tener implicaciones para la eliminación de los residuos que requieran una evaluación adicional.

Paso 7: Consultar las hojas de datos individuales ([Sección 3](#)) para todas las opciones restantes en la tabla de selección y señalar las restricciones pertinentes. Es probable que, en base a un emplazamiento específico, algunas opciones más sean eliminadas del árbol de selección, como resultado de limitaciones adicionales.

Paso 8: Basándose en los pasos 1-7, seleccionar y combinar las opciones para la gestión de cada fase del accidente y el restablecimiento de la normalidad en el área.

Siguiendo los pasos 1-8, debería ser posible elaborar una estrategia, basada en una combinación de las opciones de gestión que podrían ser implementadas tras una liberación de radiactividad. Estos pasos deberían basarse en un enfoque participativo de todas las partes interesadas.

Tabla 6.1 Pasos generales que intervienen en la selección y combinación de opciones

| Paso | Acción |
|------|--|
| 1 | Identificar las superficies que es probable que sean/hayan sido contaminadas |
| 2 | Consultar las tablas de selección para las superficies específicas (Tabla 6.2-Tabla 6.5). Estas tablas de selección proporcionan una lista de todas las opciones de gestión aplicables para la superficie seleccionada |
| 3 | Consultar la Tabla 6.6 y la Tabla 6.7 , en las que se muestra la aplicabilidad de las opciones de gestión para cada radionucleido considerado |
| 4 | Consultar la Tabla 6.8 , que muestra una lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión |
| 5 | Consultar de la Tabla 6.9 a la Tabla 6.14 , en las que se muestra la eficacia de las opciones |
| 6 | Consultar la Tabla 6.15 , en la que se muestra el tipo y la cantidad de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión |
| 7 | Consultar las hojas de datos individuales (Sección 3) para todas las opciones restantes en la tabla de selección y señalar las restricciones pertinentes |
| 8 | Basándose en los resultados de los pasos 1-7, seleccionar y combinar las opciones que deberían considerarse como parte de la estrategia de recuperación |

6.2 Tablas de selección

Hay tablas disponibles para las siguientes superficies:

- edificios ([Tabla 6.2](#))
- carreteras y áreas pavimentadas ([Tabla 6.3](#))
- suelos, césped y plantas ([Tabla 6.4](#))
- árboles y arbustos ([Tabla 6.5](#))

Estas tablas de selección proporcionan:

- una lista de todas las opciones de gestión aplicables para la superficie seleccionada.
- orientación sobre si las opciones de gestión son adecuadas para la implementación en los primeros pocos días y semanas (clasificadas aquí como fase inicial) o meses y años (clasificados aquí como fase intermedia-de recuperación) después del incidente.
- orientación sobre si las opciones de gestión es posible que sean viables basándose en el conocimiento de las potenciales restricciones técnicas, logísticas, económicas o sociales. El código de colores distingue entre: opciones que normalmente estarían justificadas o recomendadas al tener pocas o ninguna restricción; opciones que también estarían recomendadas pero que requerirían un análisis adicional para superar las restricciones potenciales; opciones sobre las que se tendría que llevar a cabo un análisis completo y la consulta con las partes interesadas antes de la implementación debido a que presentan restricciones económicas o sociales importantes, y opciones que solo estarían justificadas en circunstancias específicas tras un completo análisis y consulta debido a restricciones técnicas o logísticas muy importantes. La clasificación utilizada en las tablas de selección pretende servir de guía y requiere una

MANUAL DE ÁREAS HABITADAS

adaptación a nivel local o regional por parte de las partes interesadas relevantes. Los números entre paréntesis en la [Tabla 6.2-Tabla 6.5](#) hacen referencia al número de la hoja de datos.

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 6.2 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|-------------------------------|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Superficies exteriores | | |
| Demolición de edificios (12) | | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | | |
| Lijado de paredes de madera (15) | | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | | |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | | |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | | |
| Sustitución de tejados (18) | | |
| Limpieza con chorro de arena (19) | | |
| Eliminación de nieve (50) | | |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | | |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | | |
| Superficies interiores y objetos | | |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | | |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | | |
| Eliminación de superficies (25) | | |
| Limpieza por aspiración (26) | | |
| Lavado (27) | | |
| Edificios públicos (por ejemplo, estaciones de ferrocarril) | | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | | |
| Objetos valiosos y artículos personales | | |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | | |
| Superficies especiales en edificios industriales | | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | | |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | | |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | | |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | | |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | | |
| Eliminación de filtros (58) | | |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | | |

Clave:

| | |
|--|---|
| | Recomendada con pocas restricciones. |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 6.3 Tabla de selección de opciones de gestión para carreteras y áreas pavimentadas

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|-------------------------------|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Opciones de eliminación y blindaje | | |
| Limpieza con chorro de agua (29) | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | | |
| Eliminación de nieve (50) | | |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – material bituminoso (permanente) (32) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – arena (temporal) (32) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – agua (temporal) (32) | | |
| Volteado de losas de pavimento (33) | | |
| Barrido con aspirador (34) | | |

Clave:

| | |
|--|---|
| | Recomendada con pocas restricciones. |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 6.4 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | | |
| Cobertura con suelo limpio (36) | | |
| Corte y eliminación de césped (38) | | |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | | |
| Eliminación de nieve (50) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | | |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | | |
| Retirada de césped (48) | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| Cavado manual (39) | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | | |
| Cavado triple (47) | | |
| Grandes espacios abiertos (por ejemplo, parques, campo abierto) | | |
| Arado profundo (37) | | |
| Arado (41) | | |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 6.5 Tabla de selección de opciones de gestión para árboles y arbustos

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Opciones de eliminación | | |
| Recogida de hojas (51) | | |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

6.3 Aplicabilidad de las opciones de gestión para situaciones que incluyen diferentes radionucleidos

La mayor parte de la información práctica que está disponible en las opciones de gestión está relacionada con los isótopos radiactivos del Cesio tras el accidente de Chernobyl en 1986 y con otros trabajos experimentales realizados para radionucleidos de posible importancia en accidentes en instalaciones nucleares, como, por ejemplo, el Estroncio y el Plutonio. Para muchos de los otros radionucleidos considerados en el Manual, hay pocos datos para indicar si una opción de gestión en particular es eficaz o no. Sin embargo, estos radionucleidos tienen ciertas características en términos de su periodo de semidesintegración, propiedades químicas y tipos de peligro que plantean, que permiten indicar si una opción debería ser considerada.

En la Tabla 6.6 y en la Tabla 6.7 se considera que una opción es aplicable si:

- hay evidencia directa de que sería eficaz para un radionucleido (aplicabilidad conocida)
- el mecanismo de acción es tal que sería altamente probable que fuera eficaz para un radionucleido (*aplicabilidad probable*)

La categoría de no aplicable se atribuye a una opción si:

- hay evidencia directa de que no sería eficaz para un radionucleido
- el comportamiento químico del radionucleido es tal que no sería esperable que la opción tuviera ningún efecto
- el peligro planteado por el radionucleido no sería reducido por la opción de gestión (por ejemplo, las opciones de fijación para los emisores gamma de alta energía)
- el periodo de semidesintegración física del radionucleido es suficientemente corto comparado con el tiempo que requiere la implementación de la opción como para excluir su utilización (por ejemplo, la demolición de edificios estaría injustificada para hacer frente a niveles altos de ^{131}I , que tiene un periodo de semidesintegración de 8.04 días).

Tabla 6.6 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 1)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | ⁶⁰ Co | ⁷⁵ Se | ⁸⁹ Sr | ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y | ⁹⁵ Zr | ⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc | ¹⁰³ Ru | ¹⁰⁶ Ru | ¹³² Te | ¹³¹ I | ¹³⁴ Cs |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 5.27 a | 119.8 d | 50.5 d | 29.12 a | 63.98 d | 66h/6.02 h | 39.28 d | 368.2 d | 78.2 h | 8.04 d | 2.06 a |
| Restricción de acceso | | | | | | | | | | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | ✓ | a | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | b | ✓ | ✓ | b | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | b |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Edificios | | | | | | | | | | | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Demolición de edificios (12) | ✓ | a | a | ✓ | a | a | a | a | a | a | a |
| Limpieza con chorro de agua (13) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lijado de paredes de madera (15) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Revestimiento polímero retirable (49) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Sustitución de tejados (18) | ✓ | a | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza con chorro de arena (19) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de superficies (25) | ✓ | ✓ | a, f | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | c | c | ✓ | ✓ | c | c | c | c | c | c | c |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | e | e | e | e | e | e | e | e | e | e | ✓ |
| Limpieza por aspiración (26) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lavado (27) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Tabla 6.6 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 1)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | ⁶⁰ Co | ⁷⁵ Se | ⁸⁹ Sr | ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y | ⁹⁵ Zr | ⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc | ¹⁰³ Ru | ¹⁰⁶ Ru | ¹³² Te | ¹³¹ I | ¹³⁴ Cs |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 5.27 a | 119.8 d | 50.5 d | 29.12 a | 63.98 d | 66h/6.02 h | 39.28 d | 368.2 d | 78.2 h | 8.04 d | 2.06 a |
| Carreteras y áreas pavimentadas | | | | | | | | | | | |
| Limpieza con chorro de agua (29) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Revestimiento polímero retirable (49) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | ✓ | a | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (32) | c | c | ✓ | ✓ | c | c | c | c | c | c | c |
| Volteado de losas de pavimento (33) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Barrido con aspirador (34) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Suelo, césped y plantas | | | | | | | | | | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | f | a | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Cobertura con suelo limpio (36) | f | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Arado profundo (37) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Corte y eliminación de césped (38) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cavado manual (39) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Arado (41) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | c | c | ✓ | ✓ | c | c | c | c | c | c | c |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Cavado triple (47) | ✓ | a | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Retirada de césped (48) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Árboles y arbustos | | | | | | | | | | | |
| Recogida de hojas (51) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |

Tabla 6.6 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 1)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| | ⁶⁰ Co | ⁷⁵ Se | ⁸⁹ Sr | ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y | ⁹⁵ Zr | ⁹⁹ Mo/ ^{99m} Tc | ¹⁰³ Ru | ¹⁰⁶ Ru | ¹³² Te | ¹³¹ I | ¹³⁴ Cs |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 5.27 a | 119.8 d | 50.5 d | 29.12 a | 63.98 d | 66h/6.02 h | 39.28 d | 368.2 d | 78.2 h | 8.04 d | 2.06 a |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | ✓ | ✓ | a | ✓ | a | a | a | ✓ | a | a | ✓ |
| Superficies especiales | | | | | | | | | | | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | ✓ | ✓ | f | f | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | a | ✓ |
| Eliminación de filtros (58) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ |

Clave:

Periodo de semidesintegración: h = horas, d = días, a = años

✓: Seleccionado como radionucleido de interés (es decir, aplicabilidad conocida o probable, ver [Sección 6.3](#))

a Periodo de semidesintegración del radionucleido comparativamente corto en relación con la escala temporal de la implementación de la opción de gestión

b Periodo de semidesintegración del radionucleido comparativamente largo en relación con la escala temporal en la que la opción puede permanecer en su sitio

c Esta opción de gestión reduce las dosis por inhalación debidas a material resuspendido por lo que esta no es una vía importante para este radionucleido (peligro beta/gamma)

d Esta opción de gestión reduce las dosis debidas a irradiación externa por lo que esta no es una vía importante para este radionucleido (peligro alfa)

e Esta opción de gestión es específica para el Cesio radiactivo

f Esta opción de gestión no tendrá un efecto apreciable en la eliminación de la contaminación o en la reducción de dosis para este radionucleido

Tabla 6.7 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 2)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | ¹³⁶ Cs | ¹³⁷ Cs | ¹⁴⁰ Ba | ¹⁴⁴ Ce | ¹⁶⁹ Yb | ¹⁹² Ir | ²²⁶ Ra | ²³⁵ U | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu | ²⁴¹ Am |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 13.1 d | 30 a | 12.7d | 284.3 d | 32 d | 74 d | 1.6 10 ³ a | 7.04 10 ⁸ a | 87.7 a | 2.4 10 ⁴ a | 432.2 a |
| Restricción de acceso | | | | | | | | | | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | a | ✓ | a | a | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | ✓ | b | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | b | b | b | b | b |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Edificios | | | | | | | | | | | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Demolición de edificios (12) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua (13) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Lijado de paredes de madera (15) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Revestimiento polímero retirable (49) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Sustitución de tejados (18) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de arena (19) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de superficies (25) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | c | c | c | c | c | c | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | ✓ | ✓ | e | e | e | e | e | e | e | e | e |
| Limpieza por aspiración (26) | | | | | | | | | | | |
| Lavado (27) | | | | | | | | | | | |

Tabla 6.7 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 2)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | ¹³⁶ Cs | ¹³⁷ Cs | ¹⁴⁰ Ba | ¹⁴⁴ Ce | ¹⁶⁹ Yb | ¹⁹² Ir | ²²⁶ Ra | ²³⁵ U | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu | ²⁴¹ Am |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 13.1 d | 30 a | 12.7d | 284.3 d | 32 d | 74 d | 1.6 10 ³ a | 7.04 10 ⁸ a | 87.7 a | 2.4 10 ⁴ a | 432.2 a |
| Carreteras y áreas pavimentadas | | | | | | | | | | | |
| Limpieza con chorro de agua (29) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Revestimiento polímero retirable (49) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (32) | c | c | c | c | c | c | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Volteado de losas de pavimento (33) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Barrido con aspirador (34) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Suelo, césped y plantas | | | | | | | | | | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | a, f | ✓ | a, f | ✓ | a | a | f | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cobertura con suelo limpio (36) | a, f | ✓ | a, f | ✓ | a | a | f | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Arado profundo (37) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Corte y eliminación de césped (38) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cavado manual (39) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Arado (41) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de nieve (50) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | c | c | c | c | c | c | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Cavado triple (47) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Retirada de césped (48) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Árboles y arbustos | | | | | | | | | | | |
| Recogida de hojas (51) | a | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Tabla 6.7 Aplicabilidad de las opciones de gestión para los radionucleidos (Parte 2)

| Opciones de gestión | Radionucleido | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| | ¹³⁶ Cs | ¹³⁷ Cs | ¹⁴⁰ Ba | ¹⁴⁴ Ce | ¹⁶⁹ Yb | ¹⁹² Ir | ²²⁶ Ra | ²³⁵ U | ²³⁸ Pu | ²³⁹ Pu | ²⁴¹ Am |
| Periodo de semidesintegración del radionucleido | 13.1 d | 30 a | 12.7d | 284.3 d | 32 d | 74 d | 1.6 10 ³ a | 7.04 10 ⁸ a | 87.7 a | 2.4 10 ⁴ a | 432.2 a |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | a | ✓ | a | ✓ | a | a | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Superficies especiales | | | | | | | | | | | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | d | d | d | d | d |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | d | d | d | d | d |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | d | d | d | d | d |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | d | d | d | d | d |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | a | ✓ | a | ✓ | a | ✓ | d | d | d | d | d |
| Eliminación de filtros (58) | ✓ | ✓ | a | ✓ | ✓ | ✓ | d | d | d | d | d |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | d | d | d | d | d |

Clave:

Periodo de semidesintegración: h = horas, d = días, a = años

✓: Seleccionado como radionucleido de interés (es decir, aplicabilidad conocida o probable, ver [Sección 6.3](#))

a Periodo de semidesintegración del radionucleido comparativamente corto en relación con la escala temporal de la implementación de la opción de gestión

b Periodo de semidesintegración del radionucleido comparativamente largo en relación con la escala temporal en la que la opción puede permanecer en su sitio

c Esta opción de gestión reduce las dosis por inhalación debidas a material resuspendido por lo que esta no es una vía importante para este radionucleido (peligro beta/gamma)

d Esta opción de gestión reduce las dosis debidas a irradiación externa por lo que esta no es una vía importante para este radionucleido (peligro alfa)

e Esta opción de gestión es específica para el Cesio radiactivo

f Esta opción de gestión no tendrá un efecto apreciable en la eliminación de la contaminación o en la reducción de dosis para este radionucleido

6.4 Lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión

Las opciones de gestión invariablemente tienen restricciones asociadas a su implementación. Una descripción detallada de estas restricciones se recoge en las hojas de datos para cada opción ([Sección 3](#)). Para ayudar a eliminar las opciones inadecuadas, se han resumido algunas de las restricciones clave para cada opción en la [Tabla 6.8](#). Estas tablas se pueden utilizar en conjunto con las hojas de datos o de antemano para reducir el subgrupo de opciones que requieren un análisis más en profundidad. Los números entre paréntesis en la [Tabla 6.8](#) hacen referencia al número de la hoja de datos.

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| Restricción de acceso | |
|--|---|
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | Disponibilidad de nuevos alojamientos Infraestructura para mantener a las poblaciones trasladadas |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Aplicación (es necesaria una prohibición total) |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | Disponibilidad de sistemas para monitorizar y controlar las dosis Solo se puede mantener por tiempo limitado |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | Alojamiento alternativo No aplicable para escalas temporales > 1 año Infraestructura para mantener a las poblaciones trasladadas |
| Edificios | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | Las superficies deben ser impermeables y resistir agua a alta presión Daños (inundaciones) Utilización en edificios catalogados e históricos |
| Demolición de edificios (12) | Edificios catalogados e históricos También es necesario implementar opciones sobre el terreno circundante para que sea eficaz Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| Limpieza con chorro de agua (13) | Tiempo extremadamente frío Daños (inundaciones) Es necesario implementarla rápidamente y antes de que llueva ^d Utilización sobre edificios históricos y catalogados |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | Fachadas y tejados deben ser resistentes al agua a alta presión Tiempo extremadamente frío Daños (inundaciones) Utilización sobre edificios históricos y catalogados |
| Lijado de paredes de madera (15) | Fachadas y tejados deben ser resistentes al agua a alta presión Utilización sobre edificios catalogados e históricos Daño a las superficies Tasa de trabajo muy lenta ^c |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|---|
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos y objetos valiosos |
| | Tipo de superficie/resistencia de la superficie frente a una limpieza intensiva |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Tiempo extremadamente frío, tiempo húmedo |
| | Utilización sobre pequeñas áreas solamente |
| | Materiales no ampliamente disponibles |
| | Utilización sobre edificios catalogados e históricos |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos y objetos valiosos |
| | Solo a pequeña escala |
| | Tiempo extremadamente frío |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | Utilización sobre edificios históricos y catalogados (daño potencial) |
| | Disponibilidad de equipamiento |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | Tiempo extremadamente frío |
| | La construcción del tejado debe resistir agua a alta presión |
| | Disponibilidad de equipamiento |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| | Utilización sobre edificios históricos y catalogados (daño potencial) |
| Sustitución de tejados (18) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos |
| | Grandes cantidades de residuos ^a |
| | Accesibilidad |
| | Materiales de construcción, por ejemplo, amianto |
| | Tasa de trabajo lenta ^c |
| Limpieza con chorro de arena (19) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos |
| | Tamaño de equipo grande ^b |
| | Daño a las superficies |
| | Las superficies deben ser resistentes al agua a alta presión |
| Eliminación de nieve (50) | Tiempo extremadamente frío |
| | Accesibilidad a los tejados |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | Solo a pequeña escala |
| | Daño potencial para las posesiones personales u objetos importantes |
| Eliminación de superficies (25) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos |
| | Solo a pequeña escala |
| | Tiempo extremadamente frío |
| | Puede ser necesaria la repetición para mantener la integridad de la cubierta |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos (daños) |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de las superficies |
| | Tiempo húmedo |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|---|
| | Tiempo extremadamente frío |
| | Las paredes deben ser impermeables |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | Tasa de trabajo muy lenta ^c Es necesaria la implementación rápida y antes de que llueva ^d |
| | Utilización sobre edificios catalogados e históricos (daños) |
| Limpieza por aspiración (26) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos y mobiliario/objetos valiosos (daños) |
| Lavado (27) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos y objetos valiosos (daños) |
| Carreteras y áreas pavimentadas | |
| | Tiempo extremadamente frío |
| Limpieza con chorro de agua (29) | Es necesaria una implementación rápida ^d Son necesarios drenajes |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | Tiempo extremadamente frío Son necesarios drenajes |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Utilización sobre áreas pequeñas solamente Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Materiales no ampliamente disponibles |
| Eliminación de nieve (50) | Implementación antes del primer deshielo Accesibilidad Frío extremo que da lugar a la compactación del hielo |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | Superficie irregular/peralte de la carretera Grandes cantidades de residuos ^a Necesaria fijación para contener el polvo Tamaño de equipo grande ^b |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (32) | La fijación con agua no es posible con tiempo frío Puede ser necesaria la repetición para mantener la integridad de la cobertura Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de las superficies La fijación con materiales bituminosos no es factible con tiempo muy frío |
| Volteado de losas de pavimento (33) | Utilización solamente sobre áreas pequeñas Necesaria fijación para contener el polvo Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| Barrido con aspirador (34) | Tiempo extremadamente frío Accesibilidad alrededor de los edificios Es necesaria una implementación rápida y antes de que llueva ^d |
| Suelo, césped y plantas | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|---|
| | Es probable que la aceptación para los jardines sea baja |
| | Utilización solamente sobre áreas pequeñas |
| | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Pendiente elevada |
| Cobertura con suelo limpio (36) | Utilización sobre emplazamientos históricos o áreas de conservación |
| | Son necesarias grandes cantidades de suelo |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Pérdida de plantas y arbustos |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Textura del suelo (no adecuada para suelos arenosos) |
| | Pérdida de fertilidad del suelo |
| | Implementar antes del arado normal |
| Arado profundo (37) | El arado posterior reduce su eficacia |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Solamente para grandes áreas |
| | Necesaria fijación para contener el polvo |
| | Necesaria una profundidad de suelo >0.5 m |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Lluvias fuertes tras el depósito |
| Corte y eliminación de césped (38) | Es necesaria una implementación rápida y antes de que llueva ^d |
| | Se necesitan EPP ya que no es posible contener el polvo |
| | Pendientes elevadas |
| | Se necesitan cortadoras de césped con cajas de recolección |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| Cavado manual (39) | El área no debe haber sido cultivada desde el depósito |
| | El área no debe volver a excavar |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Utilización en áreas pequeñas solamente |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | Es necesaria una implementación rápida y antes de que llueva ^d |
| | Depende de la época del año. Solamente si las plantas y arbustos están con hojas. |
| | Se necesitan EPP ya que no es posible contener el polvo |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|---|
| | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| Arado (41) | Necesaria fijación para contener el polvo |
| | Utilización en grandes áreas solamente |
| | Es necesaria una profundidad de suelo > 0.3 m |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | El arado posterior reduce la eficacia |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Utilización en áreas pequeñas solamente |
| | El área no debe volver a excavar |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | El área no debe haber sido cultivada desde el depósito |
| | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Textura del suelo (no adecuada para suelos arenosos) |
| | Implementación antes del arado normal |
| | Pérdida de plantas y arbustos |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | Es necesario personal cualificado |
| | Disponibilidad de equipamiento |
| | Utilización en grandes áreas solamente |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Es necesaria una profundidad de suelo > 0.5 m |
| | Obstáculos, por ejemplo, árboles |
| Eliminación de nieve (50) | Implementación antes del primer deshielo |
| | Pendiente |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | La resuspensión solo se suprime mientras la integridad de la cobertura permanezca intacta |
| | Contaminación química del suelo |
| | Implementación antes de que llueva |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Textura del suelo (no adecuada para suelos pedregosos) |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Grandes cantidades de residuos ^a |
| | Utilización en áreas pequeñas solamente |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|--|
| | Se necesitan equipos grandes si se resiembra o replanta el césped ^b |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Textura del suelo (no adecuada para suelos pedregosos) |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Necesaria fijación para contener el polvo |
| | Grandes cantidades de residuos ^a |
| | Se necesitan equipos grandes si se resiembra o replanta el césped ^b |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | El área no debe haber sido cultivada desde el depósito |
| | El área no debe volver a cavarse |
| Cavado triple (47) | Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos |
| | Utilización en áreas pequeñas solamente |
| | Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| | Disponibilidad de equipamiento |
| | Áreas rocosas/terreno irregular |
| Retirada de césped (48) | Grandes cantidades de residuos ^a |
| | Necesaria fijación para contener el polvo |
| | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| Árboles y arbustos | |
| | Pendientes extremas |
| Recogida de hojas (51) | Depende de la época del año. Debe llevarse a cabo poco después de la caída de la hoja |
| | Es probable que haya que repetirla en el caso de las coníferas |
| | Debe llevarse a cabo antes de la caída de la hoja |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | Tiempo extremadamente frío (helada o nieve) |
| | Se necesitan EPP ya que no es posible la protección frente al polvo |
| Superficies especiales | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| | Solo para áreas pequeñas |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | Incompatibilidad química entre el descontaminante y los productos químicos en la superficie metálica |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | Incompatibilidad química entre el descontaminante y los productos químicos en la superficie metálica |
| | Tasa de trabajo muy lenta ^c |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | Tasa de trabajo muy lenta ^c |

Tabla 6.8 Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| | |
|--|--|
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | Tasa de trabajo muy lenta ^c Solo a muy pequeña escala |
| Eliminación de filtros (58) | Es necesario personal cualificado Son necesarios EPP |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | No recomendable para hormigón o plástico Tasa de trabajo muy lenta ^c Solo para áreas pequeñas |

a Se definen grandes cantidades de residuos como > 30 kg m⁻² de residuos sólidos
 b Se define equipo grande como > de 5 personas necesarias para implementar la opción de gestión
 c Se define una tasa de trabajo muy lenta como < 10 m² por hora y equipo
 d Se define la necesidad de acometerse rápidamente como < 7 días tras el depósito

6.5 Eficacia de las opciones de gestión

El objetivo principal de las opciones de gestión en áreas habitadas es reducir las dosis debidas a la irradiación externa procedente de radionucleidos depositados y las debidas a la inhalación de material contaminado resuspendido.

Las opciones de gestión están dirigidas a blindar a las personas frente a la contaminación, fijar la contaminación de manera que no pueda ser resuspendida e inhalada, o eliminar la contaminación de manera que se reduzca la exposición, suponiendo que los residuos se eliminan de forma apropiada. La eficacia de las opciones de gestión, en términos de reducción de la contaminación a la que están expuestas las personas, se expresa de diferentes maneras según el propósito para el cual se implementan:

- La eficacia del blindaje se expresa como el porcentaje de reducción en la tasa de dosis externa debida a una superficie tras la implementación de la opción.
- La eficacia de la fijación se expresa como el porcentaje de reducción en la tasa de dosis por inhalación debida a una superficie tras la implementación de la opción.
- La eficacia de la eliminación se expresa como un Factor de Descontaminación (FD), que es la relación entre la cantidad de contaminación inicialmente presente en una superficie específica y la que queda tras la implementación de la opción.

El impacto total de la opción de gestión sobre las dosis recibidas por un individuo que viva en un área habitada depende de las contribuciones de la contaminación sobre cada superficie y el tiempo que las personas pasan cerca de estas superficies (ver [Sección 1.12](#)).

De la [Tabla 6.9](#) a la [Tabla 6.14](#) resumen la eficacia de cada opción de gestión considerada en el Manual, de acuerdo con su modo de acción. Las reducciones de dosis presentadas en las tablas son ilustrativas y solo deberían utilizarse para valorar el nivel de reducción que es posible lograr. Las reducciones de dosis conseguidas dependerán de la situación específica, los hábitos de la población y la eficacia de la opción de gestión. Las reducciones de dosis se dan tras el depósito inicial en condiciones secas y húmedas durante el primer año tras el depósito. En las hojas de datos se pueden encontrar más detalles. Las dosis consideradas son para un área habitada típica que comprenda variedad de tipos edificatorios y terrenos circundantes. En esta hipotética área habitada, están presentes todas las superficies y se han estimado las cantidades de dichas superficies. Las reducciones en la dosis externa dadas en las hojas de datos asumen que una persona pasa todo su tiempo en este entorno, y de este, el 90 % lo hace en el interior. Las reducciones en la dosis se estiman teniendo en cuenta la contribución de la dosis con el tiempo desde todas las superficies en el entorno y cualquier reducción en los niveles de contaminación sobre una superficie debida a la eliminación por limpieza o mezcla. El ^{137}Cs es muy ilustrativo como emisor beta/gamma de vida larga, para el cual las dosis externas gamma predominan y las dosis por resuspensión no son importantes. El ^{239}Pu es representativo de un emisor alfa de vida larga para el cual las dosis por resuspensión son predominantes y las dosis externas son insignificantes.

Tabla 6.9 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis cuando el acceso está restringido

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|----------------|---|--|--|--|
| | | | Superficie | Total | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Ver comentarios | Hasta el 100% de reducción en la dosis | No reduce los niveles de contaminación en el entorno. |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Hasta el 100% de reducción en la dosis (todas las vías) debida a áreas a las que se ha prohibido el acceso | No se ha estimado | Particularmente útil para radionucleidos de vida corta. La eficacia depende del cumplimiento por parte de los individuos. No reduce los niveles de contaminación en el entorno. |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Ver comentarios | No se ha estimado | Eficaz en el control de las dosis al personal esencial mientras se aseguren el cumplimiento por parte del público y los controles necesarios. Esta opción no reduce los niveles de contaminación en el entorno. Particularmente útil para radionucleidos de vida corta. |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Ver comentarios | Hasta el 100% de reducción en la dosis (todas las vías) mientras el individuo está lejos del área afectada | Particularmente útil para radionucleidos de vida corta. No reduce los niveles de contaminación en el entorno. |

Tabla 6.10 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para edificios

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|----------------|---|--|--|--|
| | | | Superficie | Total | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de hasta 10 si se implementa en pocas semanas después del depósito | Es probable que las reducciones en las dosis sean similares a las que se consiguen con el lavado de las superficies interiores (suponiendo una ocupación similar del interior) | FD citados para la limpieza con chorro de agua a alta presión y limpieza con chorro de arena de superficies de hormigón, piedra y ladrillo (suelos y paredes) y si no ha tenido lugar una limpieza previa. Para superficies lisas, como baldosas, linóleo y vidrio se podría esperar un FD mayor. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Demolición de edificios (12) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | Se elimina toda la contaminación si se retiran todos los escombros y no se esparce dicha contaminación durante la demolición | Ver comentarios | El 100% de reducción en las dosis debidas a los edificios después de la demolición puede permitir un reasentamiento en el área en el futuro. |
| Limpieza con chorro de agua (13) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | Se puede conseguir un FD de 1.3 si se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva significativamente | Reducción del 5-10% en la dosis externa por radiación gamma para depósito seco (<5% de reducción para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | Se pueden lograr FD de 1.5 – 5 si se implementa poco después del depósito | < 5% de reducción en las dosis externas y de resuspensión | Se puede lograr un FD mayor tras el depósito seco que tras el depósito húmedo. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Lijado de paredes de madera (15) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | Se pueden lograr FD de 1.5 – 2.5 si se implementa poco después del depósito | Se podrían esperar reducciones del 5% en la dosis externa gamma tras depósito seco (reducciones inapreciables tras depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de hasta 10 suponiendo que esta opción se implementa en pocas semanas después del depósito y no ha tenido lugar una limpieza previa | Es probable que las reducciones en las dosis sean similares a las que se consiguen con el lavado de las superficies interiores | Los FD más altos se pueden esperar de la limpieza de superficies lisas (es decir, madera, baldosas, linóleo, vidrio y paredes empapeladas y pintadas). Son probables FD menores para la limpieza de superficies rugosas (es decir, superficies de hormigón, piedra y ladrillo, y alfombras, tapicerías, ropa de cama y mobiliario) |

Tabla 6.10 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para edificios

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|-----------------------|-------------------------------|--|---|--|
| | | | Superficie | Total | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Eliminación, fijación | Externa gamma Externa beta | FD de hasta 5 si se implementa en unas pocas semanas. Mientras el revestimiento retirable está colocado, la actividad resuspendida en el aire se reducirá en casi el 100% | Reducción del 5 – 10% en la dosis externa gamma para depósito seco (<5% de reducción para depósito húmedo) | Es probable que esta opción sea más eficaz si se utiliza sobre superficies lisas. Es probable que una aplicación más tardía dé como resultado un FD menor, en particular en materiales de construcción porosos, como ladrillos y baldosas. |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | Si se lleva a cabo con cuidado, toda la contaminación sobre la superficie quedará virtualmente eliminada | Las reducciones en las dosis es probable que sean similares o ligeramente superiores a las que se consiguen con el lavado de las superficies interiores | El proceso de eliminación de objetos puede dar lugar a la dispersión de la contaminación sobre otras superficies a través del polvo, lo que puede reducir la eficacia global. |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | Eliminación | Externa gamma | FD de 2 – 7 | Se podrían esperar reducciones <5% en la dosis externa gamma para depósito seco (10 – 15% para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | Eliminación | Externa gamma | Se podrían lograr FD de 2 – 7 si se implementa poco después del depósito (FD de 2 – 4 después de 10 años) | Las reducciones en la dosis externa serán similares a las conseguidas con cepillado y lavado de tejados | Si una capa superficial de musgo/algas cubre el tejado en el momento del depósito, se podrá eliminar casi toda la contaminación . |
| Sustitución de tejados (18) | Eliminación | Externa gamma | Se elimina toda la contaminación del tejado | Se podrían esperar reducciones en la dosis externa gamma de hasta el 10% | Puede que sea necesario considerar si algo de contaminación ha penetrado en los materiales de construcción subyacentes. |
| Limpieza con chorro de arena (19) | Eliminación | Externa gamma | Se podrían lograr FD de 4 – 10 si se implementa poco después del depósito (decrecerá con el tiempo) | Se podrían esperar reducciones del 5 – 10% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducciones inapreciables para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 6.10 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para edificios

