

---

# Manual genérico para la ayuda en la gestión de agua potable contaminada después de una emergencia radiológica en Europa

---



V e r s i ó n 2

Activity number: CAT1RTD04

Deliverable number: D19C1R04



# 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(06)-09-02

**MANUAL GENÉRICO PARA LA AYUDA EN LA GESTIÓN DE AGUA POTABLE  
CONTAMINADA DESPUÉS DE UNA EMERGENCIA RADIOLÓGICA EN  
EUROPA**

EURANOS(CAT1)-TN(06)-09-02

---

**J Brown and D J Hammond**  
Health Protection Agency  
Radiation Protection Division  
Chilton, Didcot, Oxon  
OX11 0RQ, UK

**P Kwakman**  
RIVM  
PO Box 1  
3720 BA Bilthoven  
The Netherlands

<b>Fecha de publicación</b>	<b>Revisión</b>	<b>Preparado/revisado por:</b>	<b>Comentado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Julio de 2009	Versión 2	Joanne Brown, Tatiana Duranova	Jane Simmonds	Anne Nisbet
Febrero de 2014	<b>Traducción</b>	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 Francia y Holanda, y de nuestros compañeros del proyecto EURANOS. 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**

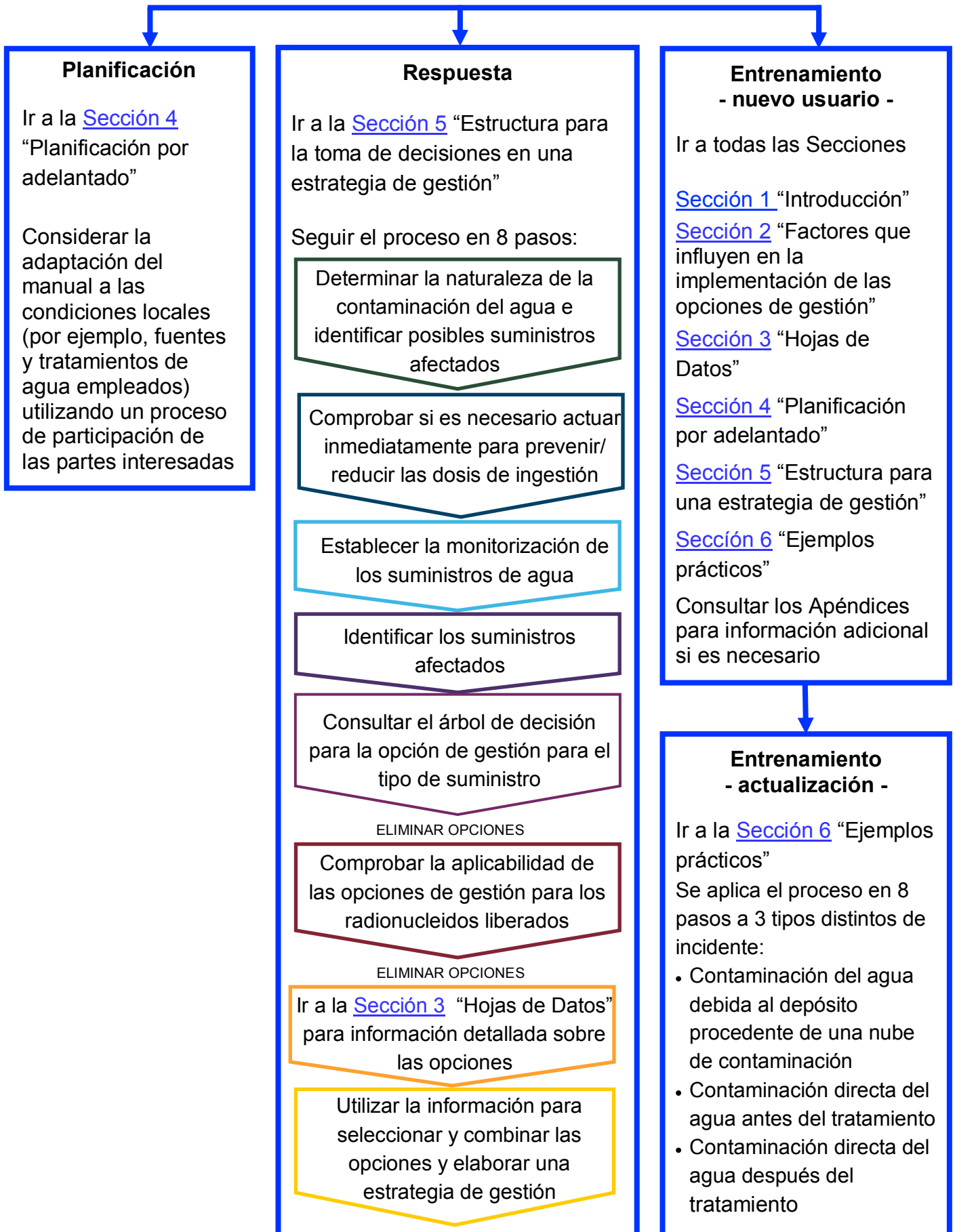
Copyright © Health Protection Agency (HPA), 2007

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 DE AGUA POTABLE**

- 1.1 **Objetivos del Manual de Agua Potable**
- 1.2 **A quién está dirigido**
- 1.3 **Aplicación**
- 1.4 **Contexto**
- 1.5 **Alcance**
- 1.6 **Estructura del Manual de Agua Potable**
- 1.7 **Suministros de agua potable incluidos en el Manual**
- 1.8 **Criterios de protección radiológica para el agua potable**
- 1.9 **Principios y criterios generales de protección radiológica**
- 1.10 **Referencias**

## **2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN**

- 2.1 **Efecto de los tipos de fuente de agua e incidente radiológico en el posible impacto radiológico**
- 2.2 **Impacto de los factores temporales y espaciales**
- 2.3 **Eficacia**
- 2.4 **Monitorización**
- 2.5 **Impacto radiológico**
- 2.6 **Eliminación de residuos**
- 2.7 **Coste económico**
- 2.8 **Legislación sobre agua potable**
- 2.9 **Factores sociales y éticos**
- 2.10 **Referencias**