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|--|---|--|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Eliminación de nieve (50) | Eliminación | Externa gamma | FD de 10 – 30 si se implementa antes de que se derrita la nieve y mientras esta sea eliminada hasta una profundidad que incluya la contaminación | Se podrían esperar reducciones del 10 – 15 % en la dosis externa gamma basándose en la probable importancia de los tejados en la contribución a las dosis | La resuspensión procedente de una superficie cubierta de nieve será normalmente baja. |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | Blindaje, eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | 100 – 200 mm de hormigón o ladrillo y 10mm de plomo darán normalmente una reducción a la mitad de la tasa de dosis gamma. 1 – 5 mm de vidrio prevendrán las tasas de dosis externa beta | Muy dependiente de la situación y probablemente muy pequeña para la mayoría de los individuos | La eficacia depende de los radionucleidos presentes y del grosor del material de blindaje. Un emisor gamma necesitará un mayor grosor de material de blindaje que un emisor beta de baja energía. |
| Eliminación de superficies (25) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Si se lleva a cabo con cuidado, toda la contaminación sobre la superficie puede quedar virtualmente eliminada | Es probable que las reducciones en las dosis sean similares o ligeramente superiores a las que se consiguen con el lavado de las superficies interiores | El proceso de eliminación de papel, pintura o yeso puede dar lugar a la dispersión de contaminación sobre otras superficies a través del polvo, reduciendo la eficacia. |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | Fijación, blindaje (emisores beta de baja energía) | Resuspensión | Hasta el 100 % de reducción en la dosis de resuspensión procedente de la superficie mientras se mantenga la integridad de la cobertura | No se ha estimado | Esta opción puede ser eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa beta sobre la superficie (para emisiones beta de baja energía) mientras que la fijación permanezca intacta, pero no es eficaz para la reducción de tasas de dosis externa gamma. |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | Eliminación | Externa gamma debida al Cesio radiactivo | Se podrían lograr FD de 1.5 – 2 si se implementa poco después del depósito (se podría esperar un FD de 1.5 hasta unos pocos años) | Las reducciones en la dosis externa es improbable que sean mayores de unos pocos puntos porcentuales para depósito seco (inapreciables para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 6.10 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para edificios

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|----------------|---|--|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Limpieza por aspiración (26) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Se pueden lograr FD de 5 – 10 suponiendo que la opción se implementa en unas pocas semanas después del depósito y que no ha tenido lugar una limpieza previa | Se podrían esperar reducciones de <5% en la dosis externa gamma. Se podrían esperar reducciones del 35 – 40% en la dosis de resuspensión para depósito seco (<5% para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Lavado (27) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Se pueden lograr FD de 5 – 10 suponiendo que la opción se implementa en unas pocas semanas después del depósito y que no ha tenido lugar una limpieza previa | Se podrían esperar reducciones de <5% en la dosis externa gamma. Se podrían esperar reducciones del 35 – 40% en la dosis de resuspensión para depósito seco (<5% para depósito húmedo) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 6.11 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para carreteras y áreas pavimentadas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|---|-----------------------|---|---|---|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Limpieza con chorro de agua (29) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 2 – 4 si se implementa en una semana después del depósito y no ha llovido significativamente. | Reducción del 5 – 10% en la dosis externa gamma y de resuspensión para depósito húmedo (reducción <5% para depósito seco) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 3 – 7 si se implementa poco después del depósito | Reducción del 10 – 15% en la dosis externa gamma para depósito húmedo (reducción <5% para depósito seco) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Eliminación, fijación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de hasta 5 si se implementa en unas pocas semanas. Mientras el revestimiento retirable está colocado, la actividad resuspendida en el aire se reducirá en cerca del 100% | Reducción del 10 – 15% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducción <5% para depósito húmedo). Reducciones similares en la dosis de resuspensión | Es probable que esta opción sea más eficaz si se utiliza sobre superficies lisas. |
| Eliminación de nieve (50) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 10 – 30 si se implementa antes de que se derrita la nieve y mientras se elimine hasta una profundidad que incluya la contaminación | Hasta el 80% de reducción en la dosis externa gamma si todas las superficies exteriores (incluyendo las áreas de suelo y césped) se limpian de nieve | |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 5 – 10 | Reducción del 15 – 20% en la dosis externa gamma para depósito húmedo (<5% para depósito seco). Reducción del 5 – 10% en la dosis de resuspensión para depósito húmedo (reducción inapreciable para depósito seco) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 6.11 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para carreteras y áreas pavimentadas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|--|---|--|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (32) | Fijación, blindaje (emisores beta de baja energía) | Resuspensión Externa beta | Hasta un 100% de reducción en la dosis de resuspensión procedente de una superficie mientras se mantenga la integridad de la cobertura. Reducciones en las tasas de dosis externa beta sobre la superficie: 90% para la arena, 70% para los materiales bituminosos y 45% para el agua | No se ha estimado | Esta opción no es eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa gamma. La arena (2 mm) sería la más eficaz en la reducción de las tasas de dosis beta; los grosores típicos de los materiales bituminosos (1mm) y del agua (1 mm), proporcionarían menos protección. |
| Volteado de losas de pavimento (33) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirán en un 75 – 85% para radionucleidos emisores gamma de media a alta energía. Hasta el 100% de reducción para dosis externa beta y dosis de resuspensión procedente de la superficie | Es probable que sea menor que para la conseguida con la eliminación y sustitución de superficies | Esta opción será muy eficaz en la reducción de las tasas de dosis externa beta, las cuales serán despreciables después de la implementación. La reducción en la dosis externa gamma recibida por un individuo que viva en el área dependerán mucho de la cantidad de área exterior pavimentada que esté cubierta con losas. Es probable que solo se pueda utilizar en áreas pequeñas o lugares que sean especialmente sensibles, como por ejemplo, escuelas. |
| Barrido con aspirador (34) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 2 – 3 si se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva | Reducción del 5 – 10% en la dosis externa gamma y la dosis de resuspensión para depósito húmedo (<5% para depósito seco) | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 6.12 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para suelo, césped y plantas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|---|--------------------|---|---|--|--|
| | | | Superficie | Total | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | 100% para tasas de dosis externa beta sobre la superficie. Reducciones del 30 – 80% en la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie dependiendo del radionucleido. Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán en un 100% | Hasta el 40% de reducción en la dosis externa gamma si todas las áreas de suelo y césped se cubren con asfalto | Mientras el asfalto permanezca inalterado, la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirá en un factor que depende de la energía de los rayos gamma emitidos y de la profundidad de la capa de asfalto utilizada. Las reducciones en la dosis externa gamma recibida por un individuo que viva en el área dependerán mucho de la cantidad de área de suelo y césped que se cubra con asfalto. Es probable que solo sea utilizada para áreas pequeñas o lugares especialmente sensibles, como por ejemplo, escuelas. |
| Cobertura con suelo limpio (36) | Blindaje, fijación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Reducción del 100% en las tasas de dosis externa beta sobre la superficie. Reducciones del 30 – 80% en la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie dependiendo del radionucleido. Hasta el 100% de reducción en la dosis de resuspensión procedente de la superficie | Hasta el 40% de reducción en la dosis externa gamma si todas las áreas de suelo y césped se cubren con suelo limpio | Mientras la capa limpia permanezca inalterada, la tasa de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirá también en un factor que depende de la energía de los rayos gamma emitidos y de la profundidad de la capa de suelo limpio utilizada. Las reducciones en la dosis externa gamma recibida por un individuo que viva en el área dependerán mucho de la cantidad de área de suelo y césped que se cubra con suelo limpio. Es probable que solo sea utilizada para áreas pequeñas o lugares especialmente sensibles, como por ejemplo, escuelas. |
| Arado profundo (37) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirán en un 80 – 90% para emisores gamma de media a alta energía. Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán en un 90 – 95% | Reducción del 15 – 20% en la dosis externa gamma. Reducción <5% en la dosis de resuspensión para depósito seco (5 – 10% para depósito húmedo) | La reducción de la tasa de dosis beta es probable que sea significativamente mayor que los valores dados para las tasas de dosis gamma si la técnica se implementa de manera eficaz. Mediante el enterramiento eficaz de la mayoría de la contaminación, la actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá en un factor significativamente mayor que la reducción en la tasa de dosis externa gamma. |

Tabla 6.12 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para suelo, césped y plantas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|----------------|---|--|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Corte y eliminación de césped (38) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 2 – 10 si se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva de manera significativa | Reducción del 20 -25% en la dosis externa gamma para depósito seco (10 – 15% para depósito húmedo). Reducción del 5 – 10% en la dosis de resuspensión | La eficacia se reduce significativamente después de que llueva o si el césped ya se ha cortado después del depósito. |
| Cavado manual (39) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Es probable que las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie se reduzcan hasta en un 80% en el corto-medio plazo. Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán en un 90 – 95% | Reducción del 20 – 25% en la dosis externa gamma para depósito seco (25 – 30% para depósito húmedo). Reducción del 5- 10% en la dosis de resuspensión para depósito seco (10 – 15% para depósito húmedo). | La eficacia depende del éxito en la mezcla del suelo. Las reducciones en la tasa de dosis es probable que sean mayores que las que se consiguen mediante el cavado mecánico, ya que el rotocultor no entierra la contaminación bajo una capa de suelo limpio sino que la mezcla (diluye) homogéneamente en la profundidad tratada. |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 2 – 10 si se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva de manera significativa | Reducción del 10 – 15% en la dosis externa gamma. Reducción del 10 – 15% en la dosis de resuspensión para depósito húmedo (<5% para depósito seco) | La eficacia se reduce significativamente después de que haya llovido. Solo es eficaz antes de que el follaje muera en otoño/invierno. |
| Arado (41) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie ser reducirán en un 50 – 90% para emisores gamma de media a alta energía Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán en un 90 – 95% | Reducción del 10 – 15% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducción del 15 – 20% para depósito húmedo). Reducción <5% en la dosis de resuspensión para depósito seco (10 – 15% para depósito húmedo) | Las reducciones en la tasa de dosis externa gamma dependerán de los radionucleidos implicados, la profundidad del arado y el perfil de la contaminación en el suelo con la profundidad en el momento de la implementación. La reducción en la tasa de dosis beta es probable que sea significativamente mayor que los valores dados para las tasas de dosis gamma si la técnica se implementa de manera eficaz. |

Tabla 6.12 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para suelo, césped y plantas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|--|--|---|--|--|--|
| | | | Superficie | Total | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie es probable que se reduzcan en un 50 – 65% en el corto-medio plazo. Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán en un 90 – 95% | Reducción del 10-15% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducción del 15 – 20% para depósito húmedo). Reducción del 5 – 10% en la dosis de resuspensión para depósito seco (20 – 25% para depósito húmedo) | La eficacia depende del éxito en la mezcla del suelo. Las reducciones en la tasa de dosis es probable que sean menores que las que se consiguen con el cavado manual, ya que el rotocultor no entierra la contaminación bajo una capa de suelo limpio, sino que la mezcla (diluye) homogéneamente en la profundidad tratada. |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Es probable que las tasas de dosis externa gamma y beta sobre la superficie se reduzcan en un 80 – 90%. Hasta el 100% para dosis externa beta. Hasta el 100% de reducción en la dosis de resuspensión | Reducción del 15 – 20% en la dosis externa gamma. Reducción <5% en la dosis de resuspensión para depósito seco (5 – 19% para depósito húmedo) | Las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reducirán en un factor de 5 – 10 para emisores gamma de media a alta energía como el Cesio. Las reducciones en la tasa de dosis dependerán de los radionucleidos implicados, es decir, de sus energías gamma. La reducción también dependerá de la profundidad del arado y del perfil de la contaminación en el suelo con la profundidad en el momento de la implementación y del éxito de dicha implementación. |
| Eliminación de nieve (50) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 10 – 30 si se implementa antes de que se derrita la nieve y mientras se elimine hasta una profundidad que incluya la contaminación | Hasta el 80% de reducción en la dosis externa gamma si todas las superficies (incluyendo las áreas de suelo y césped) se limpian de nieve | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | Fijación, blindaje (emisores beta de baja energía) | Resuspensión Externa beta | Hasta el 100% de reducción en la dosis de resuspensión procedente de la superficie mientras se mantenga la integridad de la cobertura. Se podrían esperar pequeñas reducciones en las tasas de dosis externa beta sobre la superficie | No se ha estimado | La aplicación de agua ayudará a fijar la actividad a las partículas de suelo y puede lavar la contaminación por debajo de la superficie; ambos fenómenos reducirán la resuspensión a largo plazo. |

Tabla 6.12 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de dosis para suelo, césped y plantas

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|---|----------------|---|---|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Se pueden lograr FD de 10 – 30 si se implementa en unos pocos años después del depósito | Reducción del 35 – 40% en la dosis externa gamma para depósito seco (40 – 45% para depósito húmedo). Reducción del 5 – 10% en la dosis de resuspensión para depósito seco (15 – 20% para depósito húmedo) | Es necesario escoger una profundidad de eliminación que asegure la máxima retirada de contaminación con el fin de lograr la máxima eficacia. Si se utiliza una profundidad de eliminación estándar, la eficacia se reducirá con el tiempo ya que la contaminación migrará hacia profundidades de suelo mayores. |
| Cavado triple (47) | Blindaje | Externa gamma Externa beta Resuspensión | Es probable que las tasas de dosis externa gamma sobre la superficie se reduzcan hasta en un 90% y que las tasas de dosis beta se reduzcan en un 100% suponiendo que la capa de suelo superior queda enterrada. Las concentraciones resuspendidas en el aire sobre la superficie se reducirán a cero | Las reducciones en la dosis total es probable que sean un poco mayores que las conseguidas con el cavado manual | La eficacia depende del radionucleido, es decir, de la energía de los rayos gamma y de que la técnica se aplique correctamente de manera que la capa superior del suelo quede completamente enterrada. |
| Retirada de césped (48) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de 3 – 10 si se implementa en los primeros pocos años después del depósito | Reducción del 35 – 40% en la dosis externa gamma para depósito seco (40 – 45% para depósito húmedo). Reducción del 5 – 10% en la dosis de resuspensión para depósito seco (15 – 20% para depósito húmedo) | La eficacia se reduce después de los primeros años ya que la contaminación migra hacia niveles de suelo más profundos. |

Tabla 6.13 Eficacia de las opciones de gestión en la reducción de las dosis para árboles y arbustos

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia | | Comentarios |
|---|----------------|---|----------------|--|---|
| | | | Superficie | Total | |
| Recogida de hojas (51) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de hasta 50 | Ver comentarios | <p>La mayor parte de la contaminación de árboles y arbustos está asociada a las hojas. De esta manera, el factor de descontaminación (FD) es probable que sea similar al que se consigue con la eliminación de árboles si estos tienen hojas en el momento del depósito y estas se recogen. Esta opción será menos eficaz para coníferas, incluso si se repite la recogida varias veces.</p> <p>Se podría esperar que las reducciones en la dosis externa gamma fueran similares a las dadas para la eliminación de árboles si estos fueran predominantemente de hoja caduca.</p> |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | Eliminación | Externa gamma Externa beta Resuspensión | FD de hasta 50 | <p>Depósito seco: se podrían esperar reducciones de aproximadamente el 20% en la tasa de dosis externa gamma poco después de la eliminación de árboles/arbustos contaminados. Depósito húmedo: las reducciones en la tasa de dosis serán inapreciables</p> | <p>La reducción en la contaminación es proporcional a la fracción de árboles/arbustos eliminados. Si se tala un árbol completo y se recogen las hojas, se podría lograr un FD muy alto (de hasta 50).</p> |

Tabla 6.14 Eficacia de las opciones de gestión para superficies especiales

| Opción de gestión | Modo de acción | Principal vía de exposición | Eficacia Superficie |
|--|----------------|-------------------------------|--|
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | Eliminación | Todos los radionucleidos | FD de 4 - 30 |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 2 – 30 para técnicas suaves FD > 30 (hasta 100) para técnicas intensivas |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 10 - 100 |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 5-30 para limpieza con chorro de alta presión FD de 5-10 para barrido con aspirador |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de hasta 100 |
| Eliminación de filtros (58) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de hasta 100 |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | Eliminación | Externa gamma Externa beta | FD de 10-100 sobre superficies metálicas |

6.6 Cantidades y tipos de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión

Un criterio importante a considerar en la evaluación de la viabilidad de una opción de gestión es si genera residuos. Las opciones de blindaje tienen la ventaja de que normalmente no producen ningún residuo porque la contaminación se deja *in situ*. Las opciones de eliminación generarán material residual contaminado (líquido y/o sólido) que necesitará ser gestionado (por ejemplo, almacenamiento o eliminación). En la Tabla 6.15 se presenta información sobre las cantidades y tipos de residuos producidos para cada opción de gestión considerada en el Manual. Todos los valores tienen un fin meramente ilustrativo para permitir valorar el impacto de la implementación de las distintas opciones y comparar entre las que se pueden llevar a cabo. No se asume la recogida y separación de los residuos a menos que se indique lo contrario. Si los materiales residuales pueden ser segregados en residuos contaminados y exentos, las cantidades de los primeros serán mucho menores. Por ejemplo, el agua se puede recoger, filtrar y reutilizar.

Tabla 6.15 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión

| Opción de gestión | Residuos resultantes en kg m ⁻² a menos que se indique otra cosa | Material residual |
|--|---|-----------------------------------|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | Ninguno | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Ninguno | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | Ninguno | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | Ninguno | |
| Edificios | | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | Variables | Varios |
| Demolición de edificios (12) | 7 10 ¹ | Escombros |
| Limpieza con chorro de agua (13) | 1 10 ⁻¹ – 2 10 ⁻¹ | Polvo |
| | 5 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | 2 10 ⁻¹ – 4 10 ⁻¹ | Polvo |
| | 2 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Lijado de paredes de madera (15) | 1 10 ⁻¹ | Polvo |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | 1.3 | Agua, detergente, polvo y filtros |
| Revestimiento polímero retirable (49) | 1 | Material polimérico |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | 2 10 ¹ – 3 10 ¹ | Solados |
| | 5 10 ¹ | Accesorios |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | 2 10 ⁻¹ – 6 10 ⁻¹ | Polvo y musgo |
| | 1.5 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | 2 10 ¹ | Polvo y musgo |
| | 3 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Sustitución de tejados (18) | 2 10 ¹ – 5 10 ¹ | Material de techado |
| Limpieza con chorro de arena (19) | 3 | Polvo y arena |
| | 5 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Eliminación de nieve (50) | 5 10 ⁻¹ (eliminando 5 cm de profundidad) | Nieve |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | Pequeñas cantidades | Agua de la limpieza |
| Eliminación de superficies (25) | 4 10 ⁻¹ | Moqueta |
| | 1 10 ⁻¹ | Yeso |
| | 1 | Pintura, papel pintado |
| | 4 | Linóleo |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | 7 | Madera |
| | 4 10 ⁻¹ | Pintura |
| | 6 litros m ⁻² | Líquido |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | 6 litros m ⁻² | Líquido |
| Limpieza por aspiración (26) | 5 10 ⁻³ | Polvo y filtros |
| Lavado (27) | 1 10 ⁻³ – 2 10 ⁻³ | Polvo y agua |

Tabla 6.15 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión

| Opción de gestión | Residuos resultantes en kg m ⁻² a menos que se indique otra cosa | Material residual |
|--|--|----------------------------------|
| Carreteras y áreas pavimentadas | | |
| Limpieza con chorro de agua (29) | 1 10 ¹ – 2 10 ¹ | Polvo |
| | < 5 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (30) | 2 10 ¹ – 4 10 ¹ | Polvo |
| | 2 10 ¹ litros m ⁻² | Agua |
| Eliminación y sustitución de superficies (31) | 1.5 10 ¹ (por cm de profundidad eliminado) | Asfalto |
| | 3 10 ¹ (por cm de profundidad eliminado) | Losas de pavimento, hormigón |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (32) | 3 10 ¹ litros m ⁻² | Agua y polvo |
| | 1 – 2 | Arena y polvo |
| | Sin residuos | Material bituminoso (permanente) |
| Volteado de losas de pavimento (33) | Ninguno | |
| Barrido con aspirador (34) | 1 10 ¹ – 2 10 ¹ | Polvo y lodos |
| Suelo, césped y plantas | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | Ninguno | |
| Cobertura con suelo limpio (36) | Ninguno | |
| Arado profundo (37) | Ninguno | |
| Corte y eliminación de césped (38) | < 1 10 ⁻³ . La cantidad depende de la altura y la densidad del césped | Césped |
| Cavado manual (39) | Ninguno | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | 1 | Material polimérico |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | 2 (masa fresca) | Vegetación y material arbustivo |
| Arado (41) | Ninguno | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | Ninguno | |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | Ninguno | |
| Eliminación de nieve (50) | 5 10 ¹ (si se eliminan 5 cm de nieve) | Nieve |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | Ninguno | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | 6 10 ¹ – 7 10 ¹ (eliminados 5 cm de profundidad) | Suelo y césped |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | 6 10 ¹ – 7 10 ¹ (eliminados 5 cm de profundidad) | Suelo y césped |
| Cavado triple (47) | Ninguno | |
| Retirada de césped (48) | 2 10 ¹ – 3 10 ¹ (eliminados 2 – 2.5 cm de profundidad) | Suelo y césped |
| Árboles y arbustos | | |
| Recojida de hojas (51) | 5 10 ¹ | Hojas, agujas de pino y piñas |
| Poda/eliminación de árboles y arbustos (52) | 1 10 ¹ (tala de árbol) | Madera y vegetación |
| Superficies especiales | | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | 2 10 ¹ - 2 | Sólido |

Tabla 6.15 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión

| Opción de gestión | Residuos resultantes en kg m ⁻² a menos que se indique otra cosa | Material residual |
|--|---|--|
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | 5 – 3 10 ¹ litros m ⁻² | Líquido |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | 5 – 3 10 ¹ litros m ⁻² | Líquido |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | 5 10 ⁻² – 1 10 ⁻¹ | Residuo sólido (seco de los filtros, lodos húmedos de la limpieza a presión) |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | 5 – 1.5 10 ¹ litros m ⁻² | Líquido |
| Eliminación de filtros (58) | x | Filtros |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | 3 – 2.5 10 ¹ litros m ⁻² | Líquido |

6.7 Comparación de las opciones de gestión restantes

Una vez que se han eliminado opciones de las tablas de selección, si es apropiado, el siguiente paso es identificar todas las opciones restantes que podrían ser consideradas para el tipo de superficie afectada. Es necesario evaluar estas opciones en base al emplazamiento específico utilizando la información detallada aportada en las hojas de datos ([Sección 3](#)). Herramientas de software como ERMIN (Jones et al, 2009) pueden ayudar a evaluar algunas de las consecuencias de la implementación de las opciones de gestión. En términos, por ejemplo, de reducciones de dosis, recursos necesarios, costes y cantidades de residuos generados, pueden ayudar a identificar opciones que no merece la pena seguir.

Con el fin de ayudar en la selección de una estrategia, se podría diseñar una tabla para comparar las opciones de gestión restantes. La [Tabla 6.16](#) da un ejemplo de plantilla que podría utilizarse para este propósito.

Tabla 6.16 Criterios que se pueden utilizar para comparar las opciones de gestión posibles para un área habitada contaminada

| Criterios (se pueden adaptar según sea necesario) | Opción 1 | Opción 2 | Opción 3 |
|--|----------|----------|----------|
| Eficacia (cantidad aproximada de contaminación eliminada) | | | |
| Reducción aproximada de dosis a los grupos de población de interés | | | |
| Generación de residuos | | | |
| Recursos | | | |
| Costes | | | |
| Dosis a los trabajadores que implementen las opciones | | | |
| Otras ventajas | | | |
| Otras desventajas | | | |
| Escala temporal de la implementación | | | |
| Justificación de la elección de la opción | | | |
| Implicaciones legales | | | |

6.8 Referencias

Jones A, Charnock T, Singer L, Roed J, Andersson K, Thykier Nielsen S, Mikkelsen T, Astrup P, Kaiser J, Müller H, Pröhl G, Raskob W, Hoe S, Jacobsen LH, Schou-Jensen L, Gering F (2009). Description of the Modelling of Transfer and Dose Calculations within ERMIN. EURANOS(CAT2)-TN(05)-04

CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 7

| | | |
|----------|--|------------|
| 7 | EJEMPLOS PRÁCTICOS | 286 |
| 7.1 | Ejemplo 1 – Accidente grave en una central nuclear con liberación de ^{137}Cs | 286 |
| 7.1.1 | Marco de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación | 286 |
| 7.1.2 | Elección de las opciones de gestión | 290 |
| 7.2 | Ejemplo 2 – Incidente de pequeña escala con dispersión de ^{239}Pu | 302 |
| 7.2.1 | Marco de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación | 302 |
| 7.2.2 | Elección de las opciones de gestión | 304 |
| | Tabla 7.1 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para jardines urbanos contaminados con ^{137}Cs | 291 |
| | Tabla 7.2 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas | 293 |
| | Tabla 7.3 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas | 294 |
| | Tabla 7.4 Paso 3 – Aplicabilidad de las opciones de gestión restantes* para el ^{137}Cs | 295 |
| | Tabla 7.5 Paso 4 – Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar para las restantes opciones de gestión | 296 |
| | Tabla 7.6 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas | 298 |
| | Tabla 7.7 Eficacia de las opciones de gestión para el ^{137}Cs | 299 |
| | Tabla 7.8 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión* | 300 |
| | Tabla 7.9 Tabla de selección para las opciones de gestión restantes para jardines urbanos | 301 |
| | Tabla 7.10 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para superficies exteriores de edificios contaminadas con ^{239}Pu | 306 |
| | Tabla 7.11 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios | 308 |
| | Tabla 7.12 Tabla de selección de opciones de gestión para superficies exteriores de edificios | 309 |
| | Tabla 7.13 Paso 3 – Aplicabilidad de las opciones de gestión restantes* para el ^{239}Pu | 309 |
| | Tabla 7.14 Paso 4 - Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión | 310 |
| | Tabla 7.15 Paso 5 – Eficacia de las opciones de gestión para el ^{239}Pu | 311 |
| | Tabla 7.16 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión* | 312 |
| | Tabla 7.17 Tabla de selección para las opciones de gestión para superficies exteriores de edificios | 313 |
| | Figura 7.1 Niveles de contaminación de ^{137}Cs sobre los diferentes tipos de superficie en la ciudad para el escenario hipotético dado en el Ejemplo 1 | 290 |

7 EJEMPLOS PRÁCTICOS

Los siguientes ejemplos prácticos han sido desarrollados para ayudar a los usuarios a familiarizarse con el contenido del Manual y su estructura. También son útiles con fines de entrenamiento. Debería enfatizarse sin embargo que los escenarios utilizados son meramente ilustrativos y han sido incluidos solamente como ayuda para el entrenamiento en el uso del Manual. Estos ejemplos prácticos no deberían ser utilizados como soluciones propuestas a los escenarios de contaminación seleccionados.

Se han desarrollado dos escenarios:

1. un accidente grave en una central nuclear con liberación de ^{137}Cs ;
2. una emergencia radiológica de pequeña escala con dispersión de ^{239}Pu .

7.1 Ejemplo 1 – Accidente grave en una central nuclear con liberación de ^{137}Cs

Escenario

- Accidente importante en un reactor nuclear el 1 de junio en una planta de potencia cercana a una ciudad
- Liberación a la atmósfera de material radiactivo
- Lluve mientras se produce el paso de la pluma contaminada, lo que da lugar al depósito húmedo de contaminantes

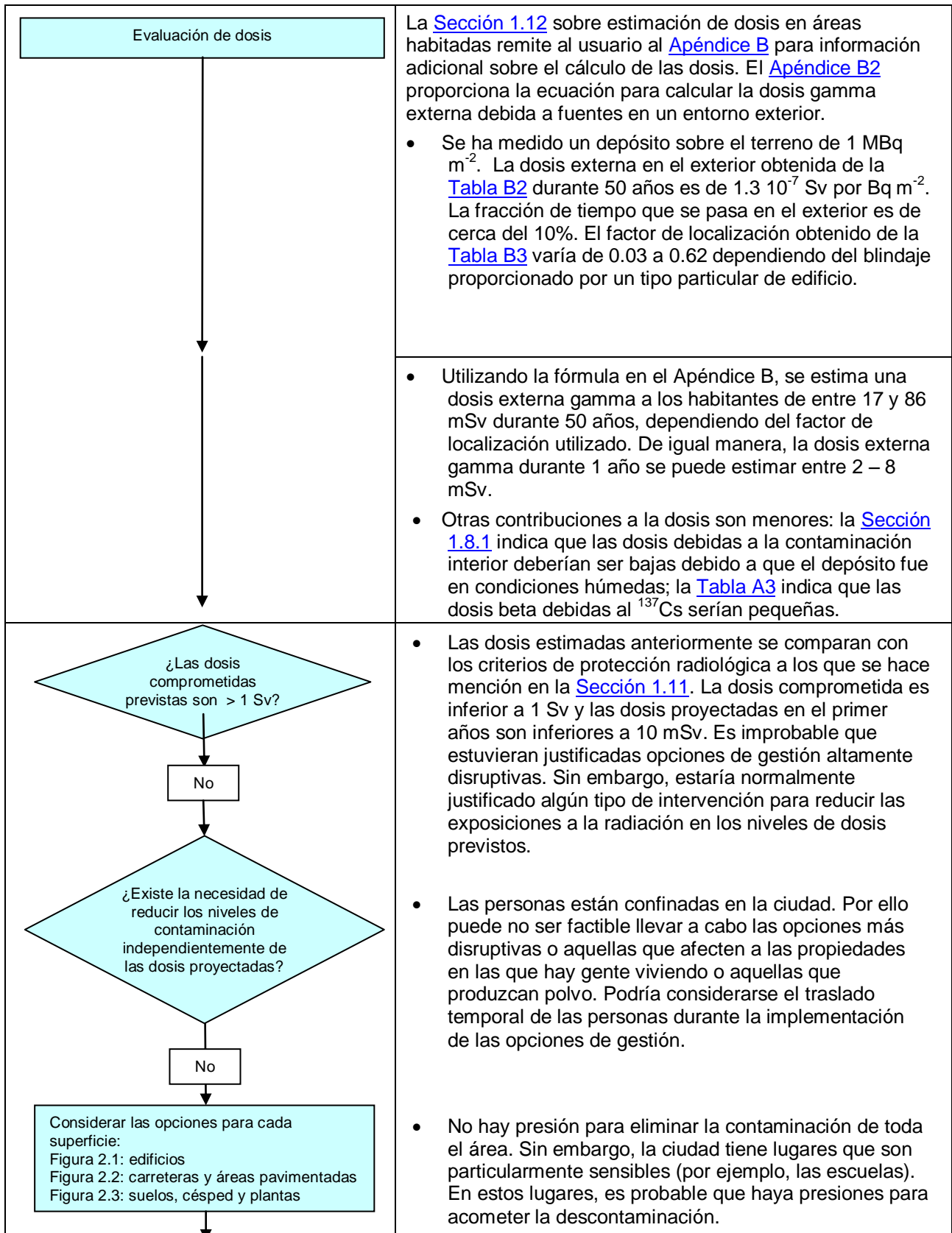
Situación actual

- La liberación ha finalizado
- La pluma radiactiva ha pasado
- Todavía no se han determinado los niveles de contaminación
- La población no ha sido evacuada de la ciudad y todavía está confinada

7.1.1 Marco de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación

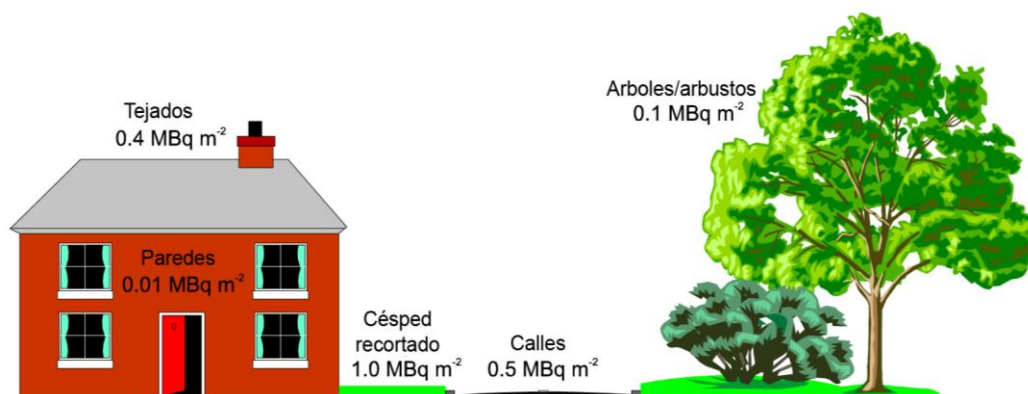
En primer lugar es necesario consultar el árbol de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación: caracterización del accidente, monitorización y dosis [Figura 6.1](#).

| | |
|---|--|
| <pre> graph TD Q1{¿Se ha contaminado el área circundante al incidente?} -- Sí --> R1[] </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • Identificar la naturaleza de la contaminación en el área habitada. Consultar la Sección 1.9 como guía. • Monitorización: se llevan al laboratorio muestras de césped y suelo. Los análisis muestran que la contaminación sobre la superficie está dominada por $1 \text{ MBq m}^{-2} \text{ }^{137}\text{Cs}$ (Figura 7.1). • Consultar la Sección 1.7 para averiguar qué peligro presenta el ^{137}Cs. La Tabla 1.1 muestra que el ^{137}Cs da lugar a un peligro gamma de vida larga. |
| <pre> graph TD Q2{¿Hay alguna instalación/servicio crítico en el área contaminada que tenga que ser manejado?} -- Sí --> Q3{¿Hay personas confinadas en el área contaminada?} Q3 -- Sí --> R2[] </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • Debido a que el área contaminada es una ciudad, existe una elevada probabilidad de que haya instalaciones y servicios críticos (por ejemplo, suministros de agua y eléctrico) que necesiten ser manejados, especialmente porque la población no ha sido evacuada. • La Figura 6.1 muestra que tanto las instalaciones críticas como las áreas de confinamiento de las personas son áreas de elevada prioridad para la monitorización. • La planificación por adelantado debería suponer la existencia de una lista disponible de las instalaciones críticas (ver Sección 5 para información sobre la planificación por adelantado). • Las personas están confinadas. |
| <pre> graph TD Q4{¿Está en marcha la evacuación o el área contaminada solo se usa con fines recreativos?} -- No --> Q5{¿El radionucleido es de vida corta?} Q5 -- No --> Q6{¿Hay peligro de resuspensión?} Q6 -- No --> R3[] </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • No se ha llevado a cabo la evacuación y no es un área recreativa. • El ^{137}Cs da lugar a una exposición externa gamma de vida larga. Es necesario seleccionar las opciones de gestión adecuadas para esta vía de exposición. • El material resuspendido puede ser inhalado. La Tabla A3 indica que el ^{137}Cs puede dar lugar a pequeñas dosis de resuspensión. Utilizando los factores de conversión de dosis de la Tabla B4, la dosis integrada debida a esta vía durante 10 años se puede estimar que es cerca de $8 \cdot 10^{-12} \text{ Sv por Bq m}^{-2}$. Con un nivel de contaminación de 1 MBq m^{-2}, se tiene un valor de 0.008 mSv, muy bajo en comparación con la dosis externa gamma. |



| | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;">↓</p> <p>Consultar el marco de ayuda a la decisión en 8 pasos para seleccionar y combinar las opciones</p> | <p>En este momento debería consultarse el marco de ayuda a la decisión en 8 pasos descrito en la Sección 6.1 y presentado más adelante en la Tabla 7.1. Seleccionar y combinar las opciones de gestión para cada superficie contaminada.</p> |
|---|--|

Figura 7.1 Niveles de contaminación de ^{137}Cs sobre los diferentes tipos de superficie en la ciudad para el escenario hipotético dado en el Ejemplo 1



7.1.2 Elección de las opciones de gestión

Para los propósitos de este ejemplo, solo se van a considerar en adelante las áreas de suelo y césped; se supone que estas están principalmente constituidas por pequeños jardines urbanos. La justificación para esta elección se da en el paso 1 de la [Tabla 7.1](#). En realidad, el proceso de toma de decisiones sería mucho más complicado. Sería necesario evaluar las opciones para todas las superficies existentes en el área habitada. Esta evaluación tendría en cuenta, por ejemplo, implicaciones en cuanto a recursos, cantidades de residuos, limitaciones sobre la implementación, eficacia, costes e impacto social.

El desarrollo de una estrategia de recuperación para jardines urbanos utiliza el marco para la toma de decisiones descrito en la [Sección 6](#). Antes de meterse con los pasos genéricos para la selección y combinación de las opciones, es importante que los usuarios comprendan que, al usar el Manual de Áreas Habitadas para desarrollar una estrategia de recuperación, deberían establecer un diálogo con las partes interesadas a nivel nacional y local; estar familiarizados con la estructura y el contenido del Manual; desarrollar el conocimiento de la información técnica que sustenta una estrategia de recuperación y la comprensión de los factores que influyen en la implementación de las opciones y la selección de una estrategia ([Sección 4](#)).

El desarrollo de una estrategia de recuperación para áreas ajardinadas urbanas utilizando el escenario accidental para el ^{137}Cs se describe en la [Tabla 7.1](#) más adelante, basándose en los ocho pasos genéricos descritos en la [Sección 6.1](#). Los números entre paréntesis en las [Tablas 7.2 – 7.9](#) hacen referencia al número de la hoja de datos.

Tabla 7.1 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para jardines urbanos contaminados con ¹³⁷Cs

| Paso | Acción |
|------|--|
| 1 | <p>Identificar las superficies que es probable que sean/hayan sido contaminadas</p> <p>Para determinar las prioridades, es importante tener en cuenta la importancia relativa de las distintas superficies en la contribución a las dosis recibidas. Para este escenario, los resultados anteriores del análisis de las muestras de césped/suelo revelaron que había 1 MBq m⁻² de ¹³⁷Cs sobre las superficies de césped. Utilizando la Tabla B5, es posible estimar los niveles de contaminación probables sobre otras superficies en el área, como se muestra en la Figura 7.1. Esta indica las superficies que es probable que hayan recibido la mayor parte de la contaminación. La Figura 1.4 también indica las superficies que es probable que contribuyan a las dosis gamma externas, teniendo en cuenta tanto la contaminación sobre las distintas superficies como el tiempo que es probable que las personas pasen cerca de/sobre estas superficies.</p> <p>Utilizando esta información, sería de esperar que las áreas de suelo/césped contaminadas, los tejados y las calles fueran los que generalmente contribuyeran más a las dosis. Este sería el caso en particular, ya que la contaminación se produjo mientras llovía. La contribución exacta de cada una de estas superficies depende de los tamaños y localizaciones de dichas superficies en relación con el lugar en el que las personas pasan el tiempo. Para evaluar esto, sería necesario un modelo detallado.</p> <p>En el escenario descrito en la Sección 7.1, los jardines urbanos son las superficies que han sido más afectadas. Son necesarias opciones de gestión para reducir las dosis debidas a estas superficies contaminadas.</p> |
| 2 | <p>Consultar las tablas de selección para superficies específicas (Tabla 6.2 – Tabla 6.5). Estas tablas de selección proporcionan una lista de todas las opciones de gestión aplicables para las superficies seleccionadas.</p> <p>La tabla de selección pertinente en este caso es la Tabla 6.4, que recoge todas las 19 opciones de gestión para suelos, césped y plantas. Para facilitar su consulta, aquí se reproduce en la Tabla 7.2. Se pueden eliminar varias opciones inmediatamente. La eliminación de nieve no sería necesaria para la época del año del accidente (junio). Además, para los niveles de dosis previstos (<10 mSv durante el primer año) no estaría justificado el traslado permanente. El traslado temporal podría considerarse para permitir llevar a cabo las opciones que más trastorno generan, pero, a la inversa, podría haber factores en competencia que hicieran preferible que la gente permaneciera en el área. Si las opciones de gestión van a ser llevadas a cabo mientras las personas están todavía en el lugar, es necesario considerar el impacto sobre ellas (ver Sección 2.4). La restricción del acceso al público y la del acceso del personal a áreas no residenciales no son apropiadas, ya que los jardines urbanos están en áreas residenciales.</p> <p>Las opciones siguientes no son pertinentes para los jardines urbanos, ya que solo se pueden implementar en grandes espacios abiertos debido a la escala del equipamiento utilizado: arado, arado profundo y arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing).</p> <p>Se ha elaborado una tabla de selección revisada (Tabla 7.3) que refleja solo las opciones que podrían ser adecuadas. Las 12 opciones incluyen 7 para blindaje y 5 para eliminación. Los pasos siguientes investigarán si se pueden eliminar más opciones.</p> |
| 3 | <p>Consultar la Tabla 6.6 que muestra la aplicabilidad de las opciones de gestión para cada radionucleido considerado</p> <p>Los datos relevantes para el ¹³⁷Cs se resumen en la Tabla 7.4. Estos datos se han utilizado para eliminar opciones de las tablas de selección que no son aplicables al ¹³⁷Cs. Solo una de las opciones recogidas en la Tabla 7.3 podría ser eliminada en base a que se dirige a radionucleidos que plantean un peligro de resuspensión (fijación). Los pasos siguientes intentarán eliminar opciones adicionales que no sean aplicables a este escenario.</p> |
| 4 | <p>Consultar la Tabla 6.7 que muestra una lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión</p> <p>Las restricciones clave para las 11 opciones de gestión restantes se resumen en la Tabla 7.5.</p> <p>Las siguientes opciones pueden ser eliminadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Retirada de césped: el equipamiento para el uso a pequeña escala en los jardines excluye esta opción de gestión. • Cobertura de superficies de césped y suelo con asfalto: es probable que la aceptación sea baja; se elimina, pues, esta opción. • Cobertura con suelo limpio: serían necesarias cantidades muy grandes de suelo (hasta 10 cm) para que esta opción fuera eficaz, eliminando por tanto esta opción. • Cavado triple: tasa de trabajo muy lenta, improbable que pueda llevarse a cabo para un gran número de jardines. <p>Se ha revisado la tabla de selección para jardines urbanos para mostrar las 7 opciones de gestión restantes</p> |

Tabla 7.1 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para jardines urbanos contaminados con ¹³⁷Cs

| Paso | Acción | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--------|-------------|-------------------|---|---------------|--|----------------------------------|--|---|---|---|---|
| | que todavía tienen que ser consideradas (Tabla 7.6). | | | | | | | | | | | | |
| 5 | <p>Consultar la Tabla 6.8 que muestra la eficacia de las opciones de gestión</p> <p>La información presentada en la Tabla 6.8 que es relevante para las 7 opciones de gestión restantes, se resume en la Tabla 7.7.</p> <p>Las siguientes opciones pueden ser eliminadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corte y eliminación de césped: no eficaz para la reducción de dosis tras depósito húmedo. • Eliminación de plantas y arbustos: reducción de dosis pequeña comparada con otras opciones de eliminación. | | | | | | | | | | | | |
| 6 | <p>Consultar la Tabla 6.9 que muestra las cantidades y tipos de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión</p> <p>La información sobre cuáles de las 5 opciones de gestión restantes generan residuos se resume en la Tabla 7.8. Solo dos opciones generan residuos. Estas incluyen la eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual y mecánica) las cuales producen 60-70 kg m² de residuos en forma de suelo y césped. La implementación de estas opciones requeriría una estrategia de gestión de residuos acordada y las cantidades de los mismos puede que sean prohibitivas si la opción se implementa a gran escala.</p> | | | | | | | | | | | | |
| 7 | <p>Consultar las hojas de datos individuales (Sección 3) para todas las opciones restantes en la tabla de selección y observar las restricciones pertinentes</p> <p>La tabla de selección final para las 5 opciones de gestión restantes se presenta en la Tabla 7.9.</p> <p>Es necesario un análisis detallado de todas las opciones restantes mediante el estudio cuidadoso de las hojas de datos pertinentes. Esto solo puede realizarse en base a un emplazamiento específico y en estrecha consulta con la población local afectada y otras partes interesadas para tener en cuenta las circunstancias locales.</p> | | | | | | | | | | | | |
| 8 | <p>Basándose en los pasos 1-7, seleccionar y combinar las opciones que deberían considerarse como parte de la estrategia de recuperación</p> <p>Se podrían considerar las siguientes opciones para reducir las dosis debidas a los jardines urbanos contaminados con ¹³⁷Cs.</p> <p>El cavado manual y el rotocultor (excavación mecánica) no generan residuos y causan menos trastornos que la eliminación de césped y de la capa superficial del suelo, las cuales podrían ser difíciles de justificar a gran escala para estos niveles de dosis. Sin embargo, la implementación de estas opciones de "eliminación" en áreas pequeñas "sensibles" dentro de la ciudad, como zonas de juego y terrenos alrededor de escuelas y guarderías puede que sea apropiada.</p> <p>Puede que no llevar a cabo la limpieza esté justificado, caso en el cual sería necesario que hubiera una buena comunicación con la comunidad local y una rigurosa estrategia de monitorización que proporcionen tranquilidad y demuestren que los riesgos son bajos.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opción</th> <th>Comentarios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Traslado temporal</td> <td>Considerarlo mientras se estén llevando a cabo otras opciones</td> </tr> <tr> <td>Cavado manual</td> <td> <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines.</p> <p>Más eficaz en la reducción de dosis que el rotocultor, pero más lento de implementar.</p> </td> </tr> <tr> <td>Rotocultor (excavación mecánica)</td> <td> <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines. Relativamente rápido de hacer y equipamiento disponible. No se generan residuos pero la mezcla de la contaminación en el suelo comprometería cualquier eliminación de suelo posterior. Puede que no sea aceptable para los propietarios que se deje la contaminación <i>in situ</i>.</p> </td> </tr> <tr> <td>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual)</td> <td> <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> </td> </tr> <tr> <td>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica)</td> <td> <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> </td> </tr> </tbody> </table> | Opción | Comentarios | Traslado temporal | Considerarlo mientras se estén llevando a cabo otras opciones | Cavado manual | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines.</p> <p>Más eficaz en la reducción de dosis que el rotocultor, pero más lento de implementar.</p> | Rotocultor (excavación mecánica) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines. Relativamente rápido de hacer y equipamiento disponible. No se generan residuos pero la mezcla de la contaminación en el suelo comprometería cualquier eliminación de suelo posterior. Puede que no sea aceptable para los propietarios que se deje la contaminación <i>in situ</i>.</p> | Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> | Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> |
| Opción | Comentarios | | | | | | | | | | | | |
| Traslado temporal | Considerarlo mientras se estén llevando a cabo otras opciones | | | | | | | | | | | | |
| Cavado manual | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines.</p> <p>Más eficaz en la reducción de dosis que el rotocultor, pero más lento de implementar.</p> | | | | | | | | | | | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. Será necesario replantar o resembrar los jardines. Relativamente rápido de hacer y equipamiento disponible. No se generan residuos pero la mezcla de la contaminación en el suelo comprometería cualquier eliminación de suelo posterior. Puede que no sea aceptable para los propietarios que se deje la contaminación <i>in situ</i>.</p> | | | | | | | | | | | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> | | | | | | | | | | | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (mecánica) | <p>Pérdida de equipamientos a corto-medio plazo. El suelo tendrá que ser reemplazado y los jardines replantados o resembrados.</p> <p>Grandes cantidades de residuos y se requiere una estrategia de gestión o ruta de eliminación para los residuos.</p> | | | | | | | | | | | | |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.2 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|-------------------------------|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | | |
| Cobertura con suelo limpio (36) | | |
| Corte y eliminación de césped (38) | | |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | | |
| Eliminación de nieve (50) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | | |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | | |
| Retirada de césped (48) | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| Cavado manual (39) | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | | |
| Cavado triple (47) | | |
| Grandes espacios abiertos (por ejemplo, parques, campo abierto) | | |
| Arado profundo (37) | | |
| Arado (41) | | |
| Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43) | | |

Clave:

| | |
|--|---|
| | Recomendada con pocas restricciones. |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

Notas:

* Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.3 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | | |
| Cobertura con suelo limpio (36) | | |
| Corte y eliminación de césped (38) | | |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | | |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | | |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | | |
| Retirada de césped (48) | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| Cavado manual (39) | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | | |
| Cavado triple (47) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |
| Notas: | | |
| * Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines | | |

Tabla 7.4 Paso 3 – Aplicabilidad de las opciones de gestión restantes* para el ¹³⁷Cs

| | |
|--|---|
| Restricción de acceso | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | ✓ |
| Suelo, césped y plantas | ✓ |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | ✓ |
| Cobertura con suelo limpio (36) | ✓ |
| Corte y eliminación de césped (38) | ✓ |
| Cavado manual (39) | ✓ |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | ✓ |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | ✓ |
| Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44) | a |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | ✓ |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | ✓ |
| Cavado triple (47) | ✓ |
| Retirada de césped (48) | ✓ |

Clave:

✓: Seleccionado como radionucleido de interés (es decir, aplicabilidad conocida o probable, ver [Sección 6.3](#))

a: Esta opción de gestión reduce las dosis de inhalación debidas a material resuspendido, que normalmente no sería una vía importante para este radionucleido

Notas:

*: Solo se muestran las opciones recogidas en la tabla de selección para suelo, césped y plantas

Tabla 7.5 Paso 4 – Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar para las restantes opciones de gestión

| Restricción de acceso | Restricciones clave |
|---|---|
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | <p>Alojamiento alternativo</p> <p>No aplicable para escalas temporales > 1 año</p> <p>Infraestructura para mantener a las poblaciones trasladadas</p> |
| Suelo, césped y plantas | |
| Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo</p> <p>Es probable que la aceptación para los jardines sea baja</p> <p>Utilización solamente sobre áreas pequeñas</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>Pendiente elevada</p> |
| Cobertura con suelo limpio (36) | <p>Utilización sobre emplazamientos históricos o áreas de conservación</p> <p>Son necesarias grandes cantidades de suelo</p> <p>Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo</p> <p>Pérdida de plantas y arbustos</p> |
| Corte y eliminación de césped (38) | <p>Es necesaria una implementación rápida y antes de que llueva</p> <p>Se necesitan EPP ya que no es posible contener el polvo</p> <p>Pendientes elevadas</p> <p>Se necesitan cortadoras de césped con cajas de recolección</p> |
| Cavado manual (39) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>El área no debe haber sido cultivada desde el depósito</p> <p>El área no debe volver a cavarse</p> <p>Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo</p> <p>Utilización en áreas pequeñas solamente</p> <p>Tasa de trabajo muy lenta</p> |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Es necesaria una implementación rápida y antes de que llueva</p> <p>Depende de la época del año. Solamente si las plantas y arbustos están con hojas</p> <p>Se necesitan EPP ya que no es posible contener el polvo</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Utilización en áreas pequeñas solamente</p> <p>El área no debe volver a excavar</p> <p>El área no debe haber sido cultivada desde el depósito</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo</p> |

Tabla 7.5 Paso 4 – Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar para las restantes opciones de gestión

| Restricción de acceso | Restricciones clave |
|--|---|
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Textura del suelo (no adecuada para suelos pedregosos)</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>Grandes cantidades de residuos</p> <p>Utilización en áreas pequeñas solamente</p> <p>Tasa de trabajo muy lenta</p> <p>Se necesitan equipos grandes si se resiembra o replanta el césped</p> |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>Textura del suelo (no adecuada para suelos pedregosos)</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>Necesaria fijación para contener el polvo</p> <p>Grandes cantidades de residuos</p> <p>Se necesitan equipos grandes si se resiembra o replanta el césped</p> |
| Cavado triple (47) | <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> <p>El área no debe haber sido cultivada desde el depósito</p> <p>El área no debe volver a cavarse</p> <p>Utilización en áreas de conservación/emplazamientos históricos</p> <p>Utilización en áreas pequeñas solamente</p> <p>Complica posteriores opciones que impliquen la eliminación de suelo</p> <p>Tasa de trabajo muy lenta</p> |
| Retirada de césped (48) | <p>Disponibilidad de equipamiento</p> <p>Áreas rocosas/terreno irregular</p> <p>Grandes cantidades de residuos</p> <p>Necesaria fijación para contener el polvo</p> <p>Tiempo extremadamente frío (helada o nieve)</p> |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.6 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) * | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| Corte y eliminación de césped (38) | | |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | | |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| Cavado manual (39) | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |
| Notas: | | |
| * Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines | | |

Tabla 7.7 Eficacia de las opciones de gestión para el ^{137}Cs

| Opción de gestión | Eficacia en la reducción de las dosis gamma externas | Comentarios |
|---|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | Hasta el 100% de reducción en la dosis (todas las vías) mientras el individuo está lejos del área afectada. | - |
| Suelo, césped y plantas | | |
| Corte y eliminación de césped (38) | Reducción del 20 -25% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducción despreciable para depósito húmedo). | La eficacia se reduce significativamente después de que llueva o si el césped ya se ha cortado después del depósito. |
| Eliminación de plantas y arbustos (40) | Reducción del 10 – 15% en la dosis externa gamma. | La eficacia se reduce significativamente después de que haya llovido. Solo es eficaz antes de que el follaje muera en otoño/invierno. |
| Cavado manual (39) | Reducción del 20 – 25 % en la dosis externa gamma para depósito seco (25 – 30 % para depósito húmedo). | La eficacia depende del éxito en la mezcla del suelo. Las reducciones en la tasa de dosis es probable que sean mayores que las que se consiguen mediante el cavado mecánico, ya que el rotocultor no entierra la contaminación bajo una capa de suelo limpio sino que la mezcla (diluye) homogéneamente en la profundidad tratada. |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | Reducción del 10-15% en la dosis externa gamma para depósito seco (reducción del 15 – 20% para depósito húmedo). | La eficacia depende del éxito en la mezcla del suelo. Las reducciones en la tasa de dosis es probable que sean menores que las que se consiguen con el cavado manual, ya que el rotocultor no entierra la contaminación bajo una capa de suelo limpio, sino que la mezcla (diluye) homogéneamente en la profundidad tratada. |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | Reducción del 35 – 40% en la dosis externa gamma para depósito seco (40 – 45% para depósito húmedo). | Es necesario escoger una profundidad de eliminación que asegure la máxima retirada de contaminación con el fin de lograr la máxima eficacia. Si se utiliza un profundidad de eliminación estándar, la eficacia se reducirá con el tiempo, ya que la contaminación migrará hacia profundidades de suelo mayores. |

Tabla 7.8 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión^{*}

| Opción de gestión | Residuos resultantes (kg m ⁻² a menos que se indique otra cosa) | Material residual |
|--|--|-------------------|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | Ninguno | |
| Suelo, césped y plantas | | |
| Cavado manual (39) | Ninguno | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | Ninguno | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | 60 – 70 (eliminados 5 cm de profundidad) | Suelo y césped |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | 60 – 70 (eliminados 5 cm de profundidad) | Suelo y césped |

Notas:

^{*} Todos los valores tienen fines ilustrativos para permitir identificar el impacto de la implementación de las distintas opciones y compararlas entre sí.

[#] No se tiene en cuenta la recogida y separación de los residuos, a menos que se especifique. Si los materiales residuales pueden segregarse en residuos contaminados y desclasificables, las cantidades de residuos contaminados serán mucho menores. Por ejemplo, el agua se puede recoger, filtrar y reutilizar.

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.9 Tabla de selección para las opciones de gestión restantes para jardines urbanos

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|-------------------------------|--|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Jardines urbanos | | |
| Cavado manual (39) | | |
| Rotocultor (excavación mecánica) (42) | | |
| Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45) | | |
| Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46) | | |

Clave:

| | |
|--|---|
| | Recomendada con pocas restricciones. |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

Notas:

* Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines

7.2 Ejemplo 2 – Incidente de pequeña escala con dispersión de ^{239}Pu

Escenario

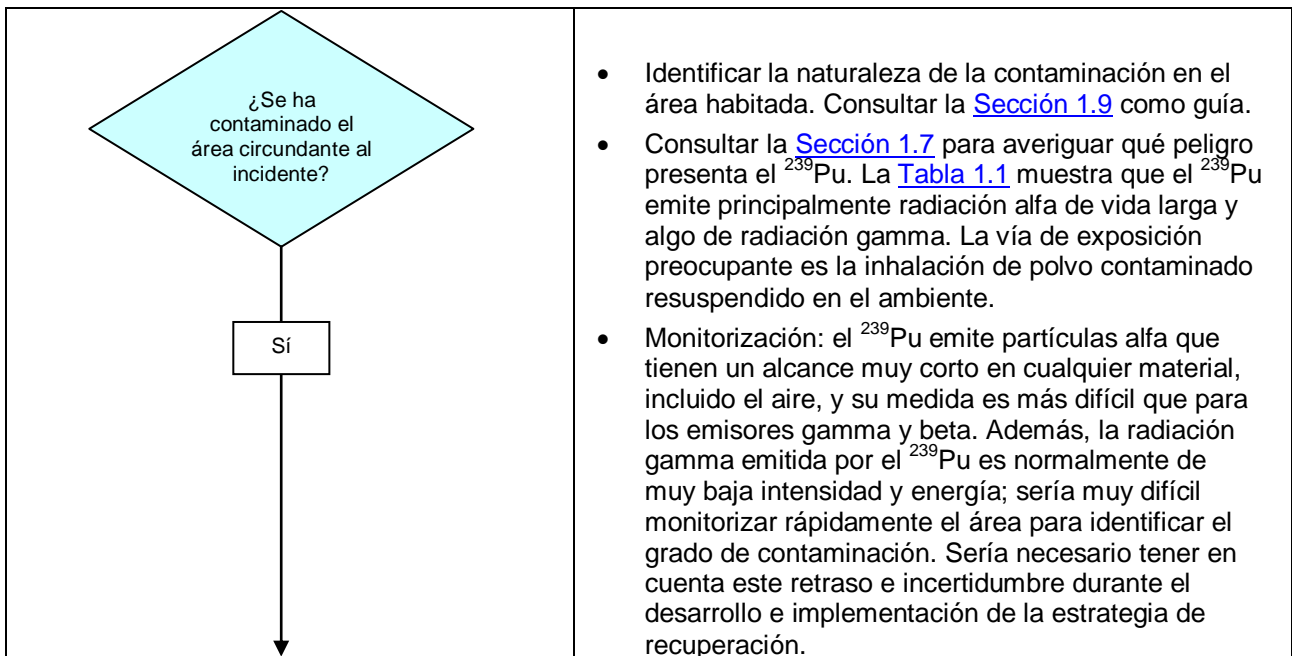
- Incidente de pequeña escala el 1 de septiembre
- Liberación de radiactividad dentro del distrito comercial de una ciudad (tiendas y oficinas)
- Llueve en el momento del depósito

Situación actual

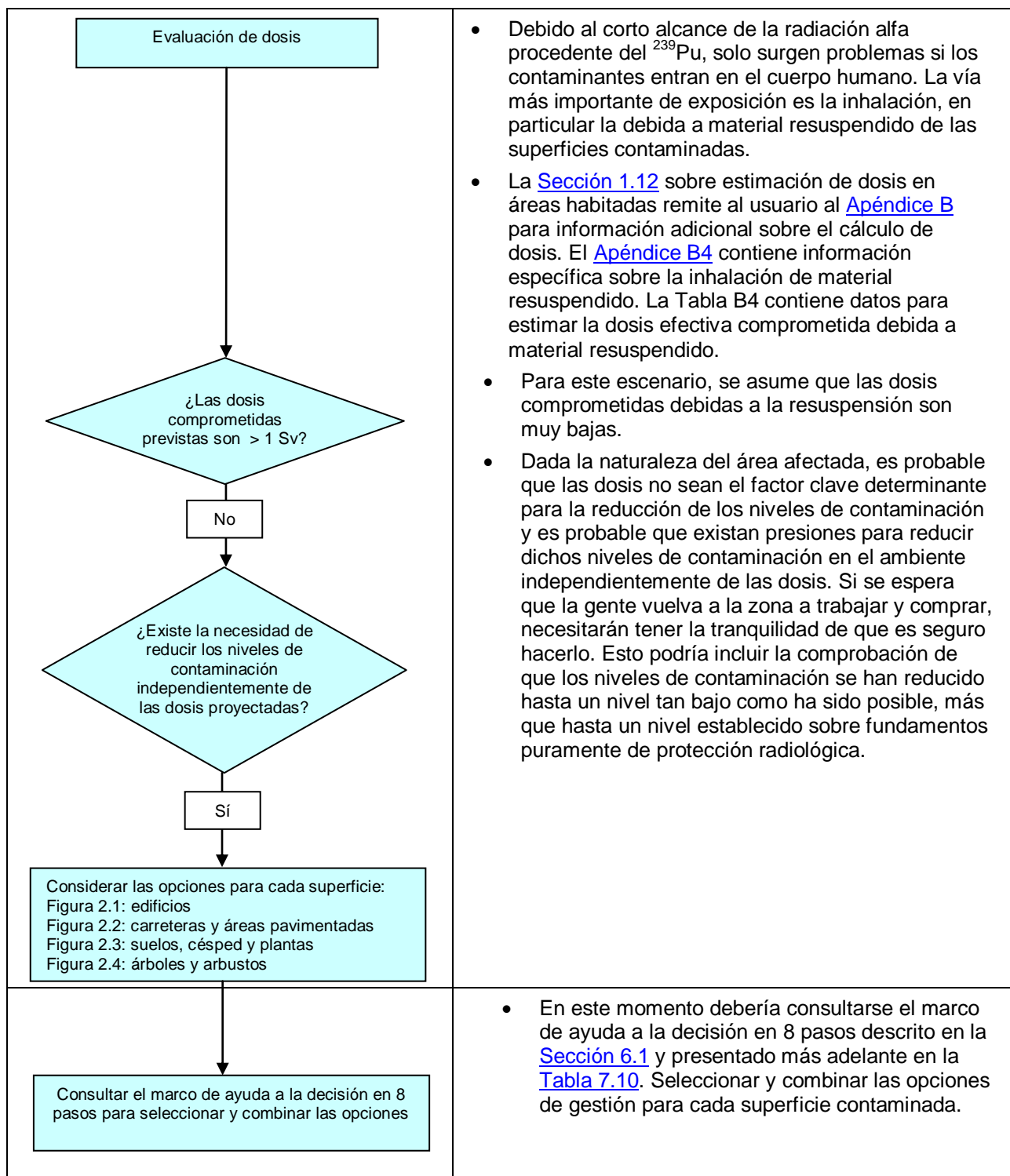
- La población ha sido evacuada a una distancia de 500 m en todas direcciones

7.2.1 Marco de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación

En primer lugar es necesario consultar el árbol de decisión para el desarrollo de una estrategia de recuperación: caracterización del accidente, monitorización y dosis. [Figura 6.1.](#)



| | |
|---|---|
| <pre> graph TD D1{¿Hay alguna instalación/servicio crítico en el área contaminada que tenga que ser manejado?} -- No --> D2{¿Hay personas confinadas en el área contaminada?} D2 -- No --> D3{¿Hay áreas en las que la evacuación está en marcha o el área contaminada solo se usa con fines recreativos?} </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • El área afectada es una pequeña sección de un distrito comercial con tiendas y oficinas. No hay instalaciones críticas. • No hay confinamiento establecido en el área; todo el mundo ha sido evacuado. Es por ello por lo que no debería suponer un problema el trastorno generado por la implementación de las opciones de gestión. Sin embargo, es probable que se den presiones para completar el trabajo rápidamente, con el fin de reanudar las actividades económicas tan pronto como sea posible. |
| <pre> graph TD D3{¿Hay áreas en las que la evacuación está en marcha o el área contaminada solo se usa con fines recreativos?} -- Sí --> D4{¿El radionucleido es de vida corta?} </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • Se debería mantener la evacuación hasta que la monitorización del área se haya establecido y se haya llevado a cabo una estimación de dosis a largo plazo. En este caso, debido a las largas escalas temporales para la monitorización del Plutonio, es posible la utilización de modelos para justificar la necesidad de mantener la evacuación. • Es necesario sopesar este enfoque con la presión de devolver a la gente al área tan pronto como sea posible. Debido a que no se trata de un área residencial, las desventajas de una evacuación prolongada es improbable que sean tan acusadas. |
| <pre> graph TD D4{¿El radionucleido es de vida corta?} -- No --> D5{¿Hay peligro de resuspensión?} D5 -- Sí --> Exit[] </pre> | <ul style="list-style-type: none"> • El ²³⁹Pu da lugar a un peligro de resuspensión de vida larga. Es necesario seleccionar las opciones de gestión apropiadas para este peligro. • La principal preocupación radiológica sería evitar la inhalación de material resuspendido. Las opciones de fijación deberían tenerse en cuenta a corto plazo. Se pueden aplicar materiales de fijación temporal de manera rápida y barata, y se pueden utilizar para prevenir una posterior dispersión de la contaminación por el entorno. También pueden ayudar a proteger a los trabajadores que lleven a cabo la monitorización del área. • En condiciones de tiempo húmedo, la utilización de materiales de fijación está limitada. Los materiales temporales, como el agua y la arena, son ineficaces, porque las condiciones meteorológicas húmedas suprimirán la resuspensión y eliminarán gran parte de la contaminación suelta sobre la superficie. Podría considerarse la utilización de aerosoles y pinturas bituminosas, una vez que se hayan secado las superficies. |



7.2.2 Elección de las opciones de gestión

Para los propósitos de este ejemplo, solo se van a considerar en adelante las superficies exteriores de los edificios. La justificación para esta elección se da en el paso 1 de la [Tabla 7.10](#). En realidad, el proceso de toma de decisiones sería mucho más complicado. Sería necesario evaluar las opciones para todas las superficies existentes en el área habitada. Esta evaluación tendría en cuenta, por ejemplo,

implicaciones en cuanto a recursos, cantidades de residuos, limitaciones sobre la implementación e impacto social.

El desarrollo de una estrategia de recuperación para edificios utiliza el marco para la toma de decisiones descrito en la [Sección 6](#). Antes de entrar en los pasos genéricos para la selección y combinación de las opciones, es importante que los usuarios comprendan que al usar el Manual de Áreas Habitadas para desarrollar una estrategia de recuperación, deberían establecer un diálogo con las partes interesadas a nivel nacional y local; estar familiarizados con la estructura y el contenido del Manual; desarrollar el conocimiento de la información técnica que sustenta una estrategia de recuperación y la comprensión de los factores que influyen en la implementación de las opciones y la selección de una estrategia ([Sección 4](#)).

Las opciones de fijación a corto plazo ya se han identificado como una posible estrategia para la prevención de la resuspensión de material radiactivo. En este escenario, existen presiones para eliminar el ^{239}Pu del entorno contaminado y, por ello, las opciones de fijación permanente pueden no ser aceptables para el público. A largo plazo, sería necesario considerar la selección de opciones de gestión que eliminen la contaminación de las superficies en este distrito comercial, así como de opciones de fijación. Será extremadamente importante hacer participar a todas las partes interesadas en las decisiones.