## **3 HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN**

- 3.1 **La plantilla de hoja de datos**
- 3.2 **Las hojas de datos y las principales actualizaciones**
- 3.3 **Historia de la hoja de datos**
- 3.4 **Suministros de agua potable no regulados**
- 3.5 **Referencias**

## **4 PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO Y PERSONALIZACIÓN DEL MANUAL GENÉRICO**

## **5 ESTRUCTURA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN**

- 5.1 Estimación de las concentraciones de actividad en el agua potable**
- 5.2 Monitorización del suministro de agua potable y prioridades de la misma**
- 5.3 Referencias**

## **6 EJEMPLOS PRÁCTICOS**

- 6.1 Ejemplo 1 – Contaminación del agua debida al depósito procedente de una pluma de contaminación**
- 6.2 Ejemplo 2 – Contaminación directa del agua antes del tratamiento**
- 6.3 Ejemplo 3 – Contaminación directa del agua después del tratamiento**

## **7 GLOSARIO**

**APÉNDICE A Ejemplo de la aplicación de métodos de cribado de actividad total Alfa y Beta en el Reino Unido**

**APÉNDICE B Estimación de dosis tras la contaminación del agua**

**APÉNDICE C Estimación de concentraciones de actividad en los lodos residuales y medios de filtrado tras el tratamiento del agua.**

## CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 1

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN AL MANUAL DE AGUA POTABLE</b>	<b>8</b>
1.1	<b>Objetivos del Manual de Agua Potable</b>	<b>8</b>
1.2	<b>A quién está dirigido</b>	<b>9</b>
1.3	<b>Aplicación</b>	<b>9</b>
1.4	<b>Contexto</b>	<b>9</b>
1.5	<b>Alcance</b>	<b>10</b>
1.6	<b>Estructura del Manual de Agua Potable</b>	<b>12</b>
1.7	<b>Suministros de agua potable incluidos en el Manual</b>	<b>13</b>
1.8	<b>Criterios de protección radiológica para el agua potable</b>	<b>14</b>
1.8.1	Criterios para accidentes	14
1.8.2	Criterios para situaciones rutinarias	17
1.8.3	Utilización de los Niveles de Intervención	17
1.9	<b>Principios y criterios generales de protección radiológica</b>	<b>19</b>
1.9.1	Prácticas e intervenciones	19
1.9.2	¿Qué tipo de sistema de protección para la fase de recuperación?	21
1.9.3	Aspectos fundamentales de las nuevas Recomendaciones de 2007 sobre la fase de recuperación	21
1.10	<b>Referencias</b>	<b>22</b>
	<b>Tabla 1.1 Radionucleidos considerados en el Manual de Agua Potable</b>	<b>11</b>
	<b>Tabla 1.2 Definición de las categorías de suministro de agua potable recogidas en el Manual</b>	<b>14</b>
	<b>Tabla 1.3 NIA para alimentos líquidos aplicados a los suministros de agua potable</b>	<b>16</b>
	<b>Tabla 1.4 Niveles de acción genéricos para agua potable del OIEA [OIEA, 2002]</b>	<b>16</b>
	<b>Tabla 1.5 Dosis efectivas comprometidas debidas al consumo durante un periodo de 3 semanas de agua del grifo contaminada 10 veces por encima de los NIA para agua potable</b>	<b>18</b>
	<b>Figura 1.1 Estructura del Manual de Agua Potable y a quién va dirigido</b>	<b>13</b>

## 1 INTRODUCCIÓN AL MANUAL DE AGUA POTABLE

El Manual para el Suministro de Agua Potable o, abreviadamente, Manual de Agua Potable, se ha desarrollado como resultado de una serie de iniciativas europeas y, en particular, del Reino Unido, que comenzaron a principios de los años 90. Debería considerarse el Manual de Agua Potable como un documento vivo que requiere de revisiones periódicas para permanecer actualizado. Es necesario que los países sigan de manera individualizada sus propias regulaciones nacionales, por ejemplo, sobre calidad del agua, límites de dosis al público, protección de los trabajadores, gestión y el transporte de residuos, ya que el manual no sustituye a dichas regulaciones. La adaptación del manual genérico a las condiciones particulares de cada país supone una parte esencial de su uso en los mismos y de cualquier planificación de la fase de recuperación tras una emergencia radiológica.

### **Suministro de agua potable contaminado – ¿cuál es el problema?**

Tras un incidente radiactivo, el suministro de agua potable puede quedar contaminado y es posible que sea necesario llevar a cabo acciones para reducir las concentraciones de actividad en el agua potable si se exceden los NIA recomendados. Las empresas gestoras del suministro de agua necesitan conocer cuál es el impacto probable de un incidente de este tipo en el agua potable que suministra y cómo puede afectar dicho incidente a sus instalaciones de tratamiento de agua. Los responsables de suministros de agua privados también necesitan saber qué se puede hacer para minimizar el impacto radiológico debido a la contaminación radiactiva que alcance sus suministros de agua.

### **¿Cómo puede ayudar el Manual de Agua Potable?**

El Manual de Agua Potable proporciona a los responsables de tomar las decisiones y a otras partes interesadas una guía sobre cómo gestionar las múltiples facetas del impacto de un incidente radiactivo sobre el suministro de agua potable. Contiene información científica y técnica para ayudar en el desarrollo de una estrategia de recuperación, teniendo en cuenta el amplio abanico de factores que pueden influir. El Manual de Agua Potable también es útil para la planificación de contingencias.

### **1.1 Objetivos del Manual de Agua Potable**

El Manual de Agua Potable ha sido desarrollado para cumplir varios objetivos interrelacionados:

- proporcionar información actualizada sobre las opciones de gestión para reducir las consecuencias de la contaminación del suministro de agua potable;
- 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 las opciones de gestión y con ello construir una estrategia de recuperación.

## 1.2 A quién está dirigido

El Manual de Agua Potable está dirigido específicamente a:

- departamentos y agencias del gobierno central;
- expertos en protección radiológica;
- las empresas gestoras del suministro de agua;
- laboratorios de análisis involucrados en la búsqueda de radionucleidos en el agua;
- otras partes interesadas que pudieran verse afectadas/implicadas, dependiendo de la situación.