El desarrollo de una estrategia de recuperación para las superficies exteriores de los edificios utilizando el escenario accidental para el ^{239}Pu se describe en la [Tabla 7.10](#) más adelante, basándose en los ocho pasos genéricos descritos en la [Sección 6.1](#). Los números entre paréntesis en las [Tablas 7.11 – 7.17](#) hacen referencia al número de la hoja de datos.

Tabla 7.10 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para superficies exteriores de edificios contaminadas con ²³⁹Pu

| Paso | Acción |
|------|---|
| 1 | <p>Identificar una o más superficies que es probable que sean/hayan sido contaminadas</p> <p>Utilizando la Tabla B5, es posible estimar los niveles de contaminación probables sobre otras superficies existentes en el área. Esta indica las superficies que es probable que hayan recibido la mayor parte de la contaminación. Utilizando esta información, sería de esperar que las áreas de suelo/césped contaminadas, los tejados y las calles fueran los que contribuyeran en mayor medida a las dosis de resuspensión. La contribución exacta de cada una de estas superficies depende de los tamaños y localizaciones de dichas superficies en relación con el lugar en el que las personas pasan el tiempo. Para evaluar esto, sería necesario un modelo detallado.</p> <p>Para este escenario (descrito en la Sección 7.2), se han identificado como motivo de preocupación las superficies exteriores de los edificios, en particular los tejados. Puede ser necesaria la implementación de opciones de gestión para reducir las dosis de resuspensión debidas a estas superficies contaminadas; sin embargo, se ha estimado que las dosis debidas a esta vía de exposición son bajas. El escenario indica también que existen presiones para eliminar la contaminación de Plutonio del área, de manera que es probable que sea necesario tenerlo en cuenta en todas las superficies, en particular en aquellas consideradas como sensibles.</p> |
| 2 | <p>Consultar las tablas de selección para superficies específicas (Tabla 6.2 – Tabla 6.5). Estas tablas de selección proporcionan una lista de todas las opciones de gestión aplicables para las superficies seleccionadas.</p> <p>La tabla de selección pertinente en este caso es la Tabla 6.2, que recoge todas las opciones de gestión aplicables para edificios. Para facilitar su consulta, aquí se reproduce en la Tabla 7.11. Sin embargo, muchas de estas 30 opciones no son relevantes o para superficies exteriores o para la época del año (es decir, no hay nieve en septiembre). Además, puesto que es el distrito comercial el afectado, no hay edificios de madera en la zona, lo que hace innecesario el lijado de paredes de madera. Además, para los niveles de dosis previstos (<10 mSv durante el primer año) no estaría justificado el traslado permanente. Como no se trata de un área residencial, el acceso puede restringirse. Y puesto que no habrá miembros del público presentes, se podrían considerar opciones que generen más trastornos y produzcan polvo. Es importante que los trabajadores que implementen estas opciones estén adecuadamente protegidos (Sección 4.3) y que se apliquen las medidas necesarias para prevenir la posterior dispersión de contaminación por el entorno. Mientras el área permanezca vacía, será necesario mantener la seguridad. Los locales vacíos pueden convertirse en objetivo de saqueadores y ladrones.</p> <p>Se ha elaborado una tabla de selección revisada (Tabla 7.12) que refleja solo las opciones que podrían ser apropiadas para superficies exteriores de edificios. Las opciones de blindaje se han eliminado, debido a la presión por parte del público y los políticos para eliminar la contaminación del área para este escenario. Las 9 opciones restantes incluyen 1 para acceso restringido y 8 para eliminación. Los pasos siguientes investigarán si se pueden eliminar más opciones.</p> |
| 3 | <p>Consultar la Tabla 6.6, que muestra la aplicabilidad de las opciones de gestión para el ²³⁹Pu</p> <p>Los datos relevantes para el ²³⁹Pu se resumen en la Tabla 7.13. Estos datos se han utilizado para eliminar opciones de las tablas de selección que no son aplicables al ²³⁹Pu. Solo una de las opciones recogidas en la Tabla 7.9 podría ser eliminada teniendo en cuenta que se dirige al Cesio radiactivo (tratamiento de paredes con nitrato de amonio).</p> |
| 4 | <p>Consultar la Tabla 6.7, que muestra una lista de comprobación de las restricciones clave para cada opción de gestión</p> <p>Las restricciones clave para las 8 opciones de gestión restantes se resumen en la Tabla 7.14. La disponibilidad de equipos para la limpieza con chorro de arena, limpieza y cepillado de tejados puede que sea limitada, a pesar de lo cual se han mantenido estas opciones.</p> |
| 5 | <p>Consultar la Tabla 6.8, que muestra la eficacia de las opciones de gestión</p> <p>La información presentada en la Tabla 6.8, que es relevante para las opciones de gestión restantes, se resume en la Tabla 7.15.</p> <p>La lluvia en el momento del incidente supone que cualquier contaminación podría estar más fuertemente fijada a superficies particulares que si se hubiera producido en condiciones secas. Por eso, solo son aplicables opciones que eliminen contaminación muy fijada. A diferencia de la limpieza con chorro de agua a alta presión, la limpieza con chorro de agua normal es probable que no sea eficaz para eliminar la contaminación. Es por ello por lo que se ha eliminado esta opción de gestión.</p> |
| 6 | <p>Consultar la Tabla 6.9, que muestra las cantidades y tipos de residuos producidos por la implementación de las opciones de gestión</p> <p>La información sobre cuáles de las 7 opciones de gestión restantes generan residuos se resume en la Tabla 7.16. Todas las opciones, excepto la restricción del acceso al público, producen residuos. Dos opciones producen grandes volúmenes de residuos: la sustitución de tejados (20-50 kg m⁻²) y la limpieza con chorro de arena (50</p> |

Tabla 7.10 Pasos que intervienen en la selección y combinación de opciones para superficies exteriores de edificios contaminadas con ^{239}Pu

| Paso | Acción | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|-------------|----------------------------------|--|--|--|----------------------------------|---|-------------------------------|--|---|--|------------------------|--|---|--|
| | litros m^{-2}). La implementación de estas opciones requeriría una estrategia de gestión de residuos acordada. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | <p>Consultar las hojas de datos individuales (Sección 3) para todas las opciones restantes en la tabla de selección y observar las restricciones pertinentes</p> <p>La tabla de selección final para las 7 opciones de gestión restantes se presenta en la Tabla 7.17.</p> <p>Es necesario un análisis detallado de todas las opciones restantes mediante el estudio cuidadoso de las hojas de datos pertinentes. Esto solo puede realizarse en base a un emplazamiento específico y en estrecha consulta con la población local afectada y otras partes interesadas para tener en cuenta las circunstancias locales.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | <p>Basándose en los pasos 1-7, seleccionar y combinar las opciones que deberían considerarse como parte de la estrategia de recuperación</p> <p>Se podrían considerar las siguientes opciones para reducir las dosis debidas a las superficies exteriores de los edificios contaminadas con ^{239}Pu. Sin embargo, excepto la restricción del acceso al público, todas son opciones que no estarían recomendadas solamente para reducir las dosis debidas a resuspensión, en particular porque las superficies de los edificios no contribuyen a las dosis por resuspensión totales recibidas (ver Tabla 7.15). Si se seleccionan, estas opciones se llevarían a cabo por motivos distintos a los de protección radiológica (es decir, percepción pública, presión política). Las opciones para superficies especiales podrían tenerse en cuenta, pero algunas de ellas requieren de equipamiento especializado y productos químicos que puede que no estén disponibles.</p> <p>Puede que no llevar a cabo la limpieza esté justificado, caso en el que sería necesario que hubiera una buena comunicación con la comunidad local y una rigurosa estrategia de monitorización que proporcionen tranquilidad y demuestren que los riesgos son bajos.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Opción</th> <th>Comentarios</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Restricción de acceso al público</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Limpieza con chorro de agua a alta presión</td> <td>Esta opción requiere equipamiento especializado. Puede dar lugar a un aumento del peligro de resuspensión.</td> </tr> <tr> <td>Revestimiento polímero retirable</td> <td>Esta opción solo es adecuada para áreas pequeñas, porque es difícil eliminar el revestimiento intacto si se aplica a grandes superficies. Funciona bien cuando se aplica sobre superficies lisas como las que se podrían encontrar en los edificios de un distrito comercial.</td> </tr> <tr> <td>Cepillado y lavado de tejados</td> <td>Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. También conlleva un aumento del peligro de resuspensión.</td> </tr> <tr> <td>Limpieza de tejados con agua caliente a presión</td> <td>Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. Se producen grandes volúmenes de residuos líquidos.</td> </tr> <tr> <td>Sustitución de tejados</td> <td>Es una opción que genera muchos trastornos, lo que solo estaría justificado si los niveles de contaminación y las consiguientes dosis a las personas que trabajasen en el área fueran >10 mSv durante el primer año. Se producen grandes volúmenes de residuos sólidos.</td> </tr> <tr> <td>Limpieza de paredes con chorro de arena</td> <td>Es una opción que genera muchos trastornos y que requiere equipamiento especializado. Podría tener también un impacto estético negativo en los edificios. También dará lugar a un aumento del peligro de resuspensión durante su implementación.</td> </tr> </tbody> </table> | Opción | Comentarios | Restricción de acceso al público | | Limpieza con chorro de agua a alta presión | Esta opción requiere equipamiento especializado. Puede dar lugar a un aumento del peligro de resuspensión. | Revestimiento polímero retirable | Esta opción solo es adecuada para áreas pequeñas, porque es difícil eliminar el revestimiento intacto si se aplica a grandes superficies. Funciona bien cuando se aplica sobre superficies lisas como las que se podrían encontrar en los edificios de un distrito comercial. | Cepillado y lavado de tejados | Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. También conlleva un aumento del peligro de resuspensión. | Limpieza de tejados con agua caliente a presión | Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. Se producen grandes volúmenes de residuos líquidos. | Sustitución de tejados | Es una opción que genera muchos trastornos, lo que solo estaría justificado si los niveles de contaminación y las consiguientes dosis a las personas que trabajasen en el área fueran >10 mSv durante el primer año. Se producen grandes volúmenes de residuos sólidos. | Limpieza de paredes con chorro de arena | Es una opción que genera muchos trastornos y que requiere equipamiento especializado. Podría tener también un impacto estético negativo en los edificios. También dará lugar a un aumento del peligro de resuspensión durante su implementación. |
| Opción | Comentarios | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Restricción de acceso al público | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión | Esta opción requiere equipamiento especializado. Puede dar lugar a un aumento del peligro de resuspensión. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Revestimiento polímero retirable | Esta opción solo es adecuada para áreas pequeñas, porque es difícil eliminar el revestimiento intacto si se aplica a grandes superficies. Funciona bien cuando se aplica sobre superficies lisas como las que se podrían encontrar en los edificios de un distrito comercial. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cepillado y lavado de tejados | Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. También conlleva un aumento del peligro de resuspensión. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión | Esta opción requiere equipamiento especializado que puede que no esté disponible. Se producen grandes volúmenes de residuos líquidos. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sustitución de tejados | Es una opción que genera muchos trastornos, lo que solo estaría justificado si los niveles de contaminación y las consiguientes dosis a las personas que trabajasen en el área fueran >10 mSv durante el primer año. Se producen grandes volúmenes de residuos sólidos. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Limpieza de paredes con chorro de arena | Es una opción que genera muchos trastornos y que requiere equipamiento especializado. Podría tener también un impacto estético negativo en los edificios. También dará lugar a un aumento del peligro de resuspensión durante su implementación. | | | | | | | | | | | | | | | | |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.11 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| Traslado permanente de áreas residenciales (8) | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10) | | |
| Traslado temporal de áreas residenciales (11) | | |
| Superficies exteriores | | |
| Demolición de edificios (12) | | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | | |
| Lijado de paredes de madera (15) | | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | | |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | | |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | | |
| Sustitución de tejados (18) | | |
| Limpieza con chorro de arena (19) | | |
| Eliminación de nieve (50) | | |
| Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20) | | |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | | |
| Superficies interiores y objetos | | |
| Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23) | | |
| Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24) | | |
| Eliminación de superficies (25) | | |
| Limpieza por aspiración (26) | | |
| Lavado (27) | | |
| Edificios públicos (por ejemplo, estaciones de ferrocarril) | | |
| Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22) | | |
| Objetos valiosos y artículos personales | | |
| Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28) | | |
| Superficies especiales en edificios industriales | | |
| Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53) | | |
| Limpieza química de superficies metálicas (54) | | |
| Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55) | | |
| Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56) | | |
| Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57) | | |
| Eliminación de filtros (58) | | |
| Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.12 Tabla de selección de opciones de gestión para superficies exteriores de edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Superficies exteriores | | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | | |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | | |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | | |
| Sustitución de tejados (18) | | |
| Limpieza con chorro de arena (19) | | |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Tabla 7.13 Paso 3 – Aplicabilidad de las opciones de gestión restantes* para el ²³⁹Pu

| | |
|---|---|
| Restricción de acceso | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | ✓ |
| Superficies exteriores | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | ✓ |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | ✓ |
| Revestimiento polímero retirable (49) | ✓ |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | ✓ |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | ✓ |
| Sustitución de tejados (18) | ✓ |
| Limpieza con chorro de arena (19) | ✓ |
| Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21) | a |
| Clave: | |
| ✓: Seleccionado como radionucleido de interés (es decir, aplicabilidad conocida o probable, ver Sección 6.3) | |
| a. Esta opción de gestión se dirige específicamente al Cesio radiactivo | |
| Notas: | |
| *: Solo se muestran las opciones recogidas en la tabla de selección para edificios | |

Tabla 7.14 Paso 4 - Lista de comprobación de las restricciones clave a considerar al seleccionar las opciones de gestión

| Restricción de acceso | Restricciones clave |
|--|---|
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Aplicación (es necesaria una prohibición total) |
| Edificios | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | Tiempo extremadamente frío Daños (inundaciones) Es necesario implementarla rápidamente y antes de que llueva Utilización sobre edificios históricos y catalogados Fachadas y tejados deben ser resistentes al agua a alta presión |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | Tiempo extremadamente frío Daños (inundaciones) Utilización sobre edificios históricos y catalogados Fachadas y tejados deben ser resistentes al agua a alta presión |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Tiempo extremadamente frío, tiempo húmedo Utilización sobre pequeñas áreas solamente Materiales no ampliamente disponibles Utilización sobre edificios catalogados e históricos |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | Tiempo extremadamente frío Utilización sobre edificios históricos y catalogados (daño potencial) Disponibilidad de equipamiento Tasa de trabajo muy lenta |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | Tiempo extremadamente frío La construcción del tejado debe resistir agua a alta presión Disponibilidad de equipamiento Tasa de trabajo muy lenta Utilización sobre edificios históricos y catalogados (daño potencial) |
| Sustitución de tejados (18) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos Grandes cantidades de residuos Accesibilidad Materiales de construcción, por ejemplo, amianto Tasa de trabajo lenta |
| Limpieza con chorro de arena (19) | Utilización sobre edificios catalogados e históricos Tamaño de equipo grande Daño a las superficies Las superficies deben ser resistentes al agua a alta presión Tiempo extremadamente frío |

Tabla 7.15 Paso 5 – Eficacia de las opciones de gestión para el ²³⁹Pu

| Opción de gestión | Eficacia en la reducción de las dosis de resuspensión y/o la contaminación sobre la superficie | Comentarios |
|--|--|--|
| Restricción de acceso | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Hasta el 100% de reducción en la dosis (todas las vías) debida a áreas a las que se ha prohibido el acceso. | Particularmente útil para radionucleidos de vida corta. La eficacia depende del cumplimiento por parte de los individuos. No reduce los niveles de contaminación en el entorno. |
| Edificios | | |
| Limpieza con chorro de agua (13) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Se puede conseguir un FD de 1.3 si se implementa en una semana después del depósito y antes de que llueva significativamente. | La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | Reducción < 5% en las dosis totales por resuspensión. Se pueden lograr FD de 1.5 – 5 si se implementa poco después del depósito. | Es improbable que se considere solamente para la reducción de dosis por resuspensión. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Revestimiento polímero retirable (49) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Factor de descontaminación (FD) de hasta 5 si se implementa en unas pocas semanas. Mientras el revestimiento retirable está colocado, la actividad resuspendida en el aire sobre la superficie se reducirá en casi el 100%. | Es probable que esta opción sea más eficaz si se utiliza sobre superficies lisas. Es probable que una aplicación más tardía dé como resultado un FD menor, en particular en materiales de construcción porosos, como ladrillos y baldosas. |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Factor de descontaminación (FD) de 2 – 7. | Es improbable que se considere solamente para la reducción de dosis por resuspensión. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Se podrían lograr FD de 2 – 7 si se implementa poco después del depósito (FD de 2 – 4 después de 10 años). | Es improbable que se considere solamente para la reducción de dosis por resuspensión. Si una capa superficial de musgo/algas cubre el tejado en el momento del depósito, se podrá eliminar casi toda la contaminación . |
| Sustitución de tejados (18) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Se elimina toda la contaminación del tejado. | Es improbable que se considere solamente para la reducción de dosis por resuspensión. |
| Limpieza con chorro de arena (19) | Reducción despreciable en la dosis total por resuspensión. Se podrían lograr FD de 4 – 10 si se implementa poco después del depósito (decrecerá con el tiempo). | Es improbable que se considere solamente para la reducción de dosis por resuspensión. La aplicación repetida es improbable que aporte un incremento significativo en el FD. |

Tabla 7.16 Cantidades y tipos de residuos producidos por las opciones de gestión *

| Opción de gestión | Residuos resultantes (kg m ⁻² a menos que se indique otra cosa) | Material residual |
|--|--|---------------------|
| Restricción de acceso | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | Ninguno | |
| Edificios | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | 0.2 – 0.4 | Polvo |
| | 20 litros m ⁻² | Agua |
| Revestimiento polímero retirable (49) | 1 | Material polímero |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | 0.2 – 0.6 | Polvo y musgo |
| | 15 litros m ⁻² | Agua |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | 0.2 | Polvo y musgo |
| | 30 litros m ⁻² | Agua |
| Sustitución de tejados (18) | 20 – 50 | Material de techado |
| Limpieza con chorro de arena (19) | 3 | Polvo y arena |
| | 50 litros m ⁻² | Agua |

Notes:

* Todos los valores tienen fines ilustrativos para permitir identificar el impacto de la implementación de las distintas opciones y compararlas entre sí.

No se tiene en cuenta la recogida y separación de los residuos a menos que se especifique. Si los materiales residuales pueden segregarse en residuos contaminados y desclasificables, las cantidades de residuos contaminados serán mucho menores. Por ejemplo, el agua se puede recoger, filtrar y reutilizar.

Ir a la tabla en
escala de grises

Tabla 7.17 Tabla de selección para las opciones de gestión para superficies exteriores de edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|-------------------------------|--|
| Restricción de acceso | | |
| Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9) | | |
| Superficies exteriores | | |
| Limpieza con chorro de agua a alta presión (14) | | |
| Revestimiento polímero retirable (49) | | |
| Cepillado y lavado de tejados (16) | | |
| Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17) | | |
| Sustitución de tejados (18) | | |
| Limpieza con chorro de arena (19) | | |

Clave:

| | |
|--|---|
| | Recomendada con pocas restricciones. |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

8 GLOSARIO

| Término | Definición |
|--|---|
| Actividad | Tasa a la cual se produce la desintegración nuclear en una cantidad determinada de material radiactivo. La unidad en el SI para la actividad es el Becquerel (Bq), definido como una desintegración por segundo ($1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$). |
| Áreas habitadas | Lugares donde las personas pasan tiempo (por ejemplo, en casa, en el trabajo y durante el tiempo de ocio). |
| Concentración de actividad | Actividad por unidad de masa de un material radiactivo. Unidad: Bq kg^{-1} . |
| Contaminación / contaminación radiactiva | Depósito de material radiactivo sobre las superficies en áreas habitadas o sobre/en las fuentes y suministros de agua potable. |
| Contra medida | Ver <i>opción de gestión</i> . |
| Contra medidas de emergencia | Acciones tomadas durante la fase de emergencia con el objetivo de proteger a las personas frente a exposiciones a la radiación altas a corto plazo, por ejemplo, evacuación, confinamiento, profilaxis con Yodo estable. |
| Desintegración radiactiva | Proceso por el cual los radionucleidos experimentan un cambio nuclear espontáneo, emitiendo con ello radiación ionizante. |
| Dosis | Término general utilizado para cuantificar la radiación ionizante. A menos que se utilice en un contexto específico, se referirá a la dosis efectiva. |
| Dosis adicional | Dosis adicional recibida por un individuo como resultado de la implementación de una opción de gestión que específicamente no tiene en cuenta la exposición a la actividad ya presente en el medio ambiente como resultado del depósito de radionucleidos sobre el terreno. |
| Dosis colectiva | Suma de las dosis individuales de una población específica. A menudo se aproxima mediante la dosis efectiva media en una población expuesta a una fuente particular de radiación ionizante multiplicada por el número de personas expuestas. Unidad: Sv hombre. |
| Dosis efectiva | La dosis efectiva es la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo. Tiene en cuenta la eficacia biológica relativa de los diferentes tipos de radiación y la variación en la susceptibilidad de órganos y tejidos al daño por radiación. Unidad: Sievert, Sv. |
| Dosis equivalente | Cantidad utilizada en dosimetría de protección radiológica que incorpora la capacidad de los diferentes tipos de radiación para causar daño al tejido vivo. Unidad: Sievert, Sv ($1\text{Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$). |
| Efecto determinista | Anteriormente conocido como efecto no-estocástico. Efecto sobre la salud inducido por la radiación y caracterizado por una gravedad que aumenta con la dosis por encima de un umbral clínico, y por encima del cual dichos efectos se observan siempre. Son ejemplos de efectos deterministas las náuseas y las quemaduras por radiación. |
| Efecto estocástico sobre la salud | Efecto sobre la salud inducido por la radiación caracterizado por una gravedad que no depende de la dosis y para el cual no hay un umbral inferior. La probabilidad de que tal efecto sea observado es proporcional a la dosis. Un ejemplo de efecto estocástico es el cáncer. |
| Emergencia o incidente radiológico | Cualquier suceso, accidental o de otro tipo, que implica una liberación de radiactividad al medio ambiente. |
| Equipo de protección personal (EPP) | Equipamiento utilizado por una persona en el trabajo para protegerse frente a uno o más riesgos para la salud o la seguridad, por ejemplo, cascos de seguridad, guantes, protección para los ojos, ropa de alta visibilidad, calzado de seguridad y arneses de seguridad. |
| Estilo de vida normal | Situación en la que las personas pueden vivir y trabajar en un área sin que la emergencia radiológica y sus consecuencias sean lo primero en sus mentes. |
| Estrategia de recuperación | Estrategia que tiene como objetivo el retorno a la vida normal. Cubre todos los aspectos de la gestión a largo plazo del área contaminada y la implementación de opciones de gestión específicas. El desarrollo de la estrategia debería involucrar a todas las partes interesadas. |

| Término | Definición |
|-----------------------------------|--|
| Factor de descontaminación (FD) | La eficacia de una opción de eliminación se expresa como un Factor de Descontaminación (FD). El FD es la relación entre la cantidad de contaminación inicialmente presente sobre una superficie específica (por ejemplo, edificios, superficies pavimentadas, césped, suelo, arbustos, etc.) y la que queda después de implementar la opción. Por ejemplo, un FD de 5 indica que el 80% de la actividad puede ser eliminada. |
| Factor de localización | Relación entre la tasa de dosis determinada en una localización particular y la determinada en una localización de referencia. Normalmente utilizado en la estimación de dosis a las personas en el interior a partir de las medidas hechas en una localización exterior de referencia. Por ejemplo, la tasa de dosis dentro de un edificio residencial típico podría ser diez veces menor que la correspondiente sobre un área de césped abierta en el exterior; en este caso, el factor de localización tendría un valor de 0.1. |
| Factor de ocupación | Fracción de tiempo que se pasa en un lugar particular, por ejemplo, dentro y fuera de los edificios. Normalmente se utiliza en la estimación de las dosis de "vida normal", es decir, teniendo en cuenta las actividades normales del día a día. |
| Fase de emergencia (fase inicial) | Periodo de tiempo durante el cual se requieren acciones urgentes para proteger a las personas frente a exposiciones a la radiación relativamente altas a corto plazo, en el caso de una emergencia o incidente radiológico. |
| Fase de recuperación | Periodo de tiempo durante el cual las actividades se centran en la restauración de los estilos de vida normales para todas las poblaciones afectadas. No hay límites exactos entre la fase de emergencia y la de recuperación. Sin embargo, en el Manual, la fase de recuperación debería considerarse que empieza después de que el incidente haya sido contenido. |
| Fotón | Cuanto o paquete de radiación electromagnética (por ejemplo, rayos gamma o luz visible) que puede ser considerado una partícula. |
| Hoja de datos | Compilación de datos e información sobre una opción de gestión diseñada para apoyar a los responsables de tomar las decisiones en la evaluación de una opción y el impacto de su implementación. |
| Isótopo | Nucleidos con el mismo número de protones (es decir, con el mismo número atómico) pero diferente número de neutrones. No es un sinónimo de nucleido. |
| Molécula | División más pequeña de una sustancia que puede existir independientemente manteniendo las propiedades de esa sustancia. |
| Nivel de acción | Nivel de tasa de dosis, concentración de actividad o cualquier otra cantidad medible por encima del cual debería llevarse a cabo la intervención durante una exposición crónica o de emergencia. |
| Opción de gestión | Acción, que es parte de una intervención, destinada a reducir o evitar las consecuencias de la contaminación. Anteriormente conocida como "contramedida". |
| Parte interesada | Persona o grupo de personas con un interés directo o percibido, implicación, o inversión en algo. |
| Partícula alfa, α | Partícula que consta de dos protones y dos neutrones (idéntica a un núcleo de Helio). Es emitida por el núcleo de un radionucleido durante la desintegración alfa. |
| Partícula beta, β | Partícula que consiste en un electrón o positrón en movimiento rápido. Es emitida por el núcleo durante la desintegración beta. |
| Periodo de semidesintegración | Tiempo que tarda la actividad de un radionucleido en perder la mitad de su valor por decaimiento. |
| Protección respiratoria | Equipamiento diseñado para evitar o reducir la inhalación de material radiactivo por parte de los individuos. |
| Radiación ionizante | Radiación que produce ionización en la materia. Son ejemplos, las partículas alfa, los rayos gamma, los rayos X y los neutrones. Cuando estas radiaciones pasan a través de los tejidos del cuerpo, tienen suficiente energía como para dañar el ADN. |
| Radiactividad | Emisión espontánea de radiación ionizante por parte de un radionucleido como resultado de cambios a nivel atómico o nuclear. Unidad: Becquerel, Bq. |

| Término | Definición |
|------------------------------|--|
| Radionucleido | Tipo de núcleo atómico que es inestable y que puede experimentar una desintegración espontánea para dar lugar a otro átomo mediante la emisión de radiación ionizante, normalmente radiación alfa, beta o gamma. |
| Radionucleidos de vida corta | Definidos para el Manual como radionucleidos con un periodo de semidesintegración radiactiva menor de tres semanas. |
| Radionucleidos de vida larga | Definidos para el Manual como radionucleidos con un periodo de semidesintegración radiactiva mayor de tres semanas. |
| Rayo gamma, γ | Fotones de alta energía, sin masa ni carga, emitidos por el núcleo de un radionucleido por desintegración radiactiva, en forma de onda electromagnética. Son muy penetrantes. |
| Resuspensión | Nueva suspensión de partículas contaminadas en el aire. La posterior inhalación de radiactividad se reconoce como una vía de exposición potencialmente importante. Muchos factores influyen en la resuspensión, incluidos el clima, la velocidad del viento, el tiempo desde el depósito, etc. |
| Sievert | Unidad de dosis efectiva en el SI. Símbolo: Sv ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J kg}^{-1}$). La dosis efectiva se expresa normalmente en milisieverts (mSv), es decir, la milésima parte de un Sievert. La media anual de la dosis de radiación a la población del Reino Unido es de 2.6 mSv, mientras que en España es de 3.7 mSv (datos de UNSCEAR) |
| Superficies | Los ejemplos de superficies consideradas en este Manual incluyen: suelo, vegetación y edificios. Las opciones de gestión normalmente tienen como objetivo una superficie específica. Una superficie puede tener una profundidad, (por ejemplo, el suelo) y esta puede influir en la eficacia de las opciones de gestión para eliminar la contaminación de la superficie. |
| Tasa de dosis | Término general utilizado para cuantificar la radiación ionizante recibida por unidad de tiempo. A menos que se utilice en referencia a un órgano del cuerpo en particular, se referirá a la tasa de dosis efectiva. |
| Trabajador | En el Manual, se define trabajador como un individuo que está involucrado formalmente en la implementación práctica de una estrategia de recuperación. Las exposiciones a los trabajadores deben ser controladas. |

APÉNDICE A

Tipos de peligros y radionucleidos

A1 FACTORES GENERALES QUE DETERMINAN EL PELIGRO

La [Tabla A1](#) resume los factores que determinan el peligro para la salud de las personas en relación con la exposición a las radiaciones ionizantes. La propiedad más importante de la radiación con respecto a la exposición de las personas es su capacidad para penetrar en la materia que se encuentra entre la fuente radiactiva y la persona, así como en el propio cuerpo humano. La [Tabla A2](#) describe los diferentes tipos de radiación que pueden contribuir al peligro de exposición para los seres humanos, centrándose especialmente en sus características penetrantes. Los radionucleidos considerados en el Manual se han agrupado de acuerdo con sus periodos de semidesintegración, así como teniendo en cuenta si su peligro procede fundamentalmente de emisiones de rayos gamma, partículas beta o partículas alfa. En la [Tabla A3](#) se recogen los periodos de semidesintegración y las vías más importantes de exposición basadas en la radiación emitida, para los radionucleidos considerados.

Tabla A1 Factores generales que determinan el peligro de exposición a los radionucleidos

| Factor | Explicación |
|---|--|
| Periodo de semidesintegración del (de los) radionucleido(s) | A medida que el radionucleido decae se emite radiación. La actividad de una fuente se reduce con el tiempo ya que dicho radionucleido decae más y más. El periodo de semidesintegración de un radionucleido es el tiempo que tarda su actividad en reducirse a la mitad de su valor original. Los periodos de semidesintegración de diferentes radionucleidos pueden variar entre una fracción de segundo y millones de años. Esto significa que la radiación de algunos radionucleidos se reducirá rápidamente hasta desaparecer virtualmente, mientras que la radiación procedente de otros persistirá durante mucho tiempo. |
| Tipo(s) de radiación emitida por el(los) radionucleido(s) | Diferentes tipos de radionucleidos pueden emitir diferentes tipos de radiación. En este contexto, son de especial importancia las radiaciones gamma, beta y alfa (ver Tabla A2). Cada radionucleido emite radiación con energías características. Para un tipo específico de radiación, la penetración en el tejido humano aumenta con la energía. En distinta medida, la radiación será atenuada por cualquier material presente entre la fuente radiactiva y la persona (por ejemplo, un muro, la ropa e incluso el aire). |
| Posición de las fuentes, las personas y los elementos de blindaje | El peligro para las personas puede ser debido a la radiación interna procedente de radionucleidos incorporados dentro del cuerpo (por ejemplo, por inhalación o ingestión), y/o a la radiación procedente de fuentes externas al cuerpo. Los radionucleidos pueden migrar en el entorno (por ejemplo, pueden ser eliminados de las superficies de los edificios por el viento y la lluvia y, en algunos casos, resuspendidos en el aire). Esto puede conllevar un aumento del peligro debido a la inhalación de radionucleidos. |

Tabla A2 Descripciones de los diferentes tipos de radiación que pueden contribuir al peligro de exposición para los humanos

| Tipo de radiación | Descripción |
|-------------------|--|
| Partículas alfa | Una partícula alfa consta de dos protones y dos neutrones (idéntica al núcleo de Helio) y es emitida por el núcleo de un radionucleido durante la desintegración alfa. Las partículas alfa tienen un recorrido muy corto en el tejido humano. Normalmente son absorbidas completamente por un trozo de papel o unos pocos centímetros de aire (Kaplan, 1979). El cuerpo humano está protegido por una capa de células de piel muertas con un grosor típico de 50-80 µm (ICRP, 1992), de manera que las partículas alfa normalmente son incapaces de atravesar esta capa. Por lo tanto, las partículas alfa solo suponen un peligro para los humanos si se ingieren, inhalan o se incorporan a través de una herida. |
| Partículas beta | Una partícula beta consiste en un electrón, o un positrón, moviéndose a gran velocidad emitido por el núcleo de un radionucleido durante la desintegración beta. Las partículas beta pueden penetrar en el tejido humano hasta una profundidad sensiblemente mayor que las partículas alfa. Muchas partículas beta tendrán la energía suficiente para penetrar a través de la capa de piel muerta, lo que puede dar lugar a quemaduras e incluso cáncer de piel. Sin embargo, las partículas beta emitidas desde fuera del cuerpo, por lo general, no pueden penetrar en los órganos internos del ser humano. Pueden suponer un peligro para los órganos internos si se emiten desde dentro del propio cuerpo, por ejemplo, después de su inhalación, ingestión o incorporación a través de una herida en la piel. Las partículas beta de alta energía pueden tener un recorrido de hasta unos pocos metros en el aire. Esto significa que las partículas beta emitidas por la contaminación sobre las superficies del entorno interior o exterior, pueden contribuir al peligro. Una fina capa de ropa entre la fuente y la superficie de la piel puede reducir la penetración en esta última de manera considerable. La radiación de frenado o Bremsstrahlung es una radiación secundaria que se produce como reacción en el material de blindaje por efecto de las partículas beta. La mayor parte de la radiación de Bremsstrahlung tendrá baja energía (Gopala et al, 1986) y no se considerará más allá en el Manual. |
| Rayos gamma | Un rayo gamma es un fotón de alta energía sin masa ni carga, emitido desde el núcleo de un radionucleido tras una desintegración radiactiva. Los rayos gamma pueden penetrar a través de estructuras densas, incluyendo paredes de casas y cuerpos humanos. Esto significa que los radionucleidos emisores gamma pueden suponer un riesgo para la salud tanto desde el exterior como desde el interior del cuerpo humano. |

Tabla A3 Peligro predominante y periodo de semidesintegración para cada radionucleido considerado en el Manual

| Radionucleido* | Interna [#] | | | Externa [†] | |
|-------------------|----------------------|------|-------|-------------------------------|---------|
| | Alfa | Beta | Gamma | Periodo de semidesintegración | |
| ⁶⁰ Co | - | × | ✓ | Largo | 5.27 a |
| ⁷⁵ Se | - | - | ✓ | Largo | 119.8 d |
| ⁹⁰ Sr | - | ✓ | - | Largo | 29.12 a |
| ⁹⁵ Zr | - | × | ✓ | Largo | 63.98 d |
| ⁹⁵ Nb | - | × | ✓ | Largo | 34.99 d |
| ⁹⁹ Mo | - | s | ✓ | Corto | 2.75 d |
| ¹⁰³ Ru | - | × | ✓ | Largo | 39.28 d |
| ¹⁰⁶ Ru | - | s | ✓ | Largo | 368.2 d |
| ¹³¹ I | - | × | ✓ | Corto | 8.04 d |
| ¹³² Te | - | × | ✓ | Corto | 3.26 d |
| ¹³⁴ Cs | - | × | ✓ | Largo | 2.062 a |
| ¹³⁶ Cs | - | × | ✓ | Corto | 13.1 d |
| ¹³⁷ Cs | - | × | ✓ | Largo | 30 a |
| ¹⁴⁰ Ba | - | × | ✓ | Corto | 12.74 d |

Tabla A3 Peligro predominante y periodo de semidesintegración para cada radionucleido considerado en el Manual

| Radionucleido* | Interna [#] | Externa [†] | | Periodo de semidesintegración | |
|-------------------|----------------------|----------------------|-------|-------------------------------|------------------------|
| | Alfa | Beta | Gamma | | |
| ¹⁴⁰ La | - | × | ✓ | Corto | 1.68 d |
| ¹⁴⁴ Ce | - | s | ✓ | Largo | 284.3 d |
| ¹⁶⁹ Yb | - | × | ✓ | Largo | 32.01 d |
| ¹⁹² Ir | - | × | ✓ | Largo | 74.02 d |
| ²²⁶ Ra | ✓ | × | g | Largo | 1.6 10 ³ a |
| ²³⁵ U | ✓ | × | g | Largo | 7.04 10 ⁸ a |
| ²³⁸ Pu | ✓ | - | g | Largo | 87.74 a |
| ²³⁹ Pu | ✓ | - | g | Largo | 2.4 10 ⁴ a |
| ²⁴¹ Am | ✓ | - | g | Largo | 432.2 a |

Clave:

×: contribución mínima a la exposición. Se puede ignorar

s: puede ser necesario tener en cuenta las dosis a la piel

g: contribución mínima a la exposición debida a las emisiones de rayos gamma. Se puede ignorar comparado con la vía interna. Sin embargo, cabe señalar que, si la resuspensión es detenida mediante el uso de un fijador, se recibirá una pequeña dosis externa.

Corto: periodo de semidesintegración < 3 semanas

Largo: periodo de semidesintegración > 3 semanas

Notas:

*: La contribución de todos los descendientes significativos de la cadena radiactiva se ha tenido en cuenta

#: Dosis internas debidas a resuspensión

†: Los emisores beta y gamma también pueden dar lugar a pequeñas dosis por resuspensión

A2 TIPOS DE CONTAMINANTE

Los diferentes tipos de emergencias radiológicas o nucleares conllevan diferentes tipos de contaminantes liberados a la atmósfera. El accidente de Chernobyl demostró que en los accidentes en grandes centrales nucleares se puede liberar una amplia gama de radionucleidos con diferentes formas físicas y químicas (Andersson et al, 2002). Por ejemplo, los radioisótopos de un elemento altamente volátil como el Yodo es probable que aparezcan en tres formas fisicoquímicas principales: como vapor de Yodo elemental altamente reactivo; adsorbido por pequeñas partículas del ambiente; o en compuestos gaseosos inorgánicos. Otros elementos radiológicamente importantes y relativamente volátiles (por ejemplo, el Cesio y el Rutenio) es de esperar que se evaporen en un accidente con altas temperaturas y formen pequeñas partículas de condensación con un tamaño en el rango de 0.5-1 µm. Partículas tan pequeñas pueden viajar grandes distancias en la atmósfera antes de que se depositen sobre las superficies en un entorno habitado, ya que la fuerza gravitatoria tienen poco efecto sobre ellas. Los radionucleidos de elementos más refractarios, como el Estroncio, el Circonio y el Cerio, están asociados a partículas fragmentadas de mayor tamaño y, por ello, se depositan normalmente a distancias menores. Las liberaciones a nivel del terreno, por ejemplo como resultado de explosiones convencionales, pueden dar lugar a la generación predominante de partículas de tamaño muy grande que solamente

permanecerán en el aire durante distancias muy cortas. Esto quedó demostrado en el accidente de Thule en 1968 (Research Establishment Risø, 1970).

Debido a la gravedad, el depósito seco de partículas de gran tamaño sobre superficies horizontales es más pronunciado que el de partículas pequeñas. Esto supone que la distribución de partículas pequeñas y grandes sobre las distintas superficies en un área habitada será diferente. Aunque el depósito seco puede dar lugar a altos niveles de contaminación, debería señalarse que las precipitaciones arrastran de manera muy eficaz las partículas contaminantes de la nube. Por lo tanto, las áreas en las que llueve durante el paso de la pluma contaminada recibirán normalmente niveles de contaminación mucho mayores que las áreas donde las concentraciones de radionucleidos en el aire son similares pero en las que no llueve.

A menudo se asume que la contaminación se distribuye homogéneamente sobre una superficie. Sin embargo, se dan varios procesos que pueden dar lugar a la formación de partículas altamente radiactivas, denominadas generalmente "partículas calientes". La presencia de estas partículas en el entorno puede conllevar dosis localmente muy elevadas. Si cabe la posibilidad de que se hayan depositado en el entorno estas partículas calientes, siempre se debería tener en cuenta la posibilidad de exposición debida a la inhalación, ingestión y contaminación de la piel, y habría que evaluar la probabilidad de aparición de efectos deterministas en el aparato respiratorio, en el intestino grueso y en la piel.

A3 ORIENTACIÓN GENERAL SOBRE LOS PELIGROS Y LA UTILIZACIÓN DEL BLINDAJE

Esta sección aporta algo de información sobre el comportamiento de los radionucleidos emisores beta y gamma y sobre la posibilidad de que el blindaje sea útil para la reducción de dosis. En particular, se recogen indicaciones generales que se pueden utilizar para radionucleidos que no se consideran en el Manual.

A3.1 Radionucleidos emisores beta

Las partículas beta tienen un alcance bien definido. Para energías inferiores a 2.5 MeV, el alcance R de una partícula beta de energía E viene dado empíricamente por:

$$R = 412 E^{1.265-0.0954\ln(E)}$$

donde E es la energía máxima de las partículas beta del radionucleido (MeV) y R se expresa como un espesor másico en mg cm^{-2} . Este espesor másico se puede convertir en distancia para cualquier material (por ejemplo, aire o suelo). Para convertir el alcance en mg cm^{-2} en una distancia dentro de un material (cm), el espesor másico se divide entre la densidad del material (mg cm^{-3}). Por ejemplo, el alcance de un radionucleido emisor beta con una energía máxima de 1.0 MeV es 412 mg cm^{-2} . La densidad del aire es aproximadamente 1.3 mg cm^{-3} , lo que nos da una distancia de recorrido en el aire de aproximadamente 3.2 m.

La [Figura A1](#) muestra el alcance de las partículas beta en el aire en función de su energía. Esto se puede utilizar para valorar si la contaminación beta es posible que sea motivo de preocupación si se conoce la posición relativa de las personas con respecto a ella.

La eficacia de los materiales como blindaje frente a las emisiones beta depende de la densidad del material y su grosor, como se ha descrito anteriormente. Una herramienta útil para estimar el grosor de material necesario para conseguir cierto nivel de blindaje en función de la energía beta máxima del radionucleido está disponible en la forma de un nomograma (Longworth, 1998). El nomograma se muestra en la [Figura A2](#). Para utilizarlo, por ejemplo, para encontrar el espesor de absorbente necesario para reducir la tasa de dosis debida a un radionucleido emisor beta con una energía máxima 1.0 MeV, en un 50%, se dibuja una línea recta uniendo 1.0 MeV con 50% de absorción. Esta línea se corta con la línea de espesor del absorbente aproximadamente en 45 mg cm⁻². Esto supondría en torno a 20 mm de espesor de hormigón, suponiendo una densidad del mismo de 2400 kg m⁻³. En la [Tabla A4](#) se dan las densidades de los materiales que podrían ser considerados como materiales de blindaje en áreas habitadas.

Tabla A4 Densidades de los materiales que podrían utilizarse como medio de blindaje

| Material | Densidad, mg cm ⁻² | Hola de datos de la opción aplicable |
|------------------------|-------------------------------|--|
| Suelo | 1500 | Cobertura de áreas exteriores con suelo limpio |
| Agua | 1000 | Fijación (exterior) |
| Asfalto | 1400 | Eliminación y sustitución de carreteras, etc. |
| Hormigón | 2400 | Eliminación y sustitución de carreteras, etc. |
| Arena | 1600 | Fijación (exterior) |
| Espuma de poliestireno | 125 | Espuma (exterior) |
| Polímero | 910 | Revestimiento polímero retirable (exterior) |
| Betún | 1000 | Fijación (exterior) |
| Perspex | 1190 | Blindaje de objetos valiosos |
| Papel | 1000 | Cobertura de superficies interiores |
| Pintura | 1000 | Cobertura de superficies interiores |

En la [Figura A3](#) se dan también en función de su energía los alcances de las partículas beta en algunos materiales que es posible que sean utilizados como materiales de blindaje en áreas habitadas. El valor de dicho alcance es realmente el espesor de material necesario para detener una partícula beta.

Tal y como se menciona en la [Sección A1](#), la utilización de un material de blindaje sobre la contaminación beta aumenta la intensidad de la radiación de Bremsstrahlung. Este incremento depende del material de blindaje utilizado y no es importante para los materiales que probablemente sean usados. Sin embargo, si se emplea Plomo u otros metales con números atómicos y densidades elevados, deberían tenerse en cuenta las dosis por Bremsstrahlung, en particular para emisores beta de alta energía, como por ejemplo el ⁹⁰Sr.

En la [Tabla A5](#) se dan las energías beta máximas para los radionucleidos considerados en el Manual a título informativo. Las energías beta máximas se han tomado de Delacroix et al. (2002), a menos que se indique lo contrario.

Tabla A5 Energías beta máximas para los radionucleidos considerados en el Manual

| Radionucleido [*] | Energía máxima [#] , MeV |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| ⁶⁰ Co | 1.5 |
| ⁷⁵ Se | - |
| ⁹⁰ Sr+ | 2.3 |
| ⁹⁵ Zr+ | 0.4 |
| ⁹⁵ Nb | 0.16 |
| ⁹⁹ Mo+ | 1.2 |
| ¹⁰³ Ru+ | 0.72 |
| ¹⁰⁶ Ru+ | 3.5 |
| ¹³² Te+ | 2.1 |
| ¹³¹ I | 0.61 |
| ¹³⁴ Cs | 0.66 |
| ¹³⁶ Cs ⁻ | 0.66 |
| ¹³⁷ Cs | 1.2 |
| ¹⁴⁰ Ba+ | 2.2 |
| ¹⁴⁰ La | 2.2 |
| ¹⁴⁴ Ce+ | 3.0 |
| ¹⁶⁹ Yb | - |
| ¹⁹² Ir | 0.67 |
| ²²⁶ Ra+ | 3.3 |
| ²³⁵ U [#] | 0.3 |
| ²³⁸ Pu+ | - |
| ²³⁹ Pu+ | - |
| ²⁴¹ Am+ | - |

Notas:

* Los radionucleidos para los cuales se ha considerado la contribución de los descendientes tras el depósito del radionucleido padre, se indican con el símbolo '+'.

Energías beta máximas basadas en los datos tomados de la ICRP (1983). Como la ICRP (1983) solo da la energía media para cada emisión de partícula beta, estas energías medias se han multiplicado por tres para dar las energías máximas aproximadas, en consonancia con las recogidas en Delacroix (2002).

Figura A1 Alcance de las partículas beta en el aire en función de su energía

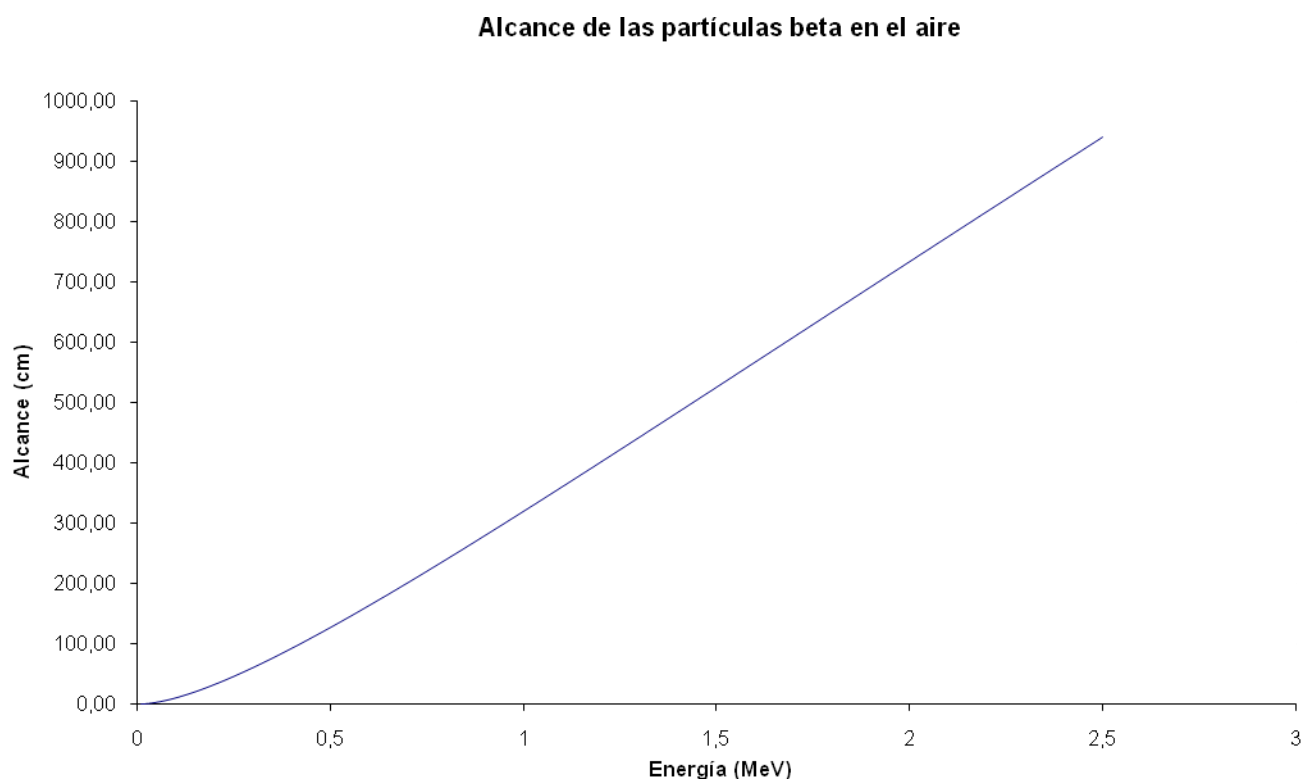


Figura A2 Nomograma para determinar el espesor de material necesario para reducir las tasas de dosis beta en función de la energía beta (tomado de Longworth, 1988).

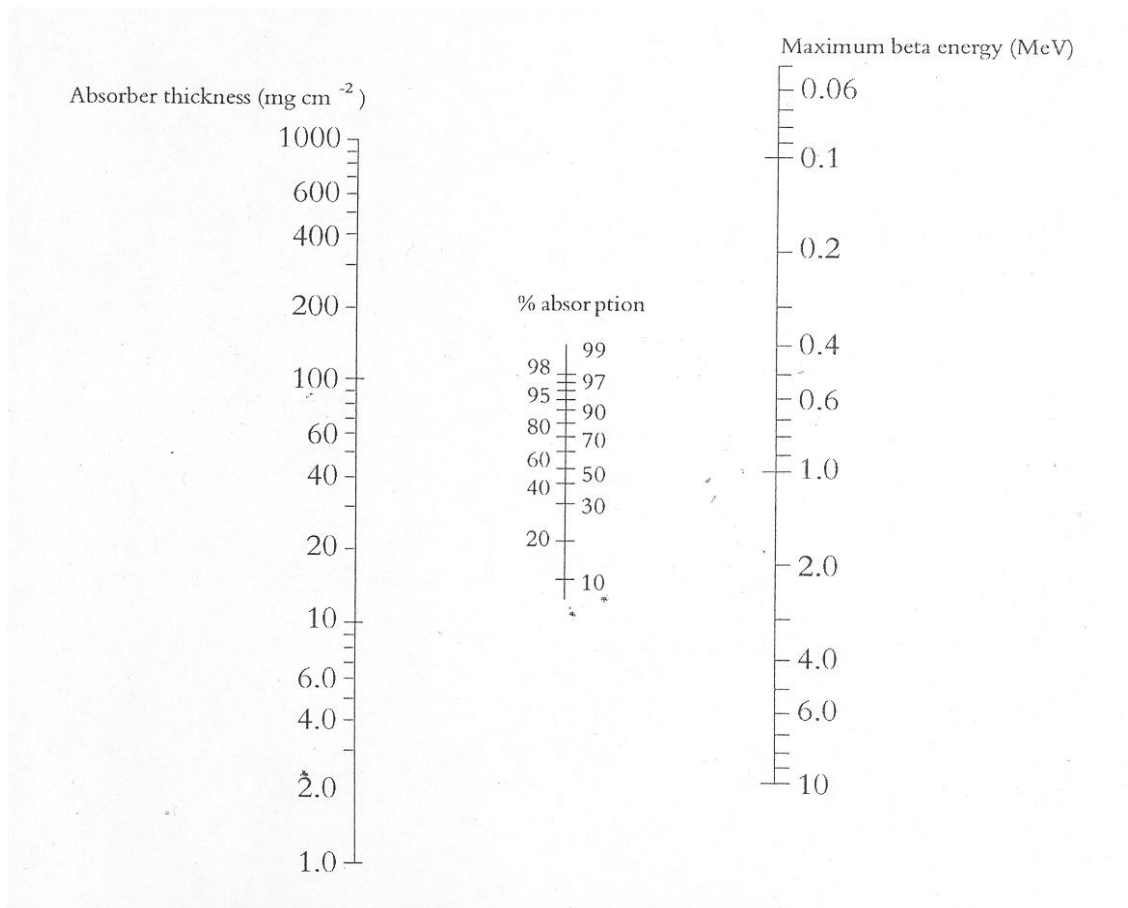
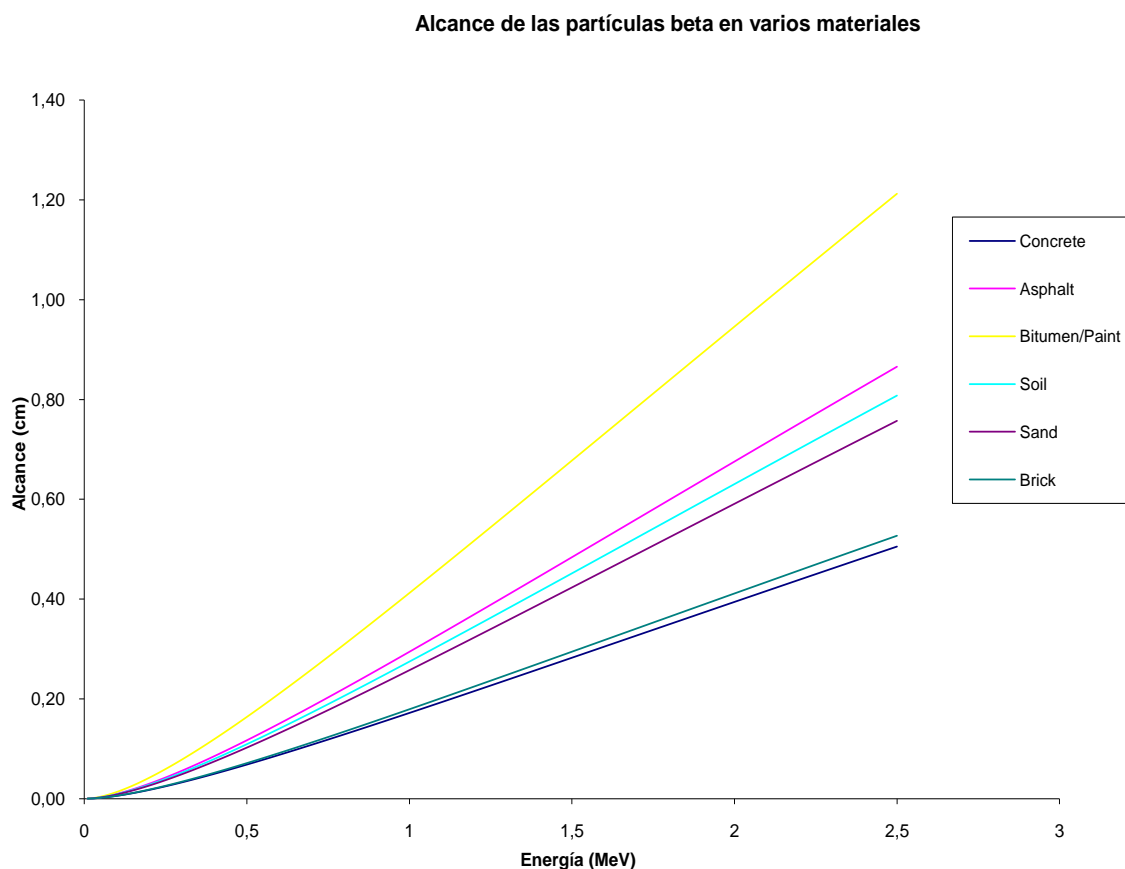


Figura A3 Alcance de las partículas beta en materiales que es posible que sean utilizados para blindaje en áreas habitadas en función de la energía beta máxima



A4 RADIONUCLEIDOS EMISORES GAMMA

Los rayos gamma son atenuados por el material a través del cual se propagan, pero no tienen un alcance definido.

La atenuación de un haz estrecho de rayos gamma o rayos X viene dada por:

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$

donde I es la tasa de fluencia después de atravesar un espesor t (cm), I_0 es la tasa de fluencia inicial y μ es el coeficiente de atenuación lineal del medio atenuante (cm^{-1}). En el caso de haces abiertos o no colimados, puede haber un aumento debido a los

fotones dispersados que aún así alcanzan el objetivo, lo que hace que la atenuación sea menos rápida de lo que se indica en la ecuación anterior.

Los materiales con números atómicos y densidades elevadas, como el Plomo, proporcionan el mejor blindaje frente a los rayos gamma y rayos X, aunque es improbable que sea factible su utilización para blindaje en áreas habitadas contaminadas.

Cuanto mayor es la densidad de un material, menos espesor se necesita para disminuir la intensidad de los rayos gamma hasta un límite determinado. Esto significa que la masa de los materiales necesaria para disminuir la intensidad de la radiación en una cantidad determinada es muy parecida independientemente del material de que se trate. Normalmente se utilizan dos valores para especificar el espesor: el espesor de semirreducción y el espesor de reducción a la décima parte, que son los espesores necesarios de un material para reducir la intensidad de los rayos gamma a la mitad y a la décima parte, respectivamente, expresados por:

$$\text{Espesor de semirreducción (cm)} = \frac{0.693}{\mu}$$

$$\text{Espesor de reducción a la décima parte (cm)} = \frac{2.3}{\mu}$$

donde μ es el coeficiente de atenuación lineal en el material de blindaje para la energía gamma en cuestión (cm^{-1}).

La [Tabla A6](#) recoge los coeficientes de atenuación lineal en el aire en función de la energía gamma. Los coeficientes de atenuación lineal para otros materiales se pueden estimar utilizando la suposición de que el coeficiente de atenuación lineal es aproximadamente proporcional a la densidad del material. Esta suposición es válida para las energías gamma en el rango aproximado de 0.05 – 5.0 MeV para la mayoría de los materiales que son considerados como materiales de blindaje en la [Sección A3](#). Para materiales que tienen un elevado número atómico, como el Plomo, esta aproximación no sería adecuada. Sin embargo, hay coeficientes de atenuación lineal fácilmente disponibles para el Plomo y se dan en la [Tabla A7](#) para un rango de energías gamma (Kaplan, 1979).

Para otros materiales de blindaje cuyo uso es importante en las opciones de recuperación en áreas habitadas, el coeficiente de atenuación lineal para el material de interés puede estimarse de la siguiente manera:

$$\mu_{\text{material}} = \mu_{\text{aire}} \frac{\rho_{\text{material}}}{\rho_{\text{aire}}}$$

donde μ_{material} es el coeficiente de atenuación lineal en el material (cm^{-1}), μ_{aire} es el coeficiente de atenuación lineal en el aire (cm^{-1}), ρ_{material} es la densidad del material (kg m^{-3}) y ρ_{aire} es la densidad del aire (1.293 kg m^{-3}).

Por ejemplo, si el radionucleido responsable de la contaminación tiene una energía gamma de 1 MeV y el material a utilizar es suelo (1500 kg m^{-3}), el coeficiente de atenuación lineal para el suelo se puede calcular:

$$\mu_{\text{suelo}} = 8.23 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1} \frac{1500 \text{ kg m}^{-3}}{1.293 \text{ kg m}^{-3}} = 0.095 \text{ cm}^{-1}$$

Suponiendo que se utiliza un espesor de suelo de 10 cm, la intensidad de la irradiación gamma con el blindaje proporcionado por el suelo será $0.39 I_0$, siendo I_0 la intensidad de la irradiación gamma sin blindaje. Esto significa que 10 cm de suelo reducen la intensidad de la irradiación gamma debida al radionucleido aproximadamente al 40 % de la que tendría si no hubiera blindaje.

El espesor de semirreducción para el radionucleido se puede estimar en aproximadamente 7 cm de suelo, es decir, que un espesor de 7 cm reduce la intensidad a la mitad. El espesor de reducción a la décima parte para el radionucleido se puede estimar en aproximadamente 24 cm, es decir, un espesor de 24 cm reducirá la intensidad a la décima parte.

Tabla A6 Coeficientes de atenuación lineal para los rayos gamma en el aire

| Energía gamma, (MeV) | Coefficiente de atenuación lineal (cm^{-1}) * |
|----------------------|--|
| 0.1 | $1.99 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.2 | $1.60 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.3 | $1.38 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.5 | $1.13 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.6 | $1.04 \cdot 10^{-4}$ |
| 0.8 | $9.15 \cdot 10^{-5}$ |
| 1.0 | $8.23 \cdot 10^{-5}$ |
| 2.0 | $5.75 \cdot 10^{-5}$ |
| 3.0 | $4.63 \cdot 10^{-5}$ |
| 5.0 | $3.56 \cdot 10^{-5}$ |
| 10.0 | $2.64 \cdot 10^{-5}$ |

Nota:

* Los coeficientes de atenuación están calculados suponiendo que el aire está formado por un 78% de Nitrógeno, un 21% de Oxígeno y un 1% de Argón, y que tiene una densidad de 1.293 kg m^{-3} .

Tabla A7 Coeficientes de atenuación lineal para el Plomo

| Energía gamma, (MeV) | Coeficiente de atenuación lineal (cm ⁻¹)* |
|----------------------|--|
| 0.1 | 60 |
| 0.2 | 10 |
| 0.3 | 3.8 |
| 0.5 | 1.6 |
| 0.6 | 1.3 |
| 0.8 | 0.95 |
| 1.0 | 0.77 |
| 2.0 | 0.51 |
| 3.0 | 0.46 |
| 5.0 | 0.49 |
| 10.0 | 0.57 |

Nota:

* Calculado suponiendo una densidad del Plomo de $1.134 \cdot 10^4 \text{ kg m}^{-3}$

A5 REFERENCIAS

- Andersson KG, Fogh CL, Byrne MA, Roed J, Goddard AJH and Hotchkiss SAM (2002). Radiation dose implications of airborne contaminant deposition to humans. *Health Physics*, 82(2), 226-232.
- Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P and Hickman C (2002). Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. *Rad Prot Dosim*, **98** (1), 1-168.
- Gopala K, Rudraswamy B, Venkataramaiah P and Sanjeeviah H (1986). Thick-target bremsstrahlung spectra generated by the beta particles of ⁹⁰Sr-⁹⁰Y and ⁹⁹Tc. *Physical Review A*, 5126-5129.
- ICRP (1983). Radionuclide transformations, energy and intensity of emissions. ICRP Publication 38. *Ann ICRP*, **11-13**.
- ICRP (1992). The biological basis for dose limitation in the skin. ICRP Publication 59, ISBN 0 08 041143 6, International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, Oxford.
- Kaplan I (1979). Nuclear Physics. Addison-Wesley Publishing Company, USA.
- Longworth G (1998). The Radiochemical Manual, AEA Technology plc, Harwell, UK.
- Research Establishment Risø (1970). Project Crested Ice. Risø Report 213, Research Establishment Risø, ISBN 87 550 0006 1.

APÉNDICE B

Estimación de dosis en el área afectada

Las dosis a las personas en áreas habitadas pueden proceder de diversas vías de exposición diferentes. Para una cantidad dada de material radiactivo depositada, la dosis resultante a un individuo puede variar ampliamente, dependiendo de los radionucleidos implicados, la propagación de la contaminación entre las diferentes superficies y el tiempo que pasan los individuos en diferentes ubicaciones con relación a la contaminación.

Un individuo que vive en un entorno contaminado está expuesto a una combinación de tasas de dosis debidas a los diferentes niveles de contaminación sobre diversas superficies y objetos en una variedad de localizaciones (por ejemplo, casas, lugares de trabajo, áreas recreativas). La tasa de dosis en una sola localización también varía con el tiempo, ya que los radionucleidos decaen o son eliminados por la lluvia y otros procesos de meteorización. La dosis acumulada experimentada por un individuo está por tanto determinada por el tiempo que pasa en cada lugar y la tasa de dosis en dicho lugar.

Esta sección proporciona una guía sobre algunos métodos para calcular las dosis en un área habitada debidas a los niveles de contaminación sobre superficies o a la resuspensión. Cabe destacar que estos métodos son, por lo general, básicos y tienen la finalidad solamente de dar al usuario una idea general de los niveles de dosis que se recibirían. Al seleccionar las opciones de gestión para la recuperación, se recomienda que se utilicen modelos más detallados y complejos, como por ejemplo el modelo implementado en ERMIN (Jones et al, 2009). Un modelo como este puede tener en cuenta las características de cada una de las áreas a considerar (por ejemplo, los tipos de edificio en el área, el nivel de urbanización, la cantidad del área utilizada como jardines, parques) y el reparto de la contaminación dentro de este entorno en función del tiempo. En este apéndice se recoge la siguiente información para ayudar al cálculo de dosis a los miembros del público en áreas habitadas:

- indicación de las tasas de dosis efectivas exteriores y de las dosis debidas a irradiación externa procedente de material emisor gamma depositado sobre el terreno (ver [Sección B1](#), [Tabla B1](#) y [Tabla B2](#));
- factores de localización y ocupación para estimar las dosis a las personas en condiciones de vida normales (ver [Sección B2](#) y [Tabla B3](#));
- indicación de las tasas de dosis efectivas y de las dosis depositadas sobre el terreno para el ^{90}Sr (ver [Sección B3](#));
- dosis por inhalación exteriores debidas a material resuspendido por unidad de actividad depositada sobre el terreno en función del tiempo (ver [Sección B4](#) y [Tabla B4](#)).