## 1.3 Aplicación

El Manual de Agua Potable puede considerarse como un documento de referencia que contiene información específica y general actualizada sobre los aspectos científicos, técnicos y sociales relevantes para la gestión de agua potable contaminada. Sin embargo, para alcanzar todo el potencial del Manual de Agua Potable, debería utilizarse como parte de un proceso participativo de las partes interesadas. Algunos ejemplos de las posibles aplicaciones de este Manual son:

- en la fase de preparación, en condiciones de no-crisis, para movilizar 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. Será parte de la gestión estratégica del incidente realizada por múltiples agencias y de la estructura de coordinación establecida para garantizar la consistencia de los diversos enfoques de todos los aspectos relacionados con la gestión de un incidente;
- con fines de entrenamiento, por ejemplo, en la preparación para y durante los ejercicios de emergencias.

## 1.4 Contexto

El objetivo primario del Manual de Agua Potable es la protección radiológica, es decir, 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. Los miembros del público esperan un alto nivel en la calidad del agua. Debido a esto, es probable que haya una presión considerable para que se mantenga dicha calidad en el caso de un incidente radiactivo. Y esta puede que no esté justificada tan solo en base a criterios de protección radiológica. 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 factores económicos, sociales, culturales y éticos. Por lo tanto, este Manual recoge también aspectos que van más allá de los relacionados con la protección radiológica (ver especialmente la [Sección 2](#)).

## 1.5 Alcance

El objetivo primario del Manual es proporcionar una guía sobre las opciones de gestión disponibles para la reducción de la contaminación en el agua potable y de las dosis debidas a la ingestión posteriores en aquellos que consuman el agua. Se pone especial énfasis en la gestión del contenido de radionucleidos en el agua potable en el punto de suministro al público (es decir, “en el grifo”, y no en las fuentes de origen de agua potable como embalses). El tiempo que tarda el agua contaminada en llegar al punto de consumo puede variar de manera importante, tal y como se trata más adelante en la [Sección 2.2](#). Este es el caso en particular de las fuentes de agua subterráneas contaminadas, en las que dicho tiempo puede variar desde unos pocos días hasta varias décadas. Además, la contaminación en el agua suministrada “en el grifo” es probable que sea considerablemente menor que la presente en la fuente de agua, debido a factores como la dilución, el tratamiento del agua y el decaimiento radiactivo. Es por ello que resulta más útil concentrarse en la gestión de la contaminación en el agua en el momento de ser consumida por el público, que en las fuentes de origen mismas. Se aporta una orientación sobre las escalas de tiempo probables en las cuales se produce la contaminación de diferentes fuentes de agua tras un incidente radiactivo ([Sección 2.1](#)). No se tratan en este Manual el agua potable embotellada y el uso de agua suministrada “en el grifo” para otros propósitos, como por ejemplo, el regadío o dar de beber a los animales. Se dan consejos generales sobre el riego de cultivos en el caso de un incidente radiactivo en el [Manual de Sistemas de Producción de Alimentos](#).

El Manual de Agua Potable proporciona información relevante para cualquier tipo de contaminación radiactiva de un suministro de agua potable. El objetivo principal es aportar dicha información para el caso de una liberación accidental procedente de un emplazamiento nuclear o del transporte de armas nucleares, pero muchas de las opciones de recuperación podrían ser también aplicables a otras emergencias radiológicas, como liberaciones intencionadas maliciosas. Por esta razón, el Manual tiene en cuenta un total de 23 radionucleidos, elegidos en base a su importancia radiológica y relevancia; en la [Tabla 1.1](#) se recoge una lista de los mismos. El término “emergencia o incidente radiológico” se utiliza en el Manual para referirse tanto a accidentes como a otros tipos de liberación de radiactividad.

El Manual de Agua Potable no intenta cubrir todos los temas que podrían ser motivo de preocupación. En particular, no trata:

- la planificación detallada por anticipado de emergencias radiológicas, incluidas notas de prensa elaboradas previamente y respuestas estandarizadas;
- listas/datos de contactos, contratistas, etc.; las distintas responsabilidades de las organizaciones en el caso de una emergencia radiológica;
- una estrategia de comunicación;
- los enlaces entre las respuestas a diferentes niveles (por ejemplo, local, regional);
- cuestiones socioeconómicas más amplias relativas a perjuicios, compensaciones, restablecimiento de la actividad económica, pérdidas personales y privadas.

**Tabla 1.1 Radionucleidos considerados en el Manual de Agua Potable**

Radionucleido		Periodo de semidesintegración <sup>a</sup>
<sup>60</sup> Co	Cobalto-60	5.27 a
<sup>75</sup> Se	Selenio-75	119.8 d
<sup>90</sup> Sr + <sup>90</sup> Y	Estroncio-90/Ytrio-90	29.12 a ( <sup>90</sup> Sr) 64 h ( <sup>90</sup> Y)
<sup>95</sup> Zr	Circonio-95	63.98 d
<sup>95</sup> Nb	Niobio-95	35.15 d
<sup>99</sup> Mo + <sup>99m</sup> Tc	Molibdeno-99	66 h ( <sup>99</sup> Mo) 6.02 h ( <sup>99m</sup> Tc)
<sup>103</sup> Ru	Rutenio-103	39.28 d
<sup>106</sup> Ru	Rutenio-106	368.2 d
<sup>131</sup> I	Yodo-131	8.04 d
<sup>132</sup> Te	Teluro-132	78.2 h
<sup>134</sup> Cs	Cesio-134	2.062 a
<sup>136</sup> Cs	Cesio-136	13.1 d
<sup>137</sup> Cs	Cesio-137	30 a
<sup>140</sup> Ba	Bario-140	12.74 d
<sup>140</sup> La	Lantano-140	40.27 h
<sup>144</sup> Ce	Cerio-144	284.3 d
<sup>169</sup> Yb	Iterbio-169	32.01 d
<sup>192</sup> Ir	Iridio-192	74.02 d
<sup>226</sup> Ra	Radio-226	1600 a
<sup>235</sup> U	Uranio-235	7.038 10 <sup>8</sup> a
<sup>238</sup> Pu	Plutonio-238	87.74 a
<sup>239</sup> Pu	Plutonio-239	2.41 10 <sup>4</sup> a
<sup>241</sup> Am	Americio-241	432.2 a