B1 DOSIS GAMMA EXTERNAS DEBIDAS A LA CONTAMINACIÓN SOBRE SUPERFICIES EXTERIORES EN EL ENTORNO

La [Tabla B1](#) y la [Tabla B2](#) recogen las tasas de dosis y las dosis que serían esperables a lo largo de diferentes periodos en un área habitada una vez están disponibles los niveles de depósito sobre el césped y el suelo subyacente, lejos de los edificios. Se ha supuesto un suelo genérico con una densidad de 1.5 g cm^{-3} en los cálculos, con una composición en masa de O 60%, Si 25%, C 7%, H 4%, Al 3% y Fe 1%. La [Tabla B1](#) proporciona las tasas de dosis en Sv h^{-1} por 1 Bq m^{-2} depositado sobre el terreno debidas a radiación gamma externa procedente de material radiactivo depositado en el exterior a un individuo que se encuentre también en el exterior en diferentes momentos después del suceso. Las tasas de dosis están calculadas 1 m por encima de una superficie de suelo infinita (o de césped con suelo subyacente), teniendo en cuenta la migración de la contaminación radiactiva hacia abajo a través del suelo con el tiempo. La [Tabla B2](#) proporciona dosis por unidad de actividad depositada sobre el terreno debida a radiación gamma procedente de material radiactivo depositado en el exterior a un individuo también en el exterior en diferentes momentos después del suceso. Los valores en las tablas dan estimaciones conservadoras de las tasas de dosis y las dosis debido a que:

- Se asume que toda la contaminación está inicialmente localizada sobre la superficie del suelo. En realidad, no todo el material depositado permanecerá sobre la superficie; procesos como la bioturbación y el lavado de la contaminación con agua directamente hacia el interior del suelo debido a la lluvia, proporcionan algo de blindaje frente a la contaminación. También se tiene en cuenta la migración de la contaminación hacia abajo a través del suelo a largo plazo.
- Las dosis debidas a la contaminación sobre el terreno proceden de áreas limitadas, ya que en un área habitada existen normalmente muchos elementos que proporcionan cierto blindaje (por ejemplo, los edificios). Andersson (1996) calculó que cerca de un tercio de la tasa de dosis en un gran espacio abierto sería debida a la contaminación que se encontrase a más de 16 m de distancia, con cerca de una octava parte de la tasa de dosis debida a la contaminación a más de 64 m.
- No se ha tenido en cuenta el blindaje proporcionado por los edificios para una persona en el exterior, lo que podría dar lugar a la sobrestimación de las tasas de dosis en el exterior. Se han estimado reducciones en la tasa de dosis, en relación con las tasas de dosis en grandes espacios abiertos, para una serie de diferentes tipos de área habitada (por ejemplo, con muchos árboles y vegetación comparado con un área densamente urbanizada (Meckbach et al, 1988a; Brown and Jones, 1993). Para la mayoría de las situaciones, es apropiado asumir que el blindaje proporcionado por los edificios no reduce las tasas de dosis en el exterior de manera significativa y que se puede ignorar para estimar los cálculos de las dosis externas. Los modelos más complejos utilizados para evaluar las dosis en áreas específicas pueden tener en cuenta el blindaje proporcionado por los edificios.

Tabla B1 Tasas de dosis efectiva externa gamma tras un depósito instantáneo de 1 Bq m⁻² sobre el terreno (HPA-PRD, 2005)

| Radionucleido | Tasa de dosis (Sv h ⁻¹) ^a | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 0 | 6 horas | 12 horas | 1 día | 2 días | 7 días | 30 días | 1 año | 2 años | 5 años | 10 años | 50 años |
| ⁶⁰ Co | 5.6 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹² | 5.5 10 ⁻¹² | 4.4 10 ⁻¹² | 3.5 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 6.9 10 ⁻¹³ | 9.9 10 ⁻¹⁶ |
| ⁷⁵ Se | 8.9 10 ⁻¹³ | 8.9 10 ⁻¹³ | 8.9 10 ⁻¹³ | 8.8 10 ⁻¹³ | 8.8 10 ⁻¹³ | 8.5 10 ⁻¹³ | 7.4 10 ⁻¹³ | 9.5 10 ⁻¹⁴ | 1.0 10 ⁻¹⁴ | 1.3 10 ⁻¹⁷ | 7.4 10 ⁻²² | 2.3 10 ⁻²⁶ |
| ⁹⁵ Zr ^b | 1.7 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 1.9 10 ⁻¹² | 9.4 10 ⁻¹⁴ | 1.6 10 ⁻¹⁵ | 4.6 10 ⁻²⁰ | 1.6 10 ⁻²³ | 0 |
| ⁹⁵ Nb | 1.8 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹² | 1.6 10 ⁻¹² | 9.7 10 ⁻¹³ | 1.2 10 ⁻¹⁵ | 8.7 10 ⁻¹⁹ | 7.5 10 ⁻²³ | 1.3 10 ⁻²⁶ | 0 |
| ⁹⁹ Mo ^b | 3.5 10 ⁻¹³ | 3.3 10 ⁻¹³ | 3.1 10 ⁻¹³ | 2.7 10 ⁻¹³ | 2.1 10 ⁻¹³ | 5.9 10 ⁻¹⁴ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ¹⁰³ Ru ^b | 1.1 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹² | 9.8 10 ⁻¹³ | 6.5 10 ⁻¹³ | 1.6 10 ⁻¹⁵ | 2.3 10 ⁻¹⁸ | 2.9 10 ⁻²² | 6.6 10 ⁻²⁶ | 0 |
| ¹⁰⁶ Ru ^b | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.7 10 ⁻¹³ | 4.5 10 ⁻¹³ | 2.2 10 ⁻¹³ | 9.7 10 ⁻¹⁴ | 9.4 10 ⁻¹⁵ | 2.2 10 ⁻¹⁶ | 2.8 10 ⁻²⁴ |
| ¹³² Te ^b | 5.0 10 ⁻¹³ | 4.7 10 ⁻¹² | 5.2 10 ⁻¹² | 4.8 10 ⁻¹² | 3.9 10 ⁻¹² | 1.3 10 ⁻¹² | 9.9 10 ⁻¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| ¹³¹ I ^b | 8.9 10 ⁻¹³ | 8.8 10 ⁻¹³ | 8.6 10 ⁻¹³ | 8.2 10 ⁻¹³ | 7.5 10 ⁻¹³ | 4.9 10 ⁻¹³ | 6.7 10 ⁻¹⁴ | 1.5 10 ⁻²² | 1.1 10 ⁻²⁵ | 0 | 0 | 0 |
| ¹³⁴ Cs | 3.6 10 ⁻¹² | 3.6 10 ⁻¹² | 3.6 10 ⁻¹² | 3.6 10 ⁻¹² | 3.6 10 ⁻¹² | 3.6 10 ⁻¹² | 3.5 10 ⁻¹² | 2.3 10 ⁻¹² | 1.5 10 ⁻¹² | 4.1 10 ⁻¹³ | 5.5 10 ⁻¹⁴ | 2.3 10 ⁻²⁰ |
| ¹³⁶ Cs | 5.0 10 ⁻¹² | 4.9 10 ⁻¹² | 4.8 10 ⁻¹² | 4.7 10 ⁻¹² | 4.5 10 ⁻¹² | 3.4 10 ⁻¹² | 1.0 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹⁹ | 8.0 10 ⁻²³ | 0 | 0 | 0 |
| ¹³⁷ Cs ^b | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 1.2 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹² | 7.5 10 ⁻¹³ | 4.8 10 ⁻¹³ | 4.4 10 ⁻¹⁴ |
| ¹⁴⁰ Ba ^b | 4.2 10 ⁻¹³ | 9.2 10 ⁻¹³ | 1.4 10 ⁻¹² | 2.1 10 ⁻¹² | 3.1 10 ⁻¹² | 4.0 10 ⁻¹² | 1.2 10 ⁻¹² | 7.1 10 ⁻²⁰ | 5.3 10 ⁻²³ | 0 | 0 | 0 |
| ¹⁴⁴ Ce ^b | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.1 10 ⁻¹³ | 1.00 10 ⁻¹³ | 3.9 10 ⁻¹⁴ | 1.4 10 ⁻¹⁴ | 6.9 10 ⁻¹⁶ | 5.3 10 ⁻¹⁸ | 1.9 10 ⁻²⁵ |
| ¹⁶⁹ Yb | 6.0 10 ⁻¹³ | 6.0 10 ⁻¹³ | 6.0 10 ⁻¹³ | 5.9 10 ⁻¹³ | 5.8 10 ⁻¹³ | 5.2 10 ⁻¹³ | 3.1 10 ⁻¹³ | 1.9 10 ⁻¹⁶ | 7.8 10 ⁻²⁰ | 1.1 10 ⁻²² | 1.5 10 ⁻²⁶ | 0 |
| ¹⁹² Ir | 1.9 10 ⁻¹² | 1.9 10 ⁻¹² | 1.9 10 ⁻¹² | 1.9 10 ⁻¹² | 1.9 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹² | 5.6 10 ⁻¹⁴ | 1.7 10 ⁻¹⁵ | 6.3 10 ⁻²⁰ | 2.2 10 ⁻²³ | 0 |
| ²²⁶ Ra ^b | 1.5 10 ⁻¹⁴ | 1.7 10 ⁻¹³ | 3.3 10 ⁻¹³ | 6.4 10 ⁻¹³ | 1.2 10 ⁻¹² | 2.8 10 ⁻¹² | 3.9 10 ⁻¹² | 3.5 10 ⁻¹² | 3.2 10 ⁻¹² | 2.4 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹² | 4.6 10 ⁻¹³ |
| ²³⁵ U ^b | 3.4 10 ⁻¹³ | 3.5 10 ⁻¹³ | 3.5 10 ⁻¹³ | 3.5 10 ⁻¹³ | 3.6 10 ⁻¹³ | 3.6 10 ⁻¹³ | 3.6 10 ⁻¹³ | 3.2 10 ⁻¹³ | 2.8 10 ⁻¹³ | 2.1 10 ⁻¹³ | 1.4 10 ⁻¹³ | 2.4 10 ⁻¹⁴ |
| ²³⁸ Pu | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 2.1 10 ⁻¹⁶ | 1.7 10 ⁻¹⁶ | 1.3 10 ⁻¹⁶ | 6.7 10 ⁻¹⁷ | 2.4 10 ⁻¹⁷ | 7.2 10 ⁻¹⁹ |
| ²³⁹ Pu | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.8 10 ⁻¹⁶ | 1.7 10 ⁻¹⁶ | 1.5 10 ⁻¹⁶ | 1.2 10 ⁻¹⁶ | 8.0 10 ⁻¹⁷ | 4.6 10 ⁻¹⁷ | 7.2 10 ⁻¹⁸ |
| ²⁴¹ Am | 3.7 10 ⁻¹⁴ | 3.7 10 ⁻¹⁴ | 3.7 10 ⁻¹⁴ | 3.7 10 ⁻¹⁴ | 3.7 10 ⁻¹⁴ | 3.6 10 ⁻¹⁴ | 3.6 10 ⁻¹⁴ | 3.1 10 ⁻¹⁴ | 3.0 10 ⁻¹⁴ | 1.7 10 ⁻¹⁴ | 9.3 10 ⁻¹⁵ | 8.9 10 ⁻¹⁶ |

a) Se supone para el cálculo un suelo genérico de 1.5 g cm⁻³, con una composición por peso O 0.6, Si 0.25, C 0.07, H 0.04, Al 0.03 y Fe 0.01.

b) Las dosis debidas a la contribución de los radionucleidos descendientes se incluyen con el radionucleido padre, es decir, el ⁹⁵Zr incluye ^{95m}Nb, ⁹⁵Nb; el ⁹⁹Mo incluye ^{99m}Tc, ⁹⁹Tc; el ¹⁰⁶Ru incluye ¹⁰⁶Rh; el ¹³²Te incluye ¹³²I; el ¹³¹I incluye ^{131m}Xe, ¹³¹Xe; el ¹³⁵I incluye ^{135m}Xe, ¹³⁵Xe; el ¹³⁷Cs incluye ^{137m}Ba; el ¹⁴⁰Ba incluye ¹⁴⁰La; el ¹⁴⁴Ce incluye ¹⁴⁴Pr; el ²²⁶Ra incluye ²²⁶Pb, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Po; el ²³⁵U incluye ²³¹Th.

Tabla B2 Dosis efectiva externa gamma integrada tras un depósito instantáneo de 1 Bq m⁻² sobre el terreno (HPA-RPD, 2005)

| Radionucleido | Dosis (Sv) ^a | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 0 | 6 horas | 12 horas | 1 día | 2 días | 7 días | 30 días | 1 año | 2 años | 5 años | 10 años | 50 años |
| ⁶⁰ Co | 0 | 3.4 10 ⁻¹¹ | 6.8 10 ⁻¹¹ | 1.4 10 ⁻¹⁰ | 2.7 10 ⁻¹⁰ | 9.5 10 ⁻¹⁰ | 4.0 10 ⁻⁹ | 4.4 10 ⁻⁸ | 7.8 10 ⁻⁸ | 1.5 10 ⁻⁷ | 2.0 10 ⁻⁷ | 2.3 10 ⁻⁷ |
| ⁷⁵ Se | 0 | 5.3 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹¹ | 2.1 10 ⁻¹¹ | 4.2 10 ⁻¹¹ | 1.5 10 ⁻¹⁰ | 5.8 10 ⁻¹⁰ | 3.1 10 ⁻⁹ | 4.4 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ |
| ⁹⁵ Zr ^b | 0 | 1.0 10 ⁻¹¹ | 2.1 10 ⁻¹¹ | 4.1 10 ⁻¹¹ | 8.3 10 ⁻¹¹ | 3.0 10 ⁻¹⁰ | 1.3 10 ⁻⁹ | 7.3 10 ⁻⁹ | 7.5 10 ⁻⁹ | 7.5 10 ⁻⁹ | 7.5 10 ⁻⁹ | 7.5 10 ⁻⁹ |
| ⁹⁵ Nb | 0 | 1.1 10 ⁻¹¹ | 2.1 10 ⁻¹¹ | 4.2 10 ⁻¹¹ | 8.4 10 ⁻¹¹ | 2.8 10 ⁻¹⁰ | 9.6 10 ⁻¹⁰ | 2.1 10 ⁻⁹ | 2.1 10 ⁻⁹ | 2.1 10 ⁻⁹ | 2.1 10 ⁻⁹ | 2.1 10 ⁻⁹ |
| ⁹⁹ Mo ^b | 0 | 2.0 10 ⁻¹² | 3.9 10 ⁻¹² | 7.3 10 ⁻¹² | 1.3 10 ⁻¹¹ | 2.7 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ |
| ¹⁰³ Ru ^b | 0 | 6.7 10 ⁻¹² | 1.3 10 ⁻¹¹ | 2.7 10 ⁻¹¹ | 5.3 10 ⁻¹¹ | 1.8 10 ⁻¹⁰ | 6.2 10 ⁻¹⁰ | 1.5 10 ⁻⁹ | 1.5 10 ⁻⁹ | 1.5 10 ⁻⁹ | 1.5 10 ⁻⁹ | 1.5 10 ⁻⁹ |
| ¹⁰⁶ Ru ^b | 0 | 2.9 10 ⁻¹² | 5.8 10 ⁻¹² | 1.2 10 ⁻¹¹ | 2.3 10 ⁻¹¹ | 8.0 10 ⁻¹¹ | 3.4 10 ⁻¹⁰ | 2.9 10 ⁻⁹ | 4.2 10 ⁻⁹ | 5.2 10 ⁻⁹ | 5.3 10 ⁻⁹ | 5.3 10 ⁻⁹ |
| ¹³² Te ^b | 0 | 1.9 10 ⁻¹¹ | 5.0 10 ⁻¹¹ | 1.1 10 ⁻¹⁰ | 2.1 10 ⁻¹⁰ | 5.0 10 ⁻¹⁰ | 6.5 10 ⁻¹⁰ | 6. 10 ⁻¹⁰ | 6.5 10 ⁻¹⁰ | 6.5 10 ⁻¹⁰ | 6.5 10 ⁻¹⁰ | 6.5 10 ⁻¹⁰ |
| ¹³¹ I ^b | 0 | 5.3 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹¹ | 2.1 10 ⁻¹¹ | 3.9 10 ⁻¹¹ | 1.1 10 ⁻¹⁰ | 2.3 10 ⁻¹⁰ | 2.5 10 ⁻¹⁰ | 2.5 10 ⁻¹⁰ | 2.5 10 ⁻¹⁰ | 2.5 10 ⁻¹⁰ | 2.5 10 ⁻¹⁰ |
| ¹³⁴ Cs | 0 | 2.2 10 ⁻¹¹ | 4.3 10 ⁻¹¹ | 8.7 10 ⁻¹¹ | 1.7 10 ⁻¹⁰ | 6.1 10 ⁻¹⁰ | 2.6 10 ⁻⁹ | 2.6 10 ⁻⁸ | 4.2 10 ⁻⁸ | 6.4 10 ⁻⁸ | 7.1 10 ⁻⁸ | 7.2 10 ⁻⁸ |
| ¹³⁶ Cs | 0 | 2.9 10 ⁻¹¹ | 5.9 10 ⁻¹¹ | 1.2 10 ⁻¹⁰ | 2.3 10 ⁻¹⁰ | 7.0 10 ⁻¹⁰ | 1.8 10 ⁻⁹ | 2.2 10 ⁻⁹ | 2.2 10 ⁻⁹ | 2.2 10 ⁻⁹ | 2.2 10 ⁻⁹ | 2.2 10 ⁻⁹ |
| ¹³⁷ Cs ^b | 0 | 8.4 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹¹ | 3.3 10 ⁻¹¹ | 6.7 10 ⁻¹¹ | 2.3 10 ⁻¹⁰ | 9.9 10 ⁻¹⁰ | 1.1 10 ⁻⁸ | 2.1 10 ⁻⁸ | 4.5 10 ⁻⁸ | 7.1 10 ⁻⁸ | 1.3 10 ⁻⁷ |
| ¹⁴⁰ Ba ^b | 0 | 4.1 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹¹ | 3.2 10 ⁻¹¹ | 9.5 10 ⁻¹¹ | 5.6 10 ⁻¹⁰ | 1.9 10 ⁻⁹ | 2.5 10 ⁻⁹ | 2.5 10 ⁻⁹ | 2.5 10 ⁻⁹ | 2.5 10 ⁻⁹ | 2.5 10 ⁻⁹ |
| ¹⁴⁴ Ce ^b | 0 | 6.5 10 ⁻¹³ | 1.3 10 ⁻¹² | 2.6 10 ⁻¹² | 5.2 10 ⁻¹² | 1.8 10 ⁻¹¹ | 7.5 10 ⁻¹¹ | 6.0 10 ⁻¹⁰ | 8.1 10 ⁻¹⁰ | 9.2 10 ⁻¹⁰ | 9.3 10 ⁻¹⁰ | 9.3 10 ⁻¹⁰ |
| ¹⁶⁹ Yb | 0 | 3.6 10 ⁻¹² | 7.2 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹¹ | 2.8 10 ⁻¹¹ | 9.4 10 ⁻¹¹ | 3.2 10 ⁻¹⁰ | 6.6 10 ⁻¹⁰ | 6.6 10 ⁻¹⁰ | 6.6 10 ⁻¹⁰ | 6.6 10 ⁻¹⁰ | 6.6 10 ⁻¹⁰ |
| ¹⁹² Ir | 0 | 1.2 10 ⁻¹¹ | 2.3 10 ⁻¹¹ | 4.6 10 ⁻¹¹ | 9.2 10 ⁻¹¹ | 3.1 10 ⁻¹⁰ | 1.2 10 ⁻⁹ | 4.6 10 ⁻⁹ | 4.8 10 ⁻⁹ | 4.8 10 ⁻⁹ | 4.8 10 ⁻⁹ | 4.8 10 ⁻⁹ |
| ²²⁶ Ra ^b | 0 | 5.1 10 ⁻¹³ | 2.0 10 ⁻¹² | 7.8 10 ⁻¹² | 3.0 10 ⁻¹¹ | 2.8 10 ⁻¹⁰ | 2.3 10 ⁻⁹ | 3.2 10 ⁻⁸ | 6.1 10 ⁻⁸ | 1.3 10 ⁻⁷ | 2.2 10 ⁻⁷ | 5.4 10 ⁻⁷ |
| ²³⁵ U ^b | 0 | 2.1 10 ⁻¹² | 4.1 10 ⁻¹² | 8.3 10 ⁻¹² | 1.7 10 ⁻¹¹ | 6.0 10 ⁻¹¹ | 2.6 10 ⁻¹⁰ | 3.0 10 ⁻⁹ | 5.6 10 ⁻⁹ | 1.2 10 ⁻⁸ | 1.9 10 ⁻⁸ | 4.1 10 ⁻⁸ |
| ²³⁸ Pu | 0 | 1.3 10 ⁻¹⁵ | 2.6 10 ⁻¹⁵ | 5.1 10 ⁻¹⁵ | 1.0 10 ⁻¹⁴ | 3.6 10 ⁻¹⁴ | 1.5 10 ⁻¹³ | 1.7 10 ⁻¹² | 3.0 10 ⁻¹² | 5.5 10 ⁻¹² | 7.3 10 ⁻¹² | 8.8 10 ⁻¹² |
| ²³⁹ Pu | 0 | 1.1 10 ⁻¹⁵ | 2.1 10 ⁻¹⁵ | 4.2 10 ⁻¹⁵ | 8.4 10 ⁻¹⁵ | 2.9 10 ⁻¹⁴ | 1.3 10 ⁻¹³ | 1.4 10 ⁻¹² | 2.6 10 ⁻¹² | 5.2 10 ⁻¹² | 7.8 10 ⁻¹² | 1.4 10 ⁻¹¹ |
| ²⁴¹ Am | 0 | 2.2 10 ⁻¹³ | 4.4 10 ⁻¹³ | 8.8 10 ⁻¹³ | 1.8 10 ⁻¹² | 6.1 10 ⁻¹² | 2.6 10 ⁻¹¹ | 2.9 10 ⁻¹⁰ | 5.4 10 ⁻¹⁰ | 1.1 10 ⁻⁹ | 1.6 10 ⁻⁹ | 2.7 10 ⁻⁹ |

a) Se supone para el cálculo un suelo genérico de 1.5 g cm⁻³, con una composición por peso O 0.6, Si 0.25, C 0.07, H 0.04, Al 0.03 y Fe 0.01.

b) Las dosis debidas a la contribución de los radionucleidos descendientes se incluyen con el radionucleido padre, es decir, el ⁹⁵Zr incluye ^{95m}Nb, ⁹⁵Nb; el ⁹⁹Mo incluye ^{99m}Tc, ⁹⁹Tc; el ¹⁰³Ru incluye ^{103m}Rh; el ¹⁰⁶Ru incluye ¹⁰⁶Rh; el ¹³²Te incluye ¹³²I; el ¹³¹I incluye ^{131m}Xe; el ¹³⁵I incluye ^{135m}Xe, ¹³⁵Xe; el ¹³⁷Cs incluye ^{137m}Ba; el ¹⁴⁰Ba incluye ¹⁴⁰La; el ¹⁴⁴Ce incluye ¹⁴⁴Pr; el ²²⁶Ra incluye ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Bi, ²¹⁰Po; el ²³⁵U incluye ²³¹Th.

B2 FACTORES DE LOCALIZACIÓN Y OCUPACIÓN PARA ESTIMAR LAS DOSIS A LAS PERSONAS EN EL INTERIOR DEBIDAS AL DEPÓSITO EN EL EXTERIOR

La gente normalmente tiende a permanecer en el interior entre el 80 % y el 95 % del tiempo (Jenkins et al, 1992; Andersson, 1996; Long et al, 2001; Kousa et al, 2002). Durante este tiempo, las personas están blindadas frente a la radiación debida a la contaminación exterior. El grado de este blindaje depende de las características de los edificios específicos. Por eso, los valores que se recogen en la [Tabla B1](#) y en la [Tabla B2](#) tienen que ser modificados utilizando un factor de localización, que tiene en cuenta el blindaje proporcionado por el edificio en cuestión.

La [Tabla B3](#) muestra los factores de localización típicos para áreas con edificios de diferentes características, que van desde finas paredes de madera hasta muros gruesos de ladrillo y hormigón (Andersson, 2005). Los factores de localización se dan para el ^{137}Cs (representativo de un emisor gamma de media-alta energía) poco después del depósito. Estos factores de localización se pueden utilizar como valores por defecto para todos los radionucleidos considerados en el Manual. Debería señalarse que, sin embargo, el blindaje ofrecido por edificios con una protección media y alta podría ser cerca de dos veces mayor para radionucleidos emisores gamma con energías en torno a 300 keV comparado con aquellos con energías en torno a los 3 MeV (Meckbach et al, 1988b). El factor de localización cambia con el tiempo, debido a que los procesos de eliminación natural y migración de la contaminación son distintos de unas superficies a otras. Sin embargo, para áreas con superficies de terreno no pavimentado relativamente grandes, como un jardín, los cambios en los factores de localización a lo largo de un periodo de 10 años se espera que sean limitados (dentro de un 50 %) y pueden ser ignorados para los propósitos de estimación de dosis. Para centros urbanos con poco o ningún terreno no pavimentado, las dosis a largo plazo estimadas utilizando los factores de localización invariables en el tiempo de la [Tabla B3](#) es probable que sean conservadoras. La presencia de contaminantes aéreos dentro de los edificios lleva al depósito sobre las superficies interiores de los mismos. Estos depósitos darán lugar a una contribución a la dosis de las personas que permanezcan dentro de los edificios. Los factores de localización dados en la [Tabla B3](#) tienen en cuenta que parte de la dosis recibida procede de la contaminación que se depositó en el interior y que esta parte de la dosis no resulta sustancialmente afectada por el blindaje proporcionado por las paredes del edificio.

Tabla B3 Factores de localización para el ^{137}Cs (662 keV) en edificios con diferentes propiedades de blindaje

| Tipo de área | Estimación del factor de localización |
|--|---------------------------------------|
| Edificio que proporciona un blindaje bajo | 0.62 |
| Edificio que proporciona un blindaje medio | 0.14 |
| Edificio que proporciona un blindaje alto | 0.03 |

Utilizando los valores dados en la [Tabla B2](#) y la [Tabla B3](#), se puede hacer una simple estimación de la dosis externa gamma debida al material depositado en el exterior utilizando la fórmula:

$$D_{\text{ext., gamma}} = Dep \times Ext_{\text{exterior}} (F_{\text{exterior}} + LF \times F_{\text{interior}})$$

donde $D_{\text{ext., gamma}}$ es la dosis externa gamma (Sv), Dep es el depósito sobre el terreno (Bq m^{-2}), Ext_{exterior} es la dosis externa gamma en el exterior por unidad de depósito ($\text{Sv m}^2 \text{ Bq}^{-1}$), F_{exterior} y F_{interior} son las fracciones de tiempo que pasan los individuos en el interior y en el exterior respectivamente, y LF es el factor de localización.

B3 DOSIS EXTERNAS BETA DEBIDAS A LA CONTAMINACIÓN SOBRE SUPERFICIES EXTERIORES O INTERIORES

Las partículas beta tienen un corto alcance en cualquier material, incluido el aire. Por lo tanto, la radiación beta debida a las superficies contaminadas del entorno solo es probable que sea importante si la distancia entre la persona expuesta y la fuente es de unos pocos metros como máximo, si la energía de las partículas beta emitidas es elevada y si virtualmente no hay material de blindaje entre la persona y la fuente: incluso la ropa fina de algodón protege bien contra la mayoría de los tipos de radiación beta (ICRU, 1997). Una estimación muy conservadora de la tasa de dosis a la piel debida a las partículas beta de alta energía emitidas por una contaminación uniforme de ^{90}Sr sobre una superficie de terreno, sería del orden de $4 \cdot 10^{-11} \text{ Sv h}^{-1}$ por $\text{Bq}^{-1} \text{ m}^2$ (Eckerman and Ryman, 1993). La dosis efectiva sería normalmente en torno a 2 órdenes de magnitud inferior ($4 \cdot 10^{-13} \text{ Sv h}^{-1}$ por $\text{Bq}^{-1} \text{ m}^2$). Las dosis debidas a exposiciones externas a radiación beta es probable que sean de poca importancia, en particular si también hay presentes radionucleidos emisores de rayos gamma. Las estimaciones dadas anteriormente están basadas en la contaminación situada sobre la superficie del terreno. El efecto de blindaje del suelo es tan grande que la tasa de dosis a la piel sería cerca de 3 órdenes de magnitud inferior si la contaminación estuviera 1 cm bajo la superficie, como sería de esperar poco después de una contaminación aérea, en particular si se produce con lluvia. La contaminación sobre superficies impermeables, como campos de juego asfaltados, puede sin embargo dar lugar a dosis debidas a exposición externa a radiación beta a lo largo de periodos de tiempo más largos, ya que la contaminación no penetra en la superficie y la meteorización natural es relativamente menor. Sin embargo, la mayoría de la contaminación sobre estos tipos de superficies asfaltadas se ha ido normalmente antes de un año (Andersson, 2005).

La migración de contaminantes hacia el interior de las superficies interiores es probable que sea menos significativa que en el caso de las superficies exteriores. Las personas pueden estar en estrecho contacto con la radiactividad cuando están sentadas o tumbadas sobre superficies contaminadas. En estos casos, las dosis debidas a la radiación beta pueden ser comparables con aquellas debidas a la misma actividad depositada sobre la piel/la ropa sobre el cuerpo. Puesto que hasta el tejido fino ofrece alguna protección frente a la radiación beta, las situaciones más críticas serían aquellas en las que la piel desprotegida entra en contacto directo con una superficie contaminada; por ejemplo si una funda de almohada está contaminada, la cara puede estar en contacto directo con la superficie durante un número de horas. Si el lavado a máquina convencional de las fundas de almohada es eficaz en la eliminación de los contaminantes, es probable que estas dosis queden limitadas a un corto periodo de

tiempo después de que la contaminación haya tenido lugar (Andersson et al, 2002). Sin embargo, basándose en los conocimientos actuales, no se puede descartar que la ropa de cama y el uso frecuente de sillas o sofás, si están contaminados, puedan conllevar dosis significativas debidas a la exposición externa a la radiación beta o a la exposición interna por la inhalación de material resuspendido.

B4 DOSIS DEBIDAS A LA INHALACIÓN DE CONTAMINANTES RESUSPENDIDOS

La resuspensión de partículas contaminadas puede dar lugar a dosis adicionales por inhalación después de que se haya producido el depósito. No obstante, las dosis debidas a la inhalación de material resuspendido serían en muchos casos muy bajas comparadas con las dosis debidas a la exposición externa a las partículas beta y a los rayos gamma, y también menores que las recibidas durante el paso de la pluma contaminante inicial (Andersson et al, 2004). Sin embargo, para radionucleidos que son solo emisores alfa, o predominantemente emisores alfa, esta podría ser la única ruta significativa de exposición durante la fase de recuperación. Las dosis debidas a la inhalación de contaminantes resuspendidos dependen en gran medida de los procesos que llevan a la resuspensión y están influidas por factores como las concentraciones de polvo sobre las superficies, los tamaños de las partículas de polvo, perturbaciones mecánicas (por ejemplo, tráfico intenso) y condiciones meteorológicas. Se han elaborado informes que indican que los factores de resuspensión (ratios entre la concentración de aerosol en el aire a una altura de referencia sobre una superficie y la carga de partículas de aerosol por unidad de superficie) varían muchos órdenes de magnitud para las partículas depositadas en áreas habitadas (Sehmel, 1980). Debido a la complejidad de los cálculos necesarios, las dosis por inhalación debidas a la resuspensión deberían ser evaluadas por expertos, teniendo en cuenta los factores relevantes en base a un emplazamiento específico. Se han hecho estimaciones indicativas de las dosis por inhalación en el exterior debidas a la resuspensión (Walsh, 2002), las cuales se recogen en la [Tabla B4](#). Las dosis se dan por unidad de actividad depositada sobre el terreno; se calcularon suponiendo una absorción por parte del pulmón tipo S (ICRP, 1995) y una tasa de inhalación de $2.3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Se recomienda que los valores sean utilizados con precaución y solo donde no haya disponibles modelos más exactos.

Andersson et al (2004) demostraron que incluso las actividades físicas más vigorosas dan lugar solamente a bajos niveles de contaminantes resuspendidos en el interior. La redistribución resultante de los contaminantes sobre las distintas superficies del interior no contribuye de manera significativa a la dosis debida a exposición externa. Algunas técnicas de limpieza como la aspiración con máquinas con filtros de polvo de baja calidad y el sacudido de cojines y otros tejidos, pueden dar lugar a niveles mayores de contaminantes resuspendidos en el interior y a cierta redistribución de la contaminación dentro de los edificios.