a) Periodo de semidesintegración: h = horas; d = días; a = años

## 1.6 Estructura del Manual de Agua Potable

La estructura global del Manual de Agua Potable se ilustra en la parte superior de la [Figura 1.1](#). En los tres Apéndices se aportan antecedentes e información de apoyo. El contexto, alcance, a quién va dirigido y las posibles aplicaciones del Manual ya se han expuesto anteriormente en esta sección. El resto de la [Sección 1](#) trata los tipos de suministro de agua que se consideran en el Manual, junto con los criterios de protección radiológica aplicables a la calidad del agua potable. En la [Sección 2](#) se describen los factores que influyen en la implementación de las opciones de gestión para agua potable contaminada, mientras que en la [Sección 3](#) se presentan las Hojas de Datos individuales para cada opción de gestión. En la [Sección 4](#) se da información de ayuda para la planificación de la recuperación con antelación a un incidente. La [Sección 5](#) contiene la estructura principal de ayuda a la decisión, incluyendo información que permite estimar las concentraciones de actividad en el agua potable y orientaciones acerca de la monitorización del suministro de agua potable y las prioridades de dicha monitorización. La [Sección 6](#) recoge ejemplos prácticos para guiar a los usuarios a través de los principales pasos en la toma de decisiones y para que puedan extraer los tipos de problemas con los que tendrían que tratar en el desarrollo de una estrategia de recuperación. En la [Sección 7](#) se da, finalmente, un glosario de términos utilizados en el Manual de Agua Potable.

Como se indica en la [Sección 1.3](#), el Manual de Agua Potable debería ser utilizado como parte de un proceso participativo que involucre a las partes interesadas en el desarrollo de una estrategia de recuperación (es decir, la parte inferior de la [Figura 1.1](#))

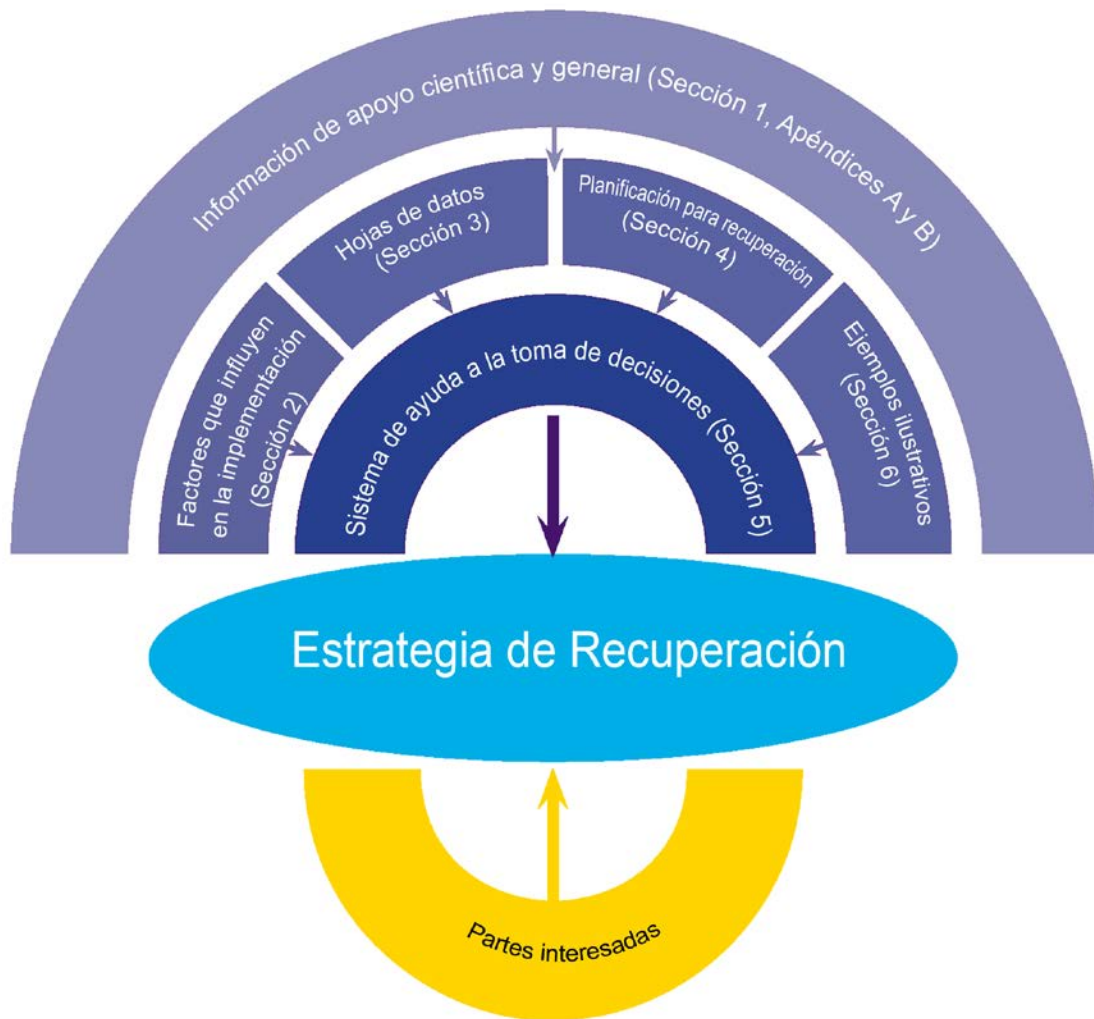


Figura 1.1 Estructura del Manual de Agua Potable y a quién va dirigido

## 1.7 Suministros de agua potable incluidos en el Manual

El agua potable puede proceder de uno de los tres principales tipos de suministro, los cuales están definidos en la [Tabla 1.2](#).

El Manual se concentra en aquellos factores relativos a la minimización de las dosis al público general a través del consumo de agua potable procedente de suministros de agua públicos o privados. Las opciones de gestión para suministros de agua potable no regulados no se tratan en detalle. Sin embargo, en la [Sección 3](#) se incluye un breve apartado resaltando algunos de los factores que podrían tenerse en cuenta en relación a los suministros de agua no regulados tras una liberación de contaminación radiactiva al medio ambiente.

**Tabla 1.2 Definición de las categorías de suministro de agua potable recogidas en el Manual**

Suministro de agua	Descripción
Público	<p>Los suministros de agua públicos son aquellos proporcionados por las compañías de agua legalmente designadas para ello a los consumidores, incluyendo viviendas privadas, edificios comerciales y públicos, naves industriales, etc. En muchos países, la mayoría de los suministros de agua serán de este tipo.</p> <p>Los suministros de agua públicos proceden tanto de fuentes de agua superficiales como subterráneas. Las fuentes de agua superficiales incluyen, embalses, lagos y ríos, mientras que las fuentes de agua subterráneas son fundamentalmente acuíferos, que son formaciones geológicas subterráneas que almacenan agua de lluvia. Esta agua es extraída a través de pozos perforados en dichos acuíferos por las compañías de agua. Las aguas subterráneas también pueden alimentar los embalses.</p> <p>Los suministros gestionados por las compañías de agua están sujetos a una estricta regulación relativa a su calidad. Con el fin de cumplir estas regulaciones en cuanto a la calidad del agua, esta se trata en plantas de tratamiento antes de ser suministrada. Normalmente, se toman muestras del agua para asegurar su alto nivel de calidad y el cumplimiento de los estándares requeridos.</p>
Privado	<p>Los suministros de agua privados se definen como cualquier suministro regular de agua que no está proporcionado por una compañía legalmente designada para ello y en el que la responsabilidad de su mantenimiento y reparación recae en el propietario o en la persona que lo utiliza.</p> <p>Los suministros de agua privados pueden proceder de una gran variedad de fuentes, incluyendo: pozos, taladros, manantiales, ríos, lagos y estanques. En la mayoría de los países, la mayor parte de los suministros privados es probable que sirvan a viviendas y granjas situadas en zonas remotas o áreas rurales. Sin embargo puede que haya algunos suministros privados en áreas urbanas, en particular aquellos utilizados para usos industriales como, por ejemplo, la fabricación de cerveza. También se pueden encontrar suministros de agua privados en lugares como hospitales, hoteles, escuelas o campings.</p> <p>A diferencia de los públicos, muchos de los suministros de agua privados no se tratan para eliminar impurezas que afecten a la calidad del agua como pueden ser pesticidas, nitratos o bacterias (cryptosporidium).</p>
No regulado	<p>Los suministros de agua no regulados se definen como aquellos suministros de agua potable que no son ni públicos ni privados. El uso de estos suministros se reduce generalmente a personas que consumen agua de manantiales o recogida de lluvia en áreas recreativas (por ejemplo, campistas y excursionistas)</p>

a) Las compañías encargadas de la gestión pueden tener una serie de suministros de agua de pequeña entidad, normalmente en zonas rurales, en los que el tratamiento del agua sea mínimo o inexistente.

## 1.8 Criterios de protección radiológica para el agua potable

### 1.8.1 Criterios para accidentes

Se necesitan criterios para la implementación de acciones con respecto al agua potable, criterios que deberían ser establecidos por las autoridades competentes en los estados miembro de manera individual. El Consejo de las Comunidades Europeas ha definido niveles de intervención (NI) para la contaminación radiactiva en alimentos y piensos comercializados tras una emergencia (denominados aquí NIA - Niveles de Intervención para Alimentos de Euratom) [CEC, 1989a; CEC, 1989b; CEC, 1990]. Los NIA representan una valoración por parte de la UE acerca del equilibrio óptimo entre las consecuencias beneficiosas y perjudiciales de la introducción de restricciones sobre los alimentos en la Unión Europea. En caso de que dichos NIA resultaran ser inapropiados bajo las circunstancias específicas de un futuro accidente, se ha previsto en la regulación la posibilidad de revisarlos poco después de un accidente. Esta revisión dependerá del acuerdo de una mayoría cualificada entre los Estados Miembro.

La Normativa Europea incluye la definición de los NIA para la contaminación radiactiva en alimentos líquidos. Los alimentos líquidos incluyen zumos de frutas y vegetales, y bebidas alcohólicas y no alcohólicas. Dentro de las “bebidas no alcohólicas” se incluye el agua embotellada, pero en las Regulaciones se recoge también que estos NIA “deberían aplicarse al suministro de agua potable (por ejemplo, “agua del grifo”) a criterio de los estados miembro”. En el Reino Unido, por ejemplo, se recomienda que los NIA para alimentos líquidos deberían ser adoptados como Niveles de Acción (Niveles de Intervención) para todos los suministros de agua potable [NRPB, 1994].

Los NIA se recogen en una lista en la [Tabla 1.3](#) y se podrían aplicar a todo el agua potable tras un incidente, sin importar la distancia de la fuente a la localización de dicho incidente. Se podrían utilizar para indicar si se deberían tomar acciones para reducir las concentraciones de actividad en el agua potable tras un incidente radiológico, por ejemplo, proporcionando un suministro alternativo.

El OIEA también proporciona niveles de acción genéricos para productos alimentarios, incluida el agua potable [OIEA, 2002]. Se expone que estos niveles son aplicables en el caso de que haya suministros de alimentos alternativos fácilmente disponibles. En los casos en los que los suministros sean escasos, se sugiere que se podrían aplicar niveles más elevados. Los valores se muestran en la [Tabla 1.4](#). Están basados y son consecuentes con los niveles orientativos recogidos en el Código Alimentario de la Comisión para los radionucleidos presentes en los alimentos que circulan en el comercio internacional [FAO/OMS, 1991]. La utilización de estos niveles de acción genéricos se pretende que esté limitada al primer año tras una emergencia nuclear o radiológica.