Tabla B4 Dosis efectiva comprometida en adultos debida a la inhalación de material contaminado resuspendido del terreno (Sv m² Bq⁻¹)

| Radionucleido | Periodo de inhalación tras el depósito | | | | | | | |
|-------------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1 día | 3 días | 1 semana | 1 mes | 6 meses | 1 año | 4 años | 10 años |
| ¹⁰⁶ Ru | 1.6 10 ⁻¹² | 3.3 10 ⁻¹² | 4.6 10 ⁻¹² | 6.9 10 ⁻¹² | 9.3 10 ⁻¹² | 9.9 10 ⁻¹² | 1.1 10 ⁻¹¹ | 1.1 10 ⁻¹¹ |
| ¹⁰³ Ru | 7.2 10 ⁻¹⁴ | 1.5 10 ⁻¹³ | 2.0 10 ⁻¹³ | 2.8 10 ⁻¹³ | 3.2 10 ⁻¹³ | 3.2 10 ⁻¹³ | 3.2 10 ⁻¹³ | 3.2 10 ⁻¹³ |
| ¹³⁷ Cs | 9.3 10 ⁻¹³ | 2.0 10 ⁻¹² | 2.7 10 ⁻¹² | 4.1 10 ⁻¹² | 5.8 10 ⁻¹² | 6.4 10 ⁻¹² | 7.6 10 ⁻¹² | 8.4 10 ⁻¹² |
| ²²⁶ Ra | 2.3 10 ⁻¹⁰ | 4.8 10 ⁻¹⁰ | 6.7 10 ⁻¹⁰ | 1.0 10 ⁻⁹ | 1.4 10 ⁻⁹ | 1.6 10 ⁻⁹ | 1.9 10 ⁻⁹ | 2.1 10 ⁻⁹ |
| ²³⁵ U | 2.0 10 ⁻¹⁰ | 4.3 10 ⁻¹⁰ | 6.0 10 ⁻¹⁰ | 9.0 10 ⁻¹⁰ | 1.3 10 ⁻⁹ | 1.4 10 ⁻⁹ | 1.7 10 ⁻⁹ | 1.9 10 ⁻⁹ |
| ²³⁸ Pu | 3.8 10 ⁻¹⁰ | 8.0 10 ⁻¹⁰ | 1.1 10 ⁻⁹ | 1.7 10 ⁻⁹ | 2.4 10 ⁻⁹ | 2.6 10 ⁻⁹ | 3.2 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ |
| ²³⁹ Pu | 3.8 10 ⁻¹⁰ | 8.0 10 ⁻¹⁰ | 1.1 10 ⁻⁹ | 1.7 10 ⁻⁹ | 2.4 10 ⁻⁹ | 2.6 10 ⁻⁹ | 3.2 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ |
| ²⁴¹ Am | 3.8 10 ⁻¹⁰ | 8.0 10 ⁻¹⁰ | 1.1 10 ⁻⁹ | 1.7 10 ⁻⁹ | 2.4 10 ⁻⁹ | 2.6 10 ⁻⁹ | 3.2 10 ⁻⁹ | 3.5 10 ⁻⁹ |

B5 OTRAS VÍAS DE EXPOSICIÓN POTENCIALES

B5.1 Dosis debidas a Bremsstrahlung

Toda la contaminación beta sobre una superficie da lugar a pequeñas cantidades de radiación de frenado o Bremsstrahlung. Las emisiones de Bremsstrahlung son fotones producidos por partículas beta que interaccionan con la materia circundante, los cuales son más penetrantes en el cuerpo que las partículas beta. Estos también contribuyen a la dosis efectiva. La dosis debida a la radiación de frenado o Bremsstrahlung procedente de material contaminado sobre una superficie es normalmente pequeña comparada con la dosis efectiva debida a las emisiones beta. Sin embargo, para niveles muy altos de contaminación beta, puede que sea necesario incluir las dosis debidas a Bremsstrahlung en las dosis estimadas durante la planificación de una estrategia de recuperación.

Si la radiación beta es frenada por un material de blindaje, todavía se genera radiación de frenado o Bremsstrahlung. El material de blindaje utilizado sobre la contaminación beta aumenta la intensidad de la radiación Bremsstrahlung, y este incremento es dependiente del material de blindaje utilizado. El incremento en la dosis por Bremsstrahlung para los materiales que es probable que se utilicen como blindaje en áreas habitadas, como asfalto y suelo, es pequeño comparado con la dosis debida a la radiación beta. Si se utiliza plomo como material de blindaje para áreas pequeñas de contaminación en situaciones especiales, se crea más radiación Bremsstrahlung, y por ello debería llevarse a cabo una evaluación de las dosis debidas a ella que podrían esperarse, en particular para emisores beta de alta energía como el ⁹⁰Sr y su radionucleido hijo el ⁹⁰Y.

Si hay presencia tanto de emisores beta como de emisores gamma, cualquier incremento en la dosis debida a Bremsstrahlung es probable que sea pequeña en comparación con la dosis debida a la exposición externa a los emisores gamma. En este caso, la radiación Bremsstrahlung solo supone un problema si la radiación beta es detenida por un blindaje. Sin embargo, no se espera que sea una cuestión preocupante, puesto que es muy improbable que se utilice un blindaje frente a emisores gamma.

B5.2 Dosis debidas a “partículas calientes”

Las “partículas calientes” son partículas pequeñas altamente radiactivas que pueden depositarse en el entorno si se produce una explosión, por ejemplo, debida a un Dispositivo de Dispersión Radiológica (DDR), también llamado “bomba sucia”. Estas partículas es probable que sean demasiado grandes como para causar alguna exposición importante vía inhalación, aunque es posible que se puedan depositar en la nariz. Las vías de exposición más importantes para las partículas calientes son, en general, la ingestión y la contaminación de la piel. La contaminación de la piel puede dar lugar a dosis locales muy elevadas sobre la piel, debidas a emisores tanto beta como gamma. Las partículas calientes de pequeño tamaño producen dosis agudas no distribuidas espacialmente de manera uniforme sobre pequeñas áreas de la piel, y pueden producir eritema, ulceración y, en la mayoría de los casos severos, descamación húmeda (NRPB, 1996, Wilkins et al, 1998). Delacroix et al. (2002) indican que se pueden esperar tasas de dosis de hasta 4 mSv h^{-1} per kBq cm^{-2} sobre la piel para emisores de alta energía en el caso de contaminación uniforme sobre la piel, y de 2 mSv h^{-1} para una gota de 1 kBq sobre la misma.

La ingestión de partículas calientes puede dar lugar a efectos deterministas en el intestino grueso inferior. El paso de un fragmento de combustible a través del tracto gastrointestinal (GI) será diferente al de los radionucleidos normales ingeridos como fracción disuelta en los alimentos. Los fragmentos pueden alojarse en las distintas partes del tracto GI y, como consecuencia, puede aumentar el tiempo de residencia normal en determinados órganos. Charles and Harrison (2007) aportan información adicional sobre los efectos deterministas.

B6 IMPORTANCIA RELATIVA DE DIFERENTES SUPERFICIES EN LA CONTRIBUCIÓN A LAS DOSIS EXTERNAS

Muchas superficies exteriores en un área habitada quedarán contaminadas tras el depósito de contaminantes aéreos. La distribución de los contaminantes sobre las distintas superficies depende de si el depósito se ha producido con tiempo seco o mientras llovía. El accidente de Chernobyl mostró que el depósito de pequeñas partículas de condensación en el rango de $1 \mu\text{m}$, portando Cesio radiactivo, siguió por lo general dos patrones característicos, dependiendo de si el tiempo era seco o si el depósito se produjo con lluvia. La [Tabla B5](#) muestra los niveles de contaminación esperados sobre diferentes superficies de estas partículas, poco después del accidente, relativos a una superficie con césped y suelo subyacente (césped cortado) tanto para depósito seco como húmedo (Roed, 1990). Se podrían esperar valores diferentes para otros tamaños de partícula, como los originados por otros tipos de emergencias radiológicas. Debería señalarse que los ratios dados en la [Tabla B5](#) se aplican para el depósito desde una pluma que se dispersa desde una fuente claramente fuera del área habitada a estudiar. Los valores para árboles/arbustos son por unidad de área cubierta por la vegetación. El depósito relativo para árboles/arbustos con hojas es particularmente alto para condiciones de depósito seco, ya que las hojas filtran la contaminación muy eficazmente. La utilización de estos valores solo se recomienda para obtener una estimación aproximada de los niveles de contaminación sobre diferentes superficies en situaciones en las que las medidas reales sobre dichas

superficies no están disponibles. El depósito relativo real sobre las superficies desde una fuente que se encuentra dentro del área habitada depende de una serie de factores, como el tipo y el tamaño de las partículas y la distancia al punto de la liberación.

Tabla B5 Niveles de contaminación típicos para partículas de 1 µm medidos sobre diferentes superficies tras el accidente de Chernobyl

| Superficies | Depósito relativo seco | Depósito relativo húmedo |
|--------------------|------------------------|--------------------------|
| Paredes | 0.1 | 0.01 |
| Tejados | 1.0 | 0.4 |
| Césped (corto) | 1.0 | 1.0 |
| Carreteras | 0.4 | 0.5 |
| Árboles y arbustos | 3.0 | 0.1 |

Después del depósito, la contaminación sobre las carreteras, las fachadas y las cubiertas de las casas, será reducida por el viento y el tiempo atmosférico (Roed, 1990). El accidente de Chernobyl proporcionó mucha información sobre la eliminación natural del Cesio radiactivo sobre estas superficies. Puesto que el Cesio se puede enlazar de manera particularmente fuerte a la superficie de la mayoría de los materiales de construcción comunes, la utilización de esta información para describir el comportamiento de otros radionucleidos llevará a estimaciones de dosis conservadoras.

B7 REFERENCIAS

- Andersson KG and Roed J (2005). Estimation of doses received in a dry-contaminated residential area in the Bryansk Region, Russia, since the Chernobyl accident. *J. Environmental Radioactivity*, 85 (2-3), 228-240.
- Andersson KG (1996). Evaluation of Early Phase Nuclear Accident Clean-up Procedures for Nordic Residential Areas. NKS Report NKS/EKO-5(96)18, ISBN 87-550-2250-2.
- Andersson KG, Fogh CL, Byrne MA, Roed J, Goddard AJH and Hotchkiss SAM (2002). Radiation dose implications of airborne contaminant deposition to humans. *Health Physics* 82(2), 226-232.
- Andersson KG, Roed J, Byrne MA, Hession H, Clark P, Elahi E, Byskov A, Hou XL, Prip H, Olsen SK and Roed T (2004). Airborne contamination in the indoor environment and its implications for dose. Risø-R-1462(EN), ISBN 87-550-3317-2.
- Brown J and Jones JA (1993). Location factors for modification of external doses. *Radiological Protection Bulletin*, 144, Chilton.
- Charles M and Harrison JD (2007). Hot particle dosimetry and radiobiology – past and present. *Journal of Radiological Protection* 27 A97-A109
- Delacroix D, Guerre JP, Leblanc P and Hickman C (2002). Radionuclide and radiation protection data handbook 2002. *Rad Prot Dosim*, 98 (1), 1-168.
- HPA-RPD (2005). UK Recovery Handbook for Radiation Incidents. HPA-RPD-002, HPA, Chilton.
- ICRP (1995). Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 4 Inhalation dose coefficients. Publication 71. *Annals of the ICRP*, 25 (3-4)
- ICRP (1996). Age-dependent doses to members of the public from intake of radionuclides: Part 5 Compilation of ingestion and inhalation coefficients. Publication 72. *Annals of the ICRP*, 26 (1)
- Jenkins PL, Phillips TJ, Mulberg EJ and Hui SP (1992). Activity patterns of Californians: Use of and proximity to indoor pollutant sources. *Atmospheric Environment*, 26A (12), 2141-2148.

- Jones A, Charnock T, Singer L, Roed J, Andersson K, Thykier Nielsen S, Mikkelsen T, Astrup P, Kaiser J, Müller H, Pröhl G, Raskob W, Hoe S, Jacobsen LH, Schou-Jensen L, Gering F (2009). Description of the Modelling of Transfer and Dose Calculations within ERMIN. EURANOS(CAT2)-TN(05)-04
- Kousa A, Kukkonen J, Karppinen A, Aarnio P and Koskentalo T (2002). A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area. *Atmospheric Environment*, 36, 2109-2119.
- Long CM, Suh HH, Catalano PJ and Koutrakis P (2001). Using time- and size-resolved particulate data to quantify indoor penetration and deposition behaviour. *Environ. Sci. Technol.*, 35 (10), 2089-2099.
- Meckbach R, Jacob P and Paretzke HG (1988a). Gamma exposures due to radionuclides deposited in urban environments. Part II: Location factors for different deposition patterns. *Radiation Protection Dosimetry*, 25(3), 181-190.
- Meckbach R, Jacob P and Paretzke HG (1988b). Gamma exposures due to radionuclides deposited in urban environments. Part I: Kerma rates from contaminated urban surfaces. *Radiation Protection Dosimetry*, 25(3), 167-179.
- NRPB (1996). Risk from deterministic effects of ionising radiation. *Doc NRPB*, 7 (3), 1-31, NRPB, Chilton.
- Roed J (1990). Deposition and removal of radioactive substances in an urban area. Nordic Liaison Committee for Atomic Energy, NORD 1990:111, ISBN 87 7303 514 9.
- Sehmel GA (1980). Particle resuspension: A review. *Environ. Int.*, 4, 107-127.
- Walsh C (2002). Calculation of resuspension doses for emergency response. NRPB-W1. NRPB, Chilton.
- Wilkins BT, Fry FA, Burgess PH, Fayers CA, Haywood SM, Bexon AP and Tournette C (1998). Radiological implications of the presence of fragments of irradiated fuel in the sub-tidal zone at Dounreay. Chilton, NRPB-M1005.

APÉNDICE C

Gestión de residuos contaminados procedentes de la limpieza

C1 PROCESOS PARA TRATAR O MINIMIZAR EL VOLUMEN DE RESIDUOS CONTAMINADOS

La gestión de residuos contaminados puede incluir una serie de procesos de tratamiento antes del almacenamiento o eliminación finales de los mismos. Además, si, por ejemplo, la tasa de dosis está dominada por las contribuciones de radionucleidos de vida corta, o si el residuo requiere el uso de varios procesos de tratamiento antes de la eliminación final, podría ser beneficioso almacenarlo en un repositorio durante cierto periodo de tiempo.

C1.1 Filtración de partículas sólidas para extraerlas del agua residual

Cierto número de opciones de gestión implican el uso de agua para lavar las partículas de otros materiales (por ejemplo, algas y musgo, materiales de cubierta). Estas partículas normalmente retienen bien la contaminación (en particular el Cesio) y se pueden recoger con el agua de lavado. La simple filtración a través de una fibra de polímero, de reducido coste, con un tamaño de poro de 0.14 mm ha demostrado ser muy eficaz para aislar las partículas sólidas, las cuales contenían virtualmente toda la contaminación por Cesio del agua en áreas contaminadas por el accidente de Chernobyl (Fogh et al, 1999). El agua podría ser posteriormente eliminada de manera segura a través del alcantarillado o, incluso, reutilizada sobre el tejado.

C1.2 Tratamientos para los contaminantes presentes en el residuo líquido

Algunas opciones de gestión implican el uso de soluciones de detergente. Algunos de estos detergentes serán diluidos y no agresivos, mientras que otros pueden ser muy ácidos o alcalinos. La acidez de la solución determina en gran medida el grado de asociación de la contaminación con las partículas.

Puede haber varios métodos aplicables para eliminar los iones contaminantes de la solución residual, si es que es necesario previamente a su eliminación. Uno de los métodos más simples es concentrar la contaminación en un residuo sólido mediante evaporación. Esta técnica requiere grandes cantidades de energía ($> 1000 \text{ kWh m}^{-3}$) (Turner et al, 1994) y puede no ser fácil de manejar en el caso de soluciones fuertes y reactivas. Además, la presencia de contaminantes volátiles, como el Rutenio, sería problemática.

Un método alternativo consiste en precipitar los contaminantes añadiendo un agente floculante y ajustando el pH de la solución a la neutralidad. Sin embargo, el proceso de neutralización conllevaría la generación de grandes cantidades de precipitado (IAEA, 1993). El típico efecto descontaminante de sedimentación gravitatoria por neutralización, también se ha comprobado que es limitado (con un FD máximo de aproximadamente 10) (Turner et al, 1994). Tanto para la evaporación como para la

precipitación serían necesarias instalaciones de manipulación especializadas y de gran tamaño.

Un método adicional, potencialmente atractivo, es eliminar los contaminantes de la solución mediante intercambio iónico (IX). Esta ha demostrado ser una técnica muy eficiente. Además, el tamaño necesario de la instalación de manipulación sería mucho menor que el de una planta de evaporación o de sedimentación por gravedad (Turner et al, 1994).

Para el tratamiento de cantidades relativamente grandes de líquido contaminado, pueden ser muy interesantes filtros de membrana basados en el principio de la ósmosis inversa. Los filtros de membrana han demostrado ser altamente eficientes en la reducción de concentraciones de radionucleidos en los residuos líquidos (FD de varios cientos por ciclo) (Zakrzewska-Trznadel et al, 2001).

Los residuos líquidos radiactivos podrían ser diluidos para dar concentraciones de actividad lo suficientemente bajas en dichos residuos, de manera que puedan ser eliminados como residuos ordinarios. Se han desarrollado sistemas de mezclado para certificar la homogeneidad de las soluciones de líquido radiactivo con este propósito (Ogata and Nishizawa, 1999). Sin embargo, la dilución debe ser suficientemente eficaz con respecto a la toxicidad, la acidez y el contenido de radionucleidos.

C1.3 Estabilización de residuos sólidos para evitar la migración de contaminantes

Algunos tipos de residuos sólidos recogidos como resultado de la implementación de una opción de gestión (por ejemplo, polvo de la calle, cenizas de la combustión de biomasa contaminada) pueden contener concentraciones de radionucleidos particularmente elevadas. Al construir repositorios terrestres para los residuos sólidos fuertemente contaminados, puede ser apropiado introducir medidas especiales para prevenir la migración de contaminantes hacia las aguas subterráneas. Los revestimientos de plástico gruesos u otras membranas alrededor del material contaminado, normalmente proporcionarán una buena protección junto con las barreras de arcilla y las capas drenantes de grava, siendo recomendables para cualquier repositorio terrestre destinado a residuos sólidos.

Se podría considerar la cementación para estabilizar los residuos adicionales procedentes de superficies altamente contaminadas, en particular si los contaminantes tuvieran una elevada movilidad ambiental. Por ejemplo, las cenizas volantes resultantes de la combustión constituirían un ingrediente “natural” en una mezcla de cemento. Sin embargo, los procesos de cementación convencionales no son posibles para todos los materiales, debido a que la presencia de algunos de ellos (por ejemplo, los húmedos) retarda o imposibilita la solidificación.

C2 OPCIONES DE GESTIÓN PARA RESIDUOS SÓLIDOS RESULTANTES DE LA LIMPIEZA

Los esquemas de eliminación para los residuos contaminados sólidos deben seleccionarse con cuidado. Para hacer frente a una emergencia radiológica, es

necesario identificar las opciones de gestión de residuos, incluyendo la construcción de repositorios e instalaciones de almacenamiento, de manera bastante rápida. Por eso deberían estar planificadas dichas opciones de gestión, y disponibles los materiales, vehículos de transporte, trabajadores cualificados, infraestructuras, etc. necesarios para la correcta gestión. Si son necesarias opciones de eliminación permanente, no es realista pensar que se pudieran construir instalaciones de ingeniería en los plazos necesarios. Por ello, son importantes también las opciones de almacenamiento temporal o indefinido para los residuos. En la [Tabla C1](#) se recoge una lista de comprobación para el establecimiento de una instalación para el almacenamiento temporal.

Tabla C1 Lista de comprobación para un almacenamiento temporal

| Problema potencial | Considerar |
|--|--|
| Infiltración de agua | Necesidad de almacenar los residuos en recipientes o contenedores estancos en el interior de un edificio. |
| Contención | ¿Necesitan los contenedores ser estables química y radiológicamente? ¿Proporcionar blindaje? ¿Ser robustos mecánicamente (frente a impactos, térmicamente)? ¿Ser transportables? |
| Lixiviación y emisiones a la atmósfera | Medios para recoger cualquier lixiviado, especialmente procedente de material orgánico. Considerar la utilización de suelos de hormigón con pendiente hacia sistemas de drenaje aislados. Necesidad de sistemas de extracción y recogida de gas y de sistemas de eliminación de calor. |
| Monitorización | Monitorización rutinaria de la instalación de almacenamiento. Monitorización de los lixiviados. Sistema-alarma de detección de fugas en caso de liberación de actividad. |
| Acondicionamiento de los residuos | ¿Es necesario acondicionar los residuos antes del almacenamiento? ¿El almacenamiento de los residuos en su forma natural comprometerá su futura eliminación, por ejemplo, en el caso de la descomposición de los restos de césped? Los residuos orgánicos no acondicionados pueden generar metano y dióxido de carbono y las reacciones en las que participan metales generarán hidrógeno. Todos estos gases podrían contener trazas de radionucleidos y dar lugar a exposiciones para los trabajadores y los miembros del público. |
| Tipo de instalación /emplazamiento de almacenamiento utilizado | Facilidad de descontaminación de la instalación de almacenamiento después de su utilización o cómo se gestionará cualquier contaminación residual. |
| Respuesta ante incidentes | Riesgos de que se rompa la integridad de la instalación de almacenamiento (por ejemplo, incendio/incidente que implique material residual radiactivo) y planificación para hacerles frente. |
| Emplazamiento de la instalación de almacenamiento | Peligros naturales que podrían afectar a la integridad de los residuos almacenados (por ejemplo, inundaciones). |
| Protección frente a la radiación | Protección de los trabajadores, monitorización personal y otro equipamiento. Requerimiento de control de acceso. |
| Seguridad | Controles necesarios para gestionar actos de vandalismo, ataques terroristas y otras amenazas. |
| Transporte | Acceso al emplazamiento, rutas de transporte, proximidad a la instalación de eliminación final y otros aspectos. |

C2.1 Opciones de gestión para residuos orgánicos

Los residuos orgánicos procedentes de un área habitada pueden incluir césped recortado o eliminado de raíz, o árboles y arbustos (restos de poda o plantas enteras) eliminados de jardines y parques. Potencialmente se pueden generar grandes cantidades de residuos orgánicos y la actividad en los mismos puede ser elevada. Además, las hojas pueden alcanzar altas concentraciones de actividad inmediatamente después del depósito seco. Es por ello por lo que la reducción de los volúmenes de residuos puede ser muy importante. También es necesario estabilizar dichos residuos debido a su naturaleza orgánica.

Dependiendo del nivel de contaminación, se pueden considerar una serie de métodos para tratar la biomasa contaminada. Por ejemplo, la degradación aerobia (compostaje) produce un material que puede ser útil para la fertilización del suelo, mientras que la degradación anaerobia produce gas que puede ser utilizado para la producción de energía. Tanto si se utiliza una instalación de compostaje existente como si se desarrolla una nueva, es necesario tener en cuenta la escorrentía de líquido radiactivo procedente del residuo compostado y su gestión. La madera procedente de árboles contaminados puede ser utilizada en la industria (por ejemplo, para hacer muebles) en particular en la etapa inicial después de un accidente, en la que la contaminación es probable que esté limitada en gran medida a la superficie exterior.

C2.2 Otras opciones de gestión de residuos

Otras dos opciones de gestión de residuos que podrían ser adecuadas en circunstancias especiales son el almacenamiento de material que retiene bien la contaminación y la aplicación sobre una carretera de nuevo asfalto caliente mezclado con residuo granulado de asfalto procedente de la superficie de dicha u otra carretera.

Un ejemplo de material que retiene la contaminación bien son las tejas de una cubierta. Las tejas son particularmente eficaces en la retención de los iones de Cesio depositados; puede llevar muchos años que la meteorización reduzca a la mitad los niveles de Cesio. Por ello, el almacenamiento de estos materiales en un área restringida solo supondrá un riesgo mínimo de que la contaminación migre hacia el interior del suelo circundante.

La dilución de asfalto contaminado procedente de la superficie de una carretera con asfalto nuevo junto con el blindaje proporcionado por el nuevo material suponen que la radiación procedente de una carretera pavimentada con esta mezcla es probable que sea menor que la debida a la misma carretera después de un cepillado. Esto se debe a que virtualmente toda la contaminación que queda después del cepillado permanecería sobre la superficie. Antes de aplicar esta técnica, debería evaluarse con cuidado si hay disponible suficiente asfalto nuevo para diluir la contaminación lo suficiente. Además, el público general puede no encontrar aceptable la aplicación de material contaminado, a pesar de su disolución.

C3 OPCIONES DE GESTIÓN PARA RESIDUOS LÍQUIDOS PROCEDENTES DE LA LIMPIEZA

La [Tabla 6.15](#) identifica algunas opciones de gestión que dan lugar a residuos líquidos que podrían estar contaminados. Antes de implementar estas opciones, debería decidirse si los residuos se van a eliminar directamente a través del sistema de alcantarillado o si se van a recoger para su almacenamiento. Cabe señalar que el almacenamiento de grandes cantidades de residuos líquidos es probable que no sea factible. Si se permite que la escorrentía contaminada entre en el sistema de alcantarillado, será necesaria una autorización. En este caso, como parte de la autorización sería necesario estimar las dosis a los trabajadores de la planta de tratamiento de aguas residuales, las dosis potenciales a los miembros del público y los niveles de otros contaminantes en el agua, como por ejemplo detergentes.

En la [Tabla C2](#) y la [Tabla C3](#), se dan los factores a considerar para la recogida de agua residual y su eliminación directa a través del sistema de alcantarillado, respectivamente.

Tabla C2 Factores a considerar para la recogida de agua residual

| Tarea | Factores a considerar |
|------------------------------|---|
| Recogida de agua residual | <p>Cómo se pueden recoger o contener el agua residual y los productos de descontaminación. ¿Es factible para edificios?</p> <p>Cómo controlar el agua residual que normalmente va directamente hacia los pozos de drenaje (por ejemplo, desde los tejados).</p> <p>Cómo y dónde se puede almacenar el agua residual recogida antes de su eliminación.</p> |
| Tratamiento de agua residual | <p>Cómo minimizar el volumen de agua residual resultante de la limpieza. Considerar la separación de la contaminación mediante el filtrado, el intercambio iónico y otros métodos. ¿Puede llevarse a cabo este tipo de tratamiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales locales? ¿Se puede añadir el tratamiento a los sistemas normales a nivel local? ¿Serían necesarias instalaciones especiales? ¿Está disponible la opción en los emplazamientos nucleares?</p> <p>¿Se puede reutilizar el agua tratada para otras opciones de limpieza que requieran agua (por ejemplo, la limpieza mediante chorro de arena)?</p> |
| Eliminación | <p>¿Hay otras opciones además de las plantas de aguas residuales? Puede valer la pena explorar si se podrían utilizar las rutas de eliminación de efluentes en un emplazamiento nuclear.</p> |

Tabla C3 Factores a considerar para la eliminación de agua residual

| Problema | Factores a considerar |
|---------------------------------------|--|
| Impacto ambiental | Control de las descargas al sistema de alcantarillado: debería evitarse la derivación de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales para casos de tormenta, ya que se perdería el control de los residuos contaminados. También es necesario controlar las dosis a los trabajadores y la gestión de los subproductos del sistema de alcantarillado. |
| Monitorización | Es necesario llevar a cabo la monitorización del agua residual para evaluar las consecuencias radiológicas y demostrar el control y el cumplimiento de las autorizaciones. |
| Dosis a los trabajadores y al público | <p>Es necesario llevar a cabo evaluaciones de los riesgos para las personas que implementen cualquier opción de limpieza en los sistemas de aguas residuales. También habría que evaluar las dosis para las personas que trabajen en las plantas de tratamiento de aguas residuales manipulando dichas aguas residuales contaminadas.</p> <p>La eliminación en los ríos puede producir dosis al público y sería necesario considerar posibles restricciones sobre el baño, la pesca, incluida la piscicultura comercial, y la extracción de agua para el consumo aguas abajo durante cierto periodo de tiempo.</p> <p>Los lodos de depuradora podrían ser retenidos durante más tiempo del habitual antes de su incineración o esparcimiento sobre el terreno, con el fin de minimizar las dosis al público.</p> |
| Aceptación | <p>La comunicación en los dos sentidos con las partes interesadas ayudará a encontrar la solución más aceptable. Incluso si se evalúa el impacto como de pequeña importancia, la percepción de una falta de control del agua residual y la contaminación deliberada de las plantas de tratamiento y del medio ambiente pueden no ser aceptables para el público.</p> <p>Puede favorecerse la dilución de la contaminación en el medio ambiente mediante la eliminación de agua residual contaminada procedente de la limpieza de áreas contaminadas a través del sistema de alcantarillado. Sin embargo, esto puede resultar muy difícil de “vender” a las partes interesadas.</p> |

C4 ALCANTARILLAS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y OPCIONES DE ELIMINACIÓN PARA LOS LODOS

Los radionucleidos en el agua residual contaminada estarán tanto disueltos como adsorbidos a sólidos en suspensión, siendo la distribución entre estas dos fases dependiente de los radionucleidos implicados. Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan normalmente una combinación de métodos físicos y biológicos para tratar el agua residual. Durante el tratamiento, los radionucleidos se reparten entre los efluentes y los lodos. Las opciones de eliminación para los lodos residuales se describen en la [Tabla C4](#). Las rutas de eliminación de efluentes posiblemente incluyan la descarga en ríos o directamente al mar.

El decaimiento radiactivo y la sorción sobre las paredes del alcantarillado durante el tránsito tiene poco efecto sobre la actividad total que entra en la planta de tratamiento. El decaimiento radiactivo durante el tratamiento de los lodos solo será significativo para radionucleidos de vida corta. Tanto en la fase sólida como en los efluentes de los residuos se encuentran radionucleidos. La eliminación de radionucleidos en los lodos depende de la química general del elemento y del compuesto químico y biológico al que los radionucleidos están asociados cuando se eliminan. La transferencia de

radionucleidos desde las aguas residuales a los lodos se produce principalmente durante la segunda fase del tratamiento. La separación de los radionucleidos debida al tratamiento de los efluentes residuales se expresa en términos de un coeficiente de eliminación, que es la fracción de radionucleido que queda en el efluente después de una fase de tratamiento. Un coeficiente de 1 implica que toda la actividad permanece en el efluente y que no se transfiere nada a los lodos. La [Tabla C5](#) recoge los coeficientes de eliminación para los radionucleidos seleccionados. Se puede encontrar información adicional en Titley et al, 2000 and Ham et al, 2003.

Tabla C4 Opciones de eliminación para efluentes y lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales

| Opción de eliminación | Descripción |
|---|---|
| Eliminación del efluente | Los efluentes líquidos tratados se vierten a los ríos o al mar. |
| Estabilización de los lodos y eliminación en vertedero | <p>La práctica de enviar los lodos directamente al vertedero está disminuyendo, con solo un 5% de todos los vertederos recibiendo dichos lodos. Esto representa menos del 1% de los residuos eliminados mediante esta ruta. Normalmente, la proporción de lodos eliminados junto con residuos municipales es inferior al 20% en peso. Además, normalmente son desecados, de manera que el contenido sólido de los lodos está entre el 15 y el 25%.</p> <p>La eliminación de radionucleidos en vertederos supone que en el corto plazo cualquier radionucleido presente será retenido por los residuos. Es por ello por lo que la mayoría de los radionucleidos decaerán en el propio vertedero.</p> |
| Incineración de lodos y eliminación de las cenizas en vertedero | <p>La incineración es una vía cada vez más común de eliminación de lodos desecados.</p> <p>Durante la incineración, los radionucleidos pueden ser liberados en el aire, desde donde se dispersan y pueden depositarse sobre el terreno; capturados en filtros de aire de escape, o retenidos en las cenizas. Las cenizas residuales que quedan pueden ser importantes (un lodo típico tiene un contenido de ceniza del 25-30% de sólidos secos). La ceniza normalmente se lleva a un vertedero y se entierra, aunque algunas compañías están investigando usos más beneficiosos para las cenizas de incineración. Los filtros de aire de escape pueden producir lodo, el cual puede ser devuelto a partes anteriores del sistema de tratamiento de aguas residuales para su gestión.</p> |
| Esparcimiento de lodos sobre el terreno | <p>La aplicación de lodos procedentes de aguas residuales sobre el terreno agrícola es el método de eliminación individual más popular (cerca del 37% del lodo en Europa se elimina mediante esta vía). Los lodos son una rica fuente de fosfatos, y los lodos digeridos anaeróbicamente tienen cantidades considerables de nitrógeno amoniacal. Los lodos se pueden aplicar tanto por esparcimiento como por inyección directa durante el arado.</p> <p>El esparcimiento sobre el terreno conlleva la incorporación de radionucleidos al medio ambiente y a los productos alimentarios. Esto puede dar lugar a la exposición de agricultores y público. La transferencia de radionucleidos a los alimentos depende de la tasa y la naturaleza de la aplicación de los lodos sobre el terreno y el posterior uso del mismo (en particular, el tipo de cultivo y el momento de la cosecha en relación al momento de la aplicación). Los lodos se esparcen sobre el terreno normalmente solo una o dos veces al año (en los periodos intermedios se almacena centralmente o en cada explotación agrícola). Por este motivo hay normalmente un periodo durante el cual los radionucleidos decaen antes de su utilización. Esto reducirá significativamente la contaminación del suelo y las dosis a los agricultores debidas a los radionucleidos de vida corta.</p> |

Tabla C5 Coeficientes de eliminación para el tratamiento secundario típico^a

| Radionucleido | Bq/m ³ en el efluente por Bq/m ³ que entra en las aguas residuales |
|-------------------|--|
| ⁶⁰ Co | 0.2 |
| ⁹⁰ Sr | 0.9 |
| ¹³¹ I | 0.8 |
| ²⁴¹ Am | 0.8 |

a) La transferencia de radionucleidos desde las aguas residuales a los lodos se produce fundamentalmente durante la fase de tratamiento secundario

C5 DOSIS DEBIDAS A LAS OPCIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS

C5.1 Dosis debidas a la gestión de basura contaminada

La [Tabla C6](#) proporciona tasas de dosis por hora a los trabajadores que gestionan la basura. Se han calculado dichas tasas de dosis para las siguientes tareas:

- manipulación y recogida de bolsas de basura y transferencia a los camiones.
- viaje en el vehículo de transporte de basura hasta la estación de transferencia de residuos.
- manipulación de los residuos en la estación de transferencia.
- manipulación de los residuos en la instalación de clasificación.
- mantenimiento de la incineradora por parte de los ingenieros.
- transporte de las cenizas de incineración hasta el vertedero.
- operaciones de eliminación en los vertederos mediante *bulldozer* o compactadora.
- operaciones de compostaje en la instalación de compostaje.