La directiva de la UE sobre agua potable, acerca de la calidad de la misma [CE, 1998] propone un sistema que hace posible que los Estados Miembro puedan utilizar métodos de detección simples que permiten determinar las actividades alfa o beta totales en el agua, como primer paso para el cumplimiento de la normativa. Esta capacidad de monitorización puede ser también muy útil en el caso de un incidente radiológico. En el Reino Unido, por ejemplo, estos niveles de detección proceden de los NIA, de manera que serían los utilizados por las empresas gestoras del suministro de agua en caso de un incidente radiológico. En el [Apéndice A](#) se recoge información adicional sobre estos niveles de detección de emergencia y su utilización.

**Tabla 1.3 NIA para alimentos líquidos aplicados a los suministros de agua potable<sup>a</sup>**

Radionucleido	NIA <sup>b</sup> (Bq l <sup>-1</sup> )	Clasificación de los radionucleidos considerados en el Manual <sup>c,d</sup>
Isótopos de Estroncio	125	<sup>90</sup> Sr
Isótopos de Yodo	500	<sup>131</sup> I
Isótopos emisores alfa de Plutonio y de elementos transplutónicos	20	<sup>238</sup> Pu, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Am
Resto de radionucleidos con un periodo de semidesintegración mayor de 10 días, en especial radioisótopos de Cesio y Rutenio <sup>e</sup>	1,000	<sup>60</sup> Co, <sup>75</sup> Se, <sup>95</sup> Zr, <sup>95</sup> Nb, <sup>99</sup> Mo, <sup>103</sup> Ru, <sup>106</sup> Ru, <sup>132</sup> Te, <sup>134</sup> Cs, <sup>136</sup> Cs, <sup>137</sup> Cs, <sup>140</sup> Ba, <sup>140</sup> La, <sup>144</sup> Ce, <sup>169</sup> Yb, <sup>192</sup> Ir, <sup>226</sup> Ra <sup>f</sup>

Notas:

- a) Los NIA se refieren a todos los suministros de agua destinados, al menos en parte, a fines de consumo y de preparación de alimentos. Ver el texto (Sección 1.8.3) para obtener una orientación acerca de la urgencia con la que los suministros de agua potable contaminados deberían ser reemplazados.
- b) Es la suma de las concentraciones de todos los radionucleidos incluidos en una categoría y detectados en el agua la que debe ser comparada con el Nivel de Intervención.
- c) Los radionucleidos considerados se recogen en la Tabla 1.1.
- d) Para el <sup>235</sup>U, las acciones se tomarían basándose en la toxicidad química del Uranio, ya que esta es más preocupante para la salud que el propio contenido radiactivo del agua [OMS, 2003].
- e) Esta categoría no incluye <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H o <sup>40</sup>K (ver CEC, 1989a; CEC, 1989b; CEC, 1990).
- f) Debería señalarse que el Radón es poco probable que suponga un problema ya que cualquier emergencia radiológica o incidente que suponga la contaminación de un suministro de agua con <sup>226</sup>Ra no conllevará la producción de gas Radón en la escala de tiempo en la que la contaminación sea motivo de preocupación.

**Tabla 1.4 Niveles de acción genéricos para agua potable del OIEA [OIEA, 2002]**

Radionucleido	Nivel de acción genérico <sup>a</sup> (Bq l <sup>-1</sup> )	Clasificación de los radionucleidos considerados en el Manual <sup>b,c</sup>
Isótopos de Estroncio, especialmente <sup>90</sup> Sr	100	<sup>90</sup> Sr
Isótopos de Yodo, especialmente <sup>131</sup> I	100	<sup>131</sup> I
Isótopos emisores alfa de Plutonio y de elementos transplutónicos	1	<sup>238</sup> Pu, <sup>239</sup> Pu, <sup>241</sup> Am
Resto de radionucleidos con un periodo de semidesintegración mayor de 10 días, en especial radioisótopos de Cesio y Rutenio	1,000	<sup>60</sup> Co, <sup>75</sup> Se, <sup>95</sup> Zr, <sup>95</sup> Nb, <sup>99</sup> Mo, <sup>103</sup> Ru, <sup>106</sup> Ru, <sup>132</sup> Te, <sup>134</sup> Cs, <sup>136</sup> Cs, <sup>137</sup> Cs, <sup>140</sup> Ba, <sup>140</sup> La, <sup>144</sup> Ce, <sup>169</sup> Yb, <sup>192</sup> Ir, <sup>226</sup> Ra <sup>d</sup>

Notas:

- a) Es la suma de las concentraciones de todos los radionucleidos incluidos en una categoría y detectados en el agua la que debe ser comparada con los niveles de acción genéricos.
- b) Los radionucleidos considerados se recogen en la Tabla 1.1.
- c) Para los isótopos del Uranio, las acciones se tomarían basándose en la toxicidad química del mismo, que es más preocupante para la salud que el contenido radiactivo del agua [OMS, 2003].
- d) Debería señalarse que el Radón es poco probable que suponga un problema ya que cualquier emergencia radiológica o incidente que suponga la contaminación de un suministro de agua con <sup>226</sup>Ra no conllevará la producción de gas Radón en la escala de tiempo en la que la contaminación sea motivo de preocupación.



### 1.8.2 Criterios para situaciones rutinarias

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Europea (CE) han publicado valores de referencia para las concentraciones de actividad en el agua potable que son de aplicación en condiciones de operación rutinarias para suministros de agua nuevos o existentes [OMS, 2004; CE, 1998; CE, 2005]. Los valores recomendados por la OMS y la CE **no son de aplicación** para el suministro de agua contaminado durante una emergencia que implique la liberación de radionucleidos al medio ambiente. En estas circunstancias, deberían utilizarse los valores de los NIA recogidos en la [Tabla 1.3](#) u otros niveles de intervención apropiados, como por ejemplo los valores del OIEA de la [Tabla 1.4](#), tal y como se ha comentado anteriormente.

En términos generales, las concentraciones de actividad en el agua por debajo de los niveles establecidos por la CE y la OMS son aceptables para el consumo humano, de manera que no es necesario llevar a cabo ninguna acción para reducir los niveles de radiactividad. La Directiva de la Comisión Europea 98/83/CE relativa a la calidad del agua destinada al consumo humano [CE, 1998] propone un parámetro indicador de  $0.1 \text{ mSv y}^{-1}$ . A esta cantidad se la denomina "Dosis Indicativa Total", o DIT, e incluye todos los radionucleidos a excepción del Tritio, el  $^{40}\text{K}$ , el Radón y los productos resultantes del decaimiento de este. Los Estados Miembro tienen la responsabilidad de monitorizar el agua potable para asegurarse de que la "Dosis Indicativa" no se excede. Otro proyecto de orientación a cargo de la CE [CE, 2005 (borrador)] sugiere un enfoque que utilice métodos de detección de las actividades totales alfa y beta a monitorizar para el parámetro indicador DIT. La OMS aporta algunos valores específicos para radionucleidos [OMS, 2004] que se corresponden aproximadamente con una dosis anual de  $0.1 \text{ mSv y}^{-1}$  bajo una determinada serie de supuestos. La OMS señala además que son adecuados para su utilización después del primer año tras un accidente nuclear, es decir, que **no son aplicables** durante el primer año tras un incidente radiológico y, por ello, no deberían utilizarse como criterio para definir las opciones de recuperación durante ese periodo de tiempo.

### 1.8.3 Utilización de los Niveles de Intervención

Los Niveles de Intervención o los niveles de detección adecuados podrían utilizarse para poner en marcha la completa sustitución de cualquier suministro de agua que esté destinado, al menos en parte, a fines de consumo o de preparación de alimentos. Es necesario reconocer, sin embargo, que se pueden dar problemas de salud pública asociados a la interrupción del suministro de agua normal, lo que debe tenerse en cuenta. En estos casos podrían ser más adecuados otros métodos para reducir las concentraciones de actividad en el agua potable suministrada, como por ejemplo, el tratamiento adicional del agua, cambios en el régimen de captación y la mezcla controlada. Se puede considerar la sustitución tan solo de la parte de suministro destinada al consumo o a la preparación de alimentos como medida provisional mientras se organiza la sustitución completa o, en situaciones extremas en las que dicha sustitución completa del suministro no es factible. En estas situaciones, es necesario que se proporcionen indicaciones acerca de cuándo se puede seguir utilizando de manera segura agua que exceda de los Niveles de Intervención para la limpieza, los inodoros y otros fines (distintos de la ingestión) durante periodos

prolongados. Esto se trata con más detenimiento en la [Sección 3](#), dentro de las Hojas de Datos de las opciones de gestión.

La sustitución de suministros o la implementación de otras opciones tardan un tiempo, durante el cual es probable que se consuma agua. Además, puede que haya un periodo de tiempo después del incidente en el que los resultados de la monitorización no estén disponibles y el público siga bebiendo agua. Hay que señalar que si los individuos bebieran agua contaminada por encima de los Niveles de Acción durante periodos limitados (por ejemplo, durante unas pocas semanas), esto no supondría necesariamente un riesgo radiológico importante. Para demostrarlo, se han hecho estimaciones de dosis de ingestión suponiendo que se bebe agua durante 3 semanas con niveles 10 veces superiores a los establecidos en los NIA para una selección de radionucleidos ([Tabla 1.5](#)). Hay que resaltar que este nivel de contaminación es significativamente mayor que los que sería probable que se dieran en el caso de una emergencia radiológica. Esto se debe a que cualquier contaminación se diluirá de manera importante en la fuente de agua potable en un corto periodo de tiempo o a que solo estará presente en el agua potable durante un periodo de tiempo muy corto a esos niveles elevados en el caso de, por ejemplo, un suceso de contaminación deliberada.

Las dosis efectivas de ingestión comprometidas estimadas se recogen en la [Tabla 1.5](#). Los valores en esta tabla son, en general, inferiores o comparables a las exposiciones típicas a la radiación natural de fondo en las que se incurre durante un año (es decir 2,2 mSv en un año en el Reino Unido [Watson *et al*, 2005]) o 3,7 mSv en un año en España [UNSCEAR]). Por lo tanto, la interrupción inmediata del suministro de agua potable no es, por lo general, esencial. No obstante, deberían ponerse todos los medios posibles para reducir las concentraciones de actividad en el agua rápidamente (al menos en unas pocas semanas), con el fin de maximizar la reducción de dosis alcanzada.

**Tabla 1.5 Dosis efectivas comprometidas debidas al consumo durante un periodo de 3 semanas de agua del grifo<sup>a</sup> contaminada 10 veces por encima de los NIA para agua potable**

Radionucleido	Dosis efectiva comprometida, mSv, tras el consumo para:		
	3 semanas		
	1 año de edad	10 años de edad	Adultos
<sup>60</sup> Co	2.7	1.2	9 10 <sup>-1</sup>
<sup>90</sup> Sr	9 10 <sup>-1</sup>	9 10 <sup>-1</sup>	9 10 <sup>-1</sup>
<sup>106</sup> Ru	6.0	1.8	1.5
<sup>131</sup> I <sup>b</sup>	9.0	3.0	2.4
<sup>137</sup> Cs	1.2	1.2	3.0
<sup>239</sup> Pu	9 10 <sup>-1</sup>	6 10 <sup>-1</sup>	1.2

Notas:

a) Tasas de consumo de agua del grifo (expresadas en litros por año): 1 año de edad = 172 l año<sup>-1</sup>, 10 años de edad = 197 l año<sup>-1</sup>, Adultos = 391 l año<sup>-1</sup> [NRPB, 1994]. Si hay disponibles datos específicos para el lugar de tasa de consumo de agua del grifo, se pueden escalar los datos de la tabla directamente para reflejar tasas de consumo diferentes.

b) Para el radionucleido de vida corta, <sup>131</sup>I, la radiactividad habrá decaído en tres periodos de semidesintegración, es decir, en un factor 8, durante el periodo de tres semanas, de manera que las dosis estimadas están sobrevaloradas, ya que se asume en los NIA que las concentraciones de actividad permanecerán constantes durante dicho periodo de tres semanas.