Se han estimado tasas de dosis para el ⁹⁰Sr, ¹³¹I, ¹³⁷Cs and ²³⁹Pu, basándose en los supuestos de Harvey et al, 1995, pero ignorando la autorización para llevar a cabo la mezcla con basura no contaminada. Las vías de exposición consideradas han sido la exposición externa, la inhalación de polvo resuspendido y la dosis externa en piel debida al polvo de ceniza. Las dosis debidas al contacto de la piel con material contaminado no se han estimado para los trabajadores de la gestión de basuras, ya que se asume que utilizarían guantes y una vestimenta adecuada. Las tasas de dosis dadas en la [Tabla C6](#) solo se aplican al periodo durante el cual los trabajadores están manipulando material contaminado y están normalizadas a los niveles de contaminación en los residuos que están siendo gestionados en el punto en que la tarea se lleva a cabo. Habría que recordar que la basura contaminada puede mezclarse con basura no contaminada en algunas de estas etapas, lo que daría lugar a una menor concentración de actividad en el material gestionado.

Es importante reseñar que la mayoría de estas dosis es probable que solo se reciban a corto plazo. Esto enfatiza la importancia de tener un esquema de monitorización implantado para medir los niveles de contaminación en la basura y en los residuos de jardinería, preferiblemente en un número de etapas.

Las tasas de dosis de la [Tabla C6](#) deberían utilizarse solamente para hacer unos cálculos iniciales y para ayudar a identificar las tareas que darán lugar a las dosis más altas. Las tasas de dosis reales dependerán de la situación específica y la utilización de valores estimados, como los dados en la tabla, no deberían sustituir a una evaluación detallada de las dosis a los trabajadores.

Las dosis al público pueden surgir tras la eliminación de basura contaminada vía incineración, eliminación en vertedero y compostaje. Los procesos principales y las vías potenciales de exposición para los miembros del público que pueden darse se recogen en la [Tabla C7](#). En el caso de una emergencia radiológica, será necesario llevar a cabo una evaluación completa (incluyendo la evaluación de dosis potenciales a los miembros del público) si se cambian las autorizaciones legales existentes, o si se autorizan nuevos emplazamientos para la eliminación y otras opciones de eliminación o almacenamiento.

Tabla C6 Dosis a las personas que trabajen con basura contaminada

| Tarea | Tasas de dosis por unidad de concentración de actividad en el residuo manipulado (Sv h ⁻¹ Bq ⁻¹ kg) | | | |
|--------------------------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | ⁹⁰ Sr (+ ⁹⁰ Y) | ¹³¹ I* | ¹³⁷ Cs# | ²³⁹ Pu† |
| Recogida de basura | 8 10 ⁻¹³ | 1 10 ⁻¹¹ | 2 10 ⁻¹¹ | 5 10 ⁻¹¹ |
| Vehículo de transporte de basura | 1 10 ⁻¹² | 2 10 ⁻¹¹ | 3 10 ⁻¹¹ | 5 10 ⁻¹¹ |
| Estación de transferencia | 1 10 ⁻¹² | 2 10 ⁻¹¹ | 3 10 ⁻¹¹ | 5 10 ⁻¹¹ |
| Instalación de clasificación | 4 10 ⁻¹² | 3 10 ⁻¹² | 4 10 ⁻¹² | 5 10 ⁻¹¹ |
| Incineradora municipal | 7 10 ⁻¹³ | 3 10 ⁻¹⁴ | 4 10 ⁻¹³ | 1 10 ⁻⁹ |
| Transporte secundario (incineración) | 1 10 ⁻¹¹ | 4 10 ⁻¹² | 1 10 ⁻¹⁰ | 2 10 ⁻¹⁵ |
| Operaciones en vertedero | 1 10 ⁻¹¹ | 3 10 ⁻¹⁰ | 5 10 ⁻¹⁰ | 4 10 ⁻¹¹ |
| Instalación de compostaje‡ | 8 10 ⁻¹² | 3 10 ⁻¹⁰ | 4 10 ⁻¹⁰ | 1 10 ⁻¹⁰ |

Notas:

*: Se puede utilizar para ⁹⁹Mo, ¹³²Te, ¹³⁶Cs, ¹⁴⁰La, ¹⁴⁰Ba, ¹⁶⁹Yb

#: Se puede utilizar para ⁶⁰Co, ⁷⁵Se, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs, ¹⁴⁴Ce, ¹⁹²Ir, ²³⁵U, ²²⁶Ra

†: Se puede utilizar para ²³⁸Pu, ²⁴¹Am

‡: El compostaje puede tardar desde unas pocas semanas hasta 2 o 3 meses. Los operarios pueden estar expuestos a lo largo de estos periodos de tiempo, incluso si los nuevos residuos que llegan a la planta ya no están contaminados.

Tabla C7 Vías de exposición potenciales para los miembros del público tras la eliminación de basura contaminada

| Proceso de eliminación | Vías de exposición potenciales |
|---|---|
| Descargas a través de chimenea procedentes de la incineración | Personas que vivan a sotavento de la incineradora: dosis externa y por inhalación de material resuspendido tras el depósito. Conviene señalar que la mayoría de los radionucleidos, excluyendo notablemente el ¹³¹ I, quedan atrapados en los filtros de la incineradora y no se liberan a la atmósfera. Ingestión de alimentos cultivados en terreno contaminado. |
| Vertedero convencional | Personas que utilicen emplazamientos de vertedero cerrados para usos recreativos (por ejemplo, para pasear al perro): dosis externa e inhalación de polvo. Migración a largo plazo de radionucleidos a través del suelo: dosis externa e inhalación de material resuspendido procedente de suelo contaminado, ingestión de alimentos cultivados en suelo contaminado. Utilización futura de vertederos cerrados para edificación: dosis externa e inhalación de material resuspendido procedente del terreno contaminado, ingestión de alimentos cultivados en terreno contaminado. |
| Utilización de material compostado sobre el terreno (comercial y doméstico) | Aplicación de compost: dosis externa e inhalación de polvo; ingestión de alimentos cultivados en terreno contaminado; posible dosis a la piel de las manos. |

C5.2 Dosis debidas al tratamiento y eliminación de aguas residuales

Se han estimado tasas de dosis orientativas para los trabajadores de las plantas de tratamiento de aguas residuales, para una selección de los radionucleidos considerados en el Manual: ⁹⁰Sr, ¹³¹I, ⁶⁰Co y ²⁴¹Am (Harvey et al, 1995, Titley et al, 2000). Estos radionucleidos deberían tomarse como representativos de los emisores beta intensos (⁹⁰Sr, y su radionucleido hijo ⁹⁰Y), de emisores beta/gamma de alta energía y vida corta (¹³¹I), de emisores beta/gamma de alta energía y vida larga (⁶⁰Co) y de emisores alfa (²⁴¹Am). En la [Tabla C8](#) se presentan las tasas de dosis y son generalmente aplicables a las plantas de tratamiento de aguas residuales que prestan servicio a pequeñas ciudades. Para plantas de tratamiento de mayores dimensiones, las dosis a los trabajadores implicados en todas las actividades excepto en el mantenimiento de tuberías es probable que sean significativamente menores (se podría asumir un factor 10 menores). Las dosis a los trabajadores en las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden variar generalmente dependiendo del tiempo que emplean en cada tarea, el tamaño de la planta y los procedimientos utilizados. Sin embargo, es improbable que las dosis a estos trabajadores varíen significativamente de unas plantas a otras. Las vías de exposición consideradas en el cálculo de las tasas de dosis presentadas en la [Tabla C8](#) son la exposición externa y la inhalación de material resuspendido; no se ha tenido en cuenta el blindaje. Los tipos de trabajador considerados son:

- trabajadores de las tuberías de aguas residuales que pasan la mayor parte del tiempo comprobando y desbloqueando los conductos principales
- trabajadores que realizan tareas generales en la gestión de las aguas residuales en una planta, estabilizando los lodos antes de su eliminación
- trabajadores que realizan tareas generales en la gestión de las aguas residuales en una planta, llevando a cabo la incineración de los lodos

- trabajadores de prensado de lodos que desarrollan su labor en la sala de prensado de lodos próxima a los incineradores
- trabajadores en el vertedero en el que se eliminan los lodos.

Las dosis a los miembros del público debidas a la eliminación de radionucleidos dependen de las rutas finales de eliminación de los efluentes y los lodos. Los efluentes pueden eliminarse en ríos o en el mar, mientras que los lodos se pueden eliminar en vertederos o terreno agrícola, o mediante incineración. Las metodologías que se pueden utilizar para calcular las dosis a los miembros del público se describen en Chen et al, 2007 (lodos en vertedero), Mobbs et al, 2005 (lodos en terreno agrícola) y Titley et al, 2000 (todas las otras vías de eliminación).

Si el cálculo de la dosis basado en metodologías generales sugiere que las dosis a los trabajadores o a los miembros del público pudieran suponer un problema, sería importante tener en cuenta los detalles de los procedimientos específicos utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales en el área y los hábitos de los trabajadores y la población. Los principales factores que hay que tener en cuenta se recogen en la [Tabla C9](#). Para radionucleidos de vida larga, es necesario considerar también la contaminación y las dosis a los trabajadores de la planta de tratamiento de aguas residuales a largo plazo. Será necesario considerar la persistencia de la contaminación en los sistemas y la eficacia de cualquier práctica de limpieza normal.

Tabla C8 Tasas de dosis orientativas a los trabajadores implicados en el tratamiento y eliminación de aguas residuales

| Radionucleido | Tasas de dosis por unidad de concentración de actividad en el agua que entra en la planta de tratamiento de aguas residuales (Sv h ⁻¹ Bq ⁻¹ m ³) | | | |
|---|--|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| | ⁶⁰ Co* | ⁹⁰ Sr | ¹³¹ I# | ²⁴¹ Am ⁺ |
| Trabajador de tuberías de aguas residuales | 6 10 ⁻¹² | 7 10 ⁻¹⁵ | 4.10 ⁻¹³ | 8 10 ⁻¹³ |
| Trabajador general (estabilización de lodos) | 7 10 ⁻⁹ | 4 10 ⁻¹³ | 2 10 ⁻¹⁰ | 4 10 ⁻¹⁰ |
| Trabajador general (incineración de lodos) | 2 10 ⁻⁸ | 2 10 ⁻¹² | 3 10 ⁻¹⁰ | 3 10 ⁻¹⁰ |
| Trabajador de prensado de lodos (incineración de lodos) | 4 10 ⁻⁹ | 5 10 ⁻¹³ | 1 10 ⁻¹⁰ | 9 10 ⁻¹⁰ |
| Trabajador de vertedero (cenizas de incineración) | 1 10 ⁻¹⁰ | 8 10 ⁻¹⁴ | 3 10 ⁻¹³ | 5 10 ⁻¹⁴ |

Notas:

* Los valores para ⁶⁰Co se pueden utilizar también para ⁷⁵Se, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹⁰³Ru, ¹⁰⁶Ru, ¹³⁴Cs, ¹⁴⁴Ce, ¹⁹²Ir, ²³⁵U y ²²⁶Ra

Los valores para ¹³¹I se pueden utilizar también para ⁹⁹Mo, ¹³²Te, ¹³⁶Cs, ¹⁴⁰La, ¹⁴⁰Ba, ¹⁶⁹Yb

+ Los valores para ²⁴¹Am se pueden utilizar también para ²³⁸Pu and ²³⁹Pu.

Tabla C9 Información específica del emplazamiento necesaria para la evaluación detallada de dosis

| Información requerida | Detalles |
|---|---|
| Tipo de sistema de aguas residuales | Combinado, separativo o mixto |
| Capacidad del alcantarillado y de la planta de tratamiento de agua | Tamaño del alcantarillado (diámetro), tasa de flujo del alcantarillado |
| Medio acuático en el que se descarga el agua residual tratada o no tratada | Tasa de flujo volumétrico, anchura, profundidad, uso del agua del río, salinidad |
| Procesos de tratamiento de los efluentes y los lodos residuales | Qué procesos están operativos |
| Ruta de descarga de las corrientes de residuos desde las plantas de tratamiento de los mismos | Tasas de aplicación de los residuos al terreno agrícola, condiciones meteorológicas en el incinerador |

C6 REFERENCIAS

- Chen QQ, Kowe R, Mobbs SF and Jones KA (2007). Radiological assessment of disposal of large quantities of very low level waste in landfill sites. HPA-RPD-020, HPA, Chilton.
- Fogh CL, Andersson KG, Barkovsky AN, Mishine AS, Ponamarjov AV, Ramzaev VP and Roed J (1999). Decontamination in a Russian Settlement. *Health Physics*, 76(4), 421-430.
- Ham GJ, Shaw S, Crockett GM and Wilkins BT (2003). Partitioning of radionuclides with sewage sludge and transfer along the terrestrial foodchain pathway from sludge-amended land. A review of data. NRPB-W32. NRPB, Chilton.
- Harvey MP, Barraclough IM, Mobbs SF and McDonnell CE (1995). Review of the radiological implications of disposal practices for very low level solid radioactive waste. NRPB-M602. NRPB, Chilton.
- IAEA (1993). Feasibility of separation and utilization of caesium and strontium from high level liquid waste. Technical Report Series No. 356, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Mobbs SF, Harvey M and Crockett G (2005). Calculation of doses arising from the disposal of sewage sludge to land. NRPB-EA/3/2005. NRPB, Chilton.
- Ogata Y and Nishizawa K (1999). Stirring system for radioactive waste water storage tank. *Health Physics*, 77, 89-96.
- Titley JG, Carey AD, Crockett GM, Ham GJ, Harvey MP, Mobbs SF, Tournette C, Penfold JS and Wilkins BT (2000). Investigation of the Sources and Fate of Radioactive Discharges to Public Sewers. Environment Agency R&D Technical Report P288.
- Turner AD, Bridger NJ, Jones CP, Pottinger JS, Junkison AR, Fletcher PA, Neville MD, Allen PM, Taylor RI, Fox WTA and Griffiths PG (1994). Electrochemical ion-exchange for active liquid waste treatment. European Commission, Report EUR 14997 EN, ISBN 92-826-7372-3.
- Zakrzewska-Trznadel G, Harasimowicz M and Chmielewski AG (2001). Membrane processes in nuclear technology-application for liquid radioactive waste treatment. *Separation and Purification Technology*, 22-23, 617-625.

APÉNDICE D

Recomendaciones prácticas para la participación de las partes interesadas en la gestión de áreas contaminadas

En los últimos años, las cuestiones relativas a las partes interesadas se han ido colocando paulatinamente al frente de la política de decisiones y son clave para el desarrollo e implementación de las estrategias de protección radiológica. A medida que la experiencia en la participación de las partes interesadas ha ido creciendo, ha sido posible utilizar muchas de las lecciones aprendidas como base para el desarrollo de las mejores prácticas entre la comunidad dedicada a la protección radiológica. Se vienen estableciendo procesos y herramientas que pueden ser generalmente aplicados a situaciones en las que se requieren las aportaciones y los puntos de vista de las partes interesadas. El proceso de participación de estas incluye cinco pasos distintos que siguen una secuencia lógica: preparación, planificación, participación, evaluación y aplicación. Cada uno de estos pasos se describe más adelante. La Asociación Internacional de Protección Radiológica (*International Radiation Protection Association –IRPA- 2008*) ha publicado orientaciones adicionales en sus 10 principios guía que también deberían tenerse en cuenta por parte de los profesionales de protección radiológica en el proceso de participación de las partes interesadas. En la [Tabla D1](#) se resumen estos principios.

Tabla D1 Principios guía de la IRPA relativos a la participación de las partes interesadas (IRPA, 2008)

| Principios | |
|------------|--|
| 1 | Identificar las oportunidades para la participación y asegurar que el nivel de la misma es proporcional a la naturaleza de los problemas de protección radiológica y su contexto |
| 2 | Iniciar el proceso tan pronto como sea posible, y desarrollar un plan de implementación sostenible |
| 3 | Habilitar un proceso de participación de las partes interesadas abierto, incluyente y transparente |
| 4 | Buscar e involucrar a las partes interesadas y expertos pertinentes |
| 5 | Asegurar que están claramente definidos los papeles y responsabilidades de todos los participantes y las reglas de cooperación |
| 6 | Desarrollar colectivamente objetivos para el proceso de participación de las partes interesadas, basándose en una comprensión compartida de los problemas y los límites |
| 7 | Desarrollar una cultura que ponga en valor un lenguaje y comprensión compartidos y que favorezca el aprendizaje colectivo |
| 8 | Respetar y valorar la expresión de diferentes puntos de vista |
| 9 | Asegurar el funcionamiento de un mecanismo de realimentación regular para informar y mejorar los procesos de participación de las partes interesadas presentes y futuros |
| 10 | Aplicar el Código Ético de la IRPA en sus acciones dentro de estos procesos en la medida de su conocimiento |

D1 PASOS PARA EL ÉXITO DE LA PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES INTERESADAS

D1.1 Preparación

Es necesario identificar las oportunidades para la participación activa mediante el desarrollo de una correcta comprensión de las cuestiones en juego. El método para la participación debería ser proporcional a estas cuestiones y su contexto, teniendo en cuenta que habrá limitaciones tanto en lo que se refiere a los recursos como al tiempo disponibles. Es importante el nombramiento de un líder que sea respetado y un buen comunicador. Dicho líder y su equipo pueden ser independientes o elegidos de entre los departamentos y agencias del gobierno central, o de las autoridades locales. Deberían tratar de buscar e implicar a un amplio abanico de partes interesadas, ya que es necesario considerar todos los aspectos de la vida al acometer la gestión sostenible de las áreas contaminadas.

D1.2 Planificación

La participación debería comenzar tan pronto como sea posible y requiere el desarrollo de un plan sostenible. Dicha participación podría consistir en un proceso de un solo paso, pero es más probable que sea implementada a lo largo de un periodo extenso en las áreas contaminadas, con el fin de construir un entendimiento común y una visión compartida sobre cómo gestionar el área. La planificación implica establecer los objetivos, el alcance, el formato y modo de participación, la identificación de las partes interesadas potenciales y el diseño de la participación, es decir, la agenda y la logística de las reuniones, incluidas las reglas a aplicar.

D1.3 Participación

Al comienzo de la participación, deberían establecerse los papeles, las responsabilidades y obligaciones de todos los participantes. La sinceridad, inclusión y transparencia, interrelacionadas entre sí, deberían constituir la esencia de una participación exitosa y deberían estar presentes durante todo el proceso. Es importante compartir la información relevante necesaria para construir un entendimiento común de los problemas. La información debería presentarse en un lenguaje simple y no científico. Debería ser concisa, clara para todo el mundo y honesta. Es necesario que cada parte interesada reconozca tanto su propia singularidad como la de las demás partes y que sea consciente de que los otros participantes pueden ver los problemas desde perspectivas diferentes respetando sus puntos de vista. La aceptación de diversas perspectivas, formas de pensar y valores tiene el potencial de enriquecer el proceso, siempre que dicho proceso esté controlado de tal manera que si hay puntos de vista o ideologías enfrentadas sean gestionados mediante los mecanismos acordados.

D1.4 Evaluación

Durante la participación de las partes interesadas debería darse la oportunidad, tanto a dichas partes interesadas como a los responsables del proceso, de compartir mutuamente la información sobre los enfoques y las herramientas utilizadas, así como de los posibles resultados. Esto permite informar sobre y mejorar los procesos en

marcha, así como influir en la manera en la cual deberían dirigirse proyectos futuros. Se pueden evaluar los siguientes tipos de criterios: la adecuación de los términos y los plazos de la participación; la calidad y la adecuación de la información proporcionada; la exhaustividad de las cuestiones tratadas; la inclusión de las partes interesadas implicadas; la factibilidad/viabilidad de los posibles resultados.

D1.5 Aplicación

Al finalizar un proceso de participación de partes interesadas, es importante que los responsables del proceso den a conocer los resultados a todos aquellos que participaron. Si los resultados no reflejan las recomendaciones/descubrimientos de las partes interesadas, los responsables deben ofrecerles una explicación de por qué se han alejado de lo acordado. De esta manera, la realimentación de los resultados y decisiones ayudará a mantener la confianza en el proceso.

D2 REFERENCIAS

International Radiation Protection Association (2008). Guiding Principles for Radiation Protection Professionals on Stakeholder Engagement. IRPA 08/08. Disponible en <http://www.irpa.net>

Historia del documento

| | |
|-----------------------|---|
| Título del documento: | Generic handbook for assisting with the management of contaminated inhabited areas following a radiological emergency. <i>(Manual genérico para la ayuda en la gestión de de áreas habitadas contaminadas después de una emergencia radiológica en Europa).</i> |
| Número EURANOS: | EURANOS(CAT1)-TN(07)-02 |
| Versión y estado: | Versión 2.0 |
| Editado por: | Anne Nisbet (HPA) |
| Historia: | Borrador A editado en mayo de 2006 Borrador B para la revisión por pares a cargo de los colaboradores en octubre de 2006 Versión 1 publicada en mayo de 2007 Borrador de la Versión 2a entregada a los colaboradores para comentarios en febrero de 2010 Versión 2 publicada en marzo de 2010 |
| Circulación: | Pública |
| Fecha de edición: | Marzo de 2010 |
| Nombre del fichero: | EURANOS Manual para Áreas Habitadas Versión 2 |

Ir a la tabla en color

Tabla 6.2 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> | | |
| Superficies exteriores | | |
| <u>Demolición de edificios (12)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua (13)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua a alta presión (14)</u> | | |
| <u>Lijado de paredes de madera (15)</u> | | |
| <u>Revestimiento polímero retirable (49)</u> | | |
| <u>Cepillado y lavado de tejados (16)</u> | | |
| <u>Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17)</u> | | |
| <u>Sustitución de tejados (18)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de arena (19)</u> | | |
| <u>Eliminación de nieve (50)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20)</u> | | |
| <u>Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21)</u> | | |
| Superficies interiores y objetos | | |
| <u>Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23)</u> | | |
| <u>Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24)</u> | | |
| <u>Eliminación de superficies (25)</u> | | |
| <u>Limpieza por aspiración (26)</u> | | |
| <u>Lavado (27)</u> | | |
| Edificios públicos (por ejemplo, estaciones de ferrocarril) | | |
| <u>Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22)</u> | | |
| Objetos valiosos y artículos personales | | |
| <u>Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28)</u> | | |
| Superficies especiales en edificios industriales | | |
| <u>Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53)</u> | | |
| <u>Limpieza química de superficies metálicas (54)</u> | | |
| <u>Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55)</u> | | |
| <u>Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56)</u> | | |
| <u>Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57)</u> | | |
| <u>Eliminación de filtros (58)</u> | | |
| <u>Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59)</u> | | |
| Clave | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en color

Tabla 6.3 Tabla de selección de opciones de gestión para carreteras y áreas pavimentadas

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> | | |
| Opciones de eliminación y blindaje | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua (29)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua a alta presión (30)</u> | | |
| <u>Eliminación de nieve (50)</u> | | |
| <u>Eliminación y sustitución de superficies (31)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – material bituminoso (permanente) (32)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – arena (temporal) (32)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) – agua (temporal) (32)</u> | | |
| <u>Volteado de losas de pavimento (33)</u> | | |
| <u>Barrido con aspirador (34)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

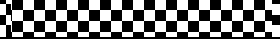
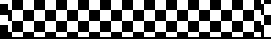

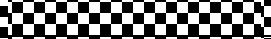

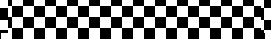
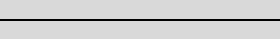
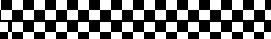

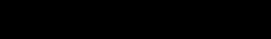
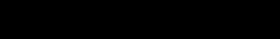
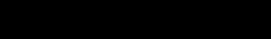

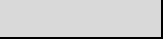
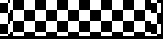
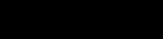
Ir a la tabla en color

Tabla 6.4 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| <u>Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35)</u> | | |
| <u>Cobertura con suelo limpio (36)</u> | | |
| <u>Corte y eliminación de césped (38)</u> | | |
| <u>Eliminación de plantas y arbustos (40)</u> | | |
| <u>Eliminación de nieve (50)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44)</u> | | |
| <u>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45)</u> | | |
| <u>Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46)</u> | | |
| <u>Retirada de césped (48)</u> | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| <u>Cavado manual (39)</u> | | |
| <u>Rotocultor (excavación mecánica) (42)</u> | | |
| <u>Cavado triple (47)</u> | | |
| Grandes espacios abiertos (por ejemplo, parques, campo abierto) | | |
| <u>Arado profundo (37)</u> | | |
| <u>Arado (41)</u> | | |
| <u>Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en color

Tabla 6.5 Tabla de selección de opciones de gestión para árboles y arbustos

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> |  |  |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> |  |  |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> |  |  |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> |  |  |
| Opciones de eliminación | | |
| <u>Recogida de hojas (51)</u> |  |  |
| <u>Poda/eliminación de árboles y arbustos (52)</u> |  |  |
| Clave: | | |
|  | Recomendada con pocas restricciones. | |
|  | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
|  | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
|  | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

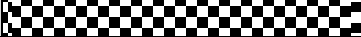



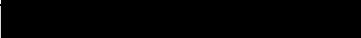

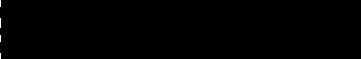
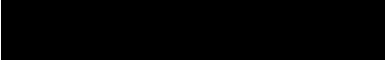

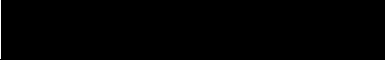



Ir a la tabla en color

Tabla 7.2 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas




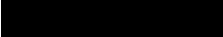
| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)*</u> | | |
| Todos los espacios abiertos | | |
| <u>Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35)</u> | | |
| <u>Cobertura con suelo limpio (36)</u> | | |
| <u>Corte y eliminación de césped (38)</u> | | |
| <u>Eliminación de plantas y arbustos (40)</u> | | |
| <u>Eliminación de nieve (50)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44)</u> | | |
| <u>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45)</u> | | |
| <u>Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46)</u> | | |
| <u>Retirada de césped (48)</u> | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| <u>Cavado manual (39)</u> | | |
| <u>Rotocultor (excavación mecánica) (42)</u> | | |
| <u>Cavado triple (47)</u> | | |
| Grandes espacios abiertos (por ejemplo, parques, campo abierto) | | |
| <u>Arado profundo (37)</u> | | |
| <u>Arado (41)</u> | | |
| <u>Arado de enterramiento de la capa superficial (skim and burial ploughing) (43)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |
| Notas: | | |
| * Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines | | |

Ir a la tabla en color

Tabla 7.3 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|--|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)*</u> | |  |
| Todos los espacios abiertos | | |
| <u>Cobertura de superficies de césped y suelo (por ejemplo con asfalto) (35)</u> |  |  |
| <u>Cobertura con suelo limpio (36)</u> | | |
| <u>Corte y eliminación de césped (38)</u> | |  |
| <u>Eliminación de plantas y arbustos (40)</u> | |  |
| <u>Aplicación de fijadores (para fijar la contaminación a las superficies) (44)</u> |  |  |
| <u>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45)</u> |  |  |
| <u>Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46)</u> |  |  |
| <u>Retirada de césped (48)</u> | | |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| <u>Cavado manual (39)</u> | | |
| <u>Rotocultor (excavación mecánica) (42)</u> | | |
| <u>Cavado triple (47)</u> |  |  |

Clave:

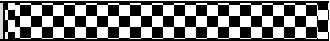


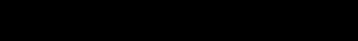
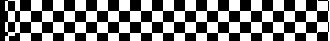
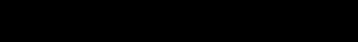



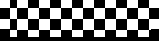
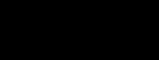
| | |
|---|---|
|  | Recomendada con pocas restricciones. |
|  | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. |
|  | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. |
|  | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. |

Notas:

* Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines


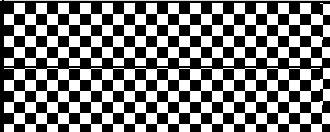
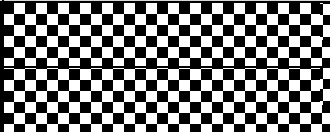




Ir a la tabla en color

Tabla 7.6 Tabla de selección de opciones de gestión para suelos, césped y plantas

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> * | |  |
| Todos los espacios abiertos | | |
| <u>Corte y eliminación de césped (38)</u> | |  |
| <u>Eliminación de plantas y arbustos (40)</u> | |  |
| <u>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45)</u> |  |  |
| <u>Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46)</u> |  |  |
| Pequeños espacios abiertos (por ejemplo, jardines) | | |
| <u>Cavado manual (39)</u> | | |
| <u>Rotocultor (excavación mecánica) (42)</u> | | |
| Clave: | | |
|  | Recomendada con pocas restricciones. | |
|  | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
|  | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
|  | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |
| Notas: | | |
| * Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines | | |

Ir a la tabla en color

Tabla 7.9 Tabla de selección para las opciones de gestión restantes para jardines urbanos

| Cuándo <u>aplicar</u> | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|--|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)*</u> | |  |
| Jardines urbanos | | |
| <u>Cavado manual (39)</u> | | |
| <u>Rotocultor (excavación mecánica) (42)</u> | | |
| <u>Eliminación de césped y de la capa superficial del suelo (manual) (45)</u> | |  |
| <u>Eliminación de césped y de capa superficial del suelo (mecánica) (46)</u> | |  |
| Clave: | | |
|  | Recomendada con pocas restricciones. | |
|  | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
|  | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
|  | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |
| Notas: | | |
| * Solo mientras las opciones estén siendo implementadas en los jardines | | |

Ir a la tabla en color

Tabla 7.11 Tabla de selección de opciones de gestión para edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|---|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Traslado permanente de áreas residenciales (8)</u> | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| <u>Acceso restringido a operarios (temporal o personal) a áreas no residenciales (10)</u> | | |
| <u>Traslado temporal de áreas residenciales (11)</u> | | |
| Superficies exteriores | | |
| <u>Demolición de edificios (12)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua (13)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua a alta presión (14)</u> | | |
| <u>Lijado de paredes de madera (15)</u> | | |
| <u>Revestimiento polímero retirable (49)</u> | | |
| <u>Cepillado y lavado de tejados (16)</u> | | |
| <u>Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17)</u> | | |
| <u>Sustitución de tejados (18)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de arena (19)</u> | | |
| <u>Eliminación de nieve (50)</u> | | |
| <u>Aplicación de fijadores acrílicos (para fijar la contaminación a las superficies) (20)</u> | | |
| <u>Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21)</u> | | |
| Superficies interiores y objetos | | |
| <u>Otros métodos de limpieza (fregado, lavado, limpieza con vapor) (23)</u> | | |
| <u>Eliminación de mobiliario, tapicerías y otros objetos (24)</u> | | |
| <u>Eliminación de superficies (25)</u> | | |
| <u>Limpieza por aspiración (26)</u> | | |
| <u>Lavado (27)</u> | | |
| Edificios públicos (por ejemplo, estaciones de ferrocarril) | | |
| <u>Limpieza en profundidad de superficies interiores contaminadas (22)</u> | | |
| Objetos valiosos y artículos personales | | |
| <u>Almacenamiento, blindaje, cobertura, limpieza suave de objetos valiosos (28)</u> | | |
| Superficies especiales en edificios industriales | | |
| <u>Aplicación de pasta de polímero retirable sobre superficies metálicas (53)</u> | | |
| <u>Limpieza química de superficies metálicas (54)</u> | | |
| <u>Limpieza química de superficies plásticas y revestidas (55)</u> | | |
| <u>Limpieza de sistemas de ventilación (industriales) contaminados (56)</u> | | |
| <u>Limpieza electroquímica de superficies metálicas (57)</u> | | |
| <u>Eliminación de filtros (58)</u> | | |
| <u>Tratamiento por ultrasonidos con descontaminación química (59)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en color

Tabla 7.12 Tabla de selección de opciones de gestión para superficies exteriores de edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| Superficies exteriores | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua (13)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua a alta presión (14)</u> | | |
| <u>Revestimiento polímero retirable (49)</u> | | |
| <u>Cepillado y lavado de tejados (16)</u> | | |
| <u>Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17)</u> | | |
| <u>Sustitución de tejados (18)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de arena (19)</u> | | |
| <u>Tratamiento de paredes con nitrato de amonio (21)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricción técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |

Ir a la tabla en color

Tabla 7.17 Tabla de selección para las opciones de gestión para superficies exteriores de edificios

| Cuándo aplicar | Inicial (I) (días-semanas) | Intermedia-de recuperación (M/R) (meses-años) |
|---|---|--|
| Restricción de acceso | | |
| <u>Prohibición de acceso a áreas no residenciales (9)</u> | | |
| Superficies exteriores | | |
| <u>Limpieza con chorro de agua a alta presión (14)</u> | | |
| <u>Revestimiento polímero retirable (49)</u> | | |
| <u>Cepillado y lavado de tejados (16)</u> | | |
| <u>Limpieza de tejados con agua caliente a presión (17)</u> | | |
| <u>Sustitución de tejados (18)</u> | | |
| <u>Limpieza con chorro de arena (19)</u> | | |
| Clave: | | |
| | Recomendada con pocas restricciones. | |
| | Recomendada, pero requiere un análisis adicional para superar algunas restricciones. | |
| | Existen restricciones económicas o sociales, que requieren un análisis completo y un periodo de consulta. | |
| | Pueden existir restricciones técnicas o logísticas, o la opción puede ser solo apropiada sobre bases específicas del sitio. | |