Si el suministro de agua potable queda contaminado en el caso de un incidente, es probable que se consuma algo de agua contaminada. Por consiguiente, es importante que las dosis de radiación y los riesgos que lleva asociados el consumo de esa agua sean comunicados de manera eficaz. Esto es de aplicación tanto si el agua contiene concentraciones de radiactividad por debajo de los niveles de intervención o detección establecidos, como si las concentraciones están por encima de esos niveles durante un periodo limitado de tiempo. La percepción pública también puede conducir a la necesidad de proporcionar agua potable "limpia". Esto último podría entrar en conflicto con otros requisitos de salud pública y podría no estar justificado tan solo en base a razones de protección radiológica

Se han calculado las dosis que se podrían esperar debidas a la ingestión de agua contaminada según los NIA para todos los radionucleidos considerados en el Manual. Estos cálculos se recogen más adelante en el [Apéndice B](#).

## **1.9 Principios y criterios generales de protección radiológica**

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (*ICRP*) es el principal organismo internacional encargado de emitir recomendaciones sobre las 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* 1991]. 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.

### **1.9.1 Prácticas e Intervenciones**

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

#### *1.9.1.1 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**).

#### 1.9.1.2 *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 las exposiciones al radón existentes. 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 defectos.

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. Estos criterios se denominan NIA (Niveles de Intervención para Alimentos). Los NIA 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.

### **1.9.2 ¿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 realizasen 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.

### **1.9.3 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. Este Manual Genérico de Agua Potable es posible aplicarlo a ambas situaciones de exposición, de emergencia y existentes, aunque las contramedidas de emergencia como el confinamiento, la evacuación y la profilaxis con Yodo estable se han excluido de manera intencionada

## 1.10 Referencias

- CEC (1989a). Council Regulation (Euratom) No 3954/87 laying down the maximum permitted levels of radioactive contamination of foodstuffs and feeding stuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency. *Off J Eur Commun* L211/1.
- CEC (1989b). Council Regulations (Euratom) No 770/90 laying down maximum permitted levels in minor foodstuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency. *Off J Eur Commun* L101/17.
- CEC (1990). Council Regulation (Euratom) No 770/70 laying down maximum permitted levels of radioactive contamination of feeding stuffs following a nuclear accident or any other case of radiological emergency. *Off J Eur Commun* L83/78.
- CEC (1998). Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, Brussels.

- CEC (2005, draft). Commission Directives on defining requirements for monitoring the quality of water with regard to the parameters for radioactivity laid down in Council Directive 98/83 on the quality of water intended for human consumption. European Commission, Brussels.
- IAEA (2002). Safety requirements on preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. Safety Standards Series No. GS-R-2, IAEA, Vienna.
- ICRP (1991). 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60. Ann ICRP, 21 (1-3)
- ICRP (1991b). Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63. Ann ICRP, 22 (4)
- ICRP (2007) Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 103. Annals of ICRP 37 (2-4)
- NRPB (1994). Guidance on restrictions on food and water following a radiological accident. Chilton, Doc NRPB, 5 (1)
- WHO (2003). Media Centre Fact Sheet No 257 (revised 2003) for uranium and depleted uranium. Geneva World Health Organisation.
- WHO (2004). Guidelines for drinking water quality, Chapter 9. Third Edition Volume 1, Recommendations. World Health Organisation, Geneva.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 2

<b>2</b>	<b>FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN</b>	<b>25</b>
2.1	Efecto de los tipos de fuente de agua e incidente radiológico en el posible impacto radiológico	26
2.2	Impacto de los factores temporales y espaciales	27
2.3	Eficacia	27
2.4	Monitorización	27
2.5	Impacto radiológico	28
2.6	Eliminación de residuos	28
2.6.1	Generación de residuos	28
2.6.2	Eliminación de residuos	28
2.7	Coste económico	29
2.8	Legislación sobre agua potable	30
2.9	Factores sociales y éticos	30
2.10	Referencias	31
	 Tabla 2.1 Lista de las opciones de gestión para los suministros de agua potable	 25
	Tabla 2.2 Coste económico directo debido a la implementación de las opciones de gestión	29
	Tabla 2.3 Coste económico directo debido a la pérdida del suministro normal de agua	30
	 Figura 2.1 Visión global de los factores clave que influyen en la elección de las opciones de gestión	 26



## 2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

Las seis opciones de gestión descritas en este Manual abarcan las principales acciones que se pueden llevar a cabo en el suministro de agua potable para reducir el impacto de la contaminación radiactiva. La [Tabla 2.1](#) proporciona una lista de las opciones de gestión que se han tenido en cuenta, distinguiendo entre las opciones que son adecuadas para los suministros de agua públicos y las que lo son para los privados. En la [Sección 3](#) se recoge un exhaustivo conjunto de hojas de datos para cada opción de gestión en las que se tiene en cuenta la mayoría de los criterios que los responsables de la toma de decisiones podrían emplear al evaluar las diferentes opciones.

La implementación de estas opciones de gestión no es trivial. Hay una serie de factores complejos que hay que tener en cuenta para desarrollar una buena estrategia de gestión, a lo que hay que unir la propia complejidad del proceso de toma de decisiones. La [Figura 2.1](#) muestra una visión global de los factores más importantes que es necesario tener en cuenta, si bien los responsables de la toma de decisiones, los implementadores y otras partes interesadas podrían identificar otros adicionales. No todos los factores serán necesariamente relevantes para cualquier incidente particular, de manera que su importancia relativa es probable que varíe en función de la naturaleza, la gravedad y la escala de dicho incidente. Algunos de estos factores pueden tratarse detalladamente como parte de la planificación, tal y como se explica más adelante en la [Sección 4](#); otros factores y su importancia solo será posible evaluarlos en el momento en que el incidente tenga lugar.

**Tabla 2.1 Lista de opciones de gestión para suministros de agua potable**

### SUMINISTROS DE AGUA PÚBLICOS

Suministro alternativo de agua potable

Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente

Mezcla controlada de suministros de agua potable

Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)

Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)

Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)

### SUMINISTROS DE AGUA PRIVADOS

Suministro alternativo de agua potable

Tratamiento normal del agua

Modificación del tratamiento del agua

Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)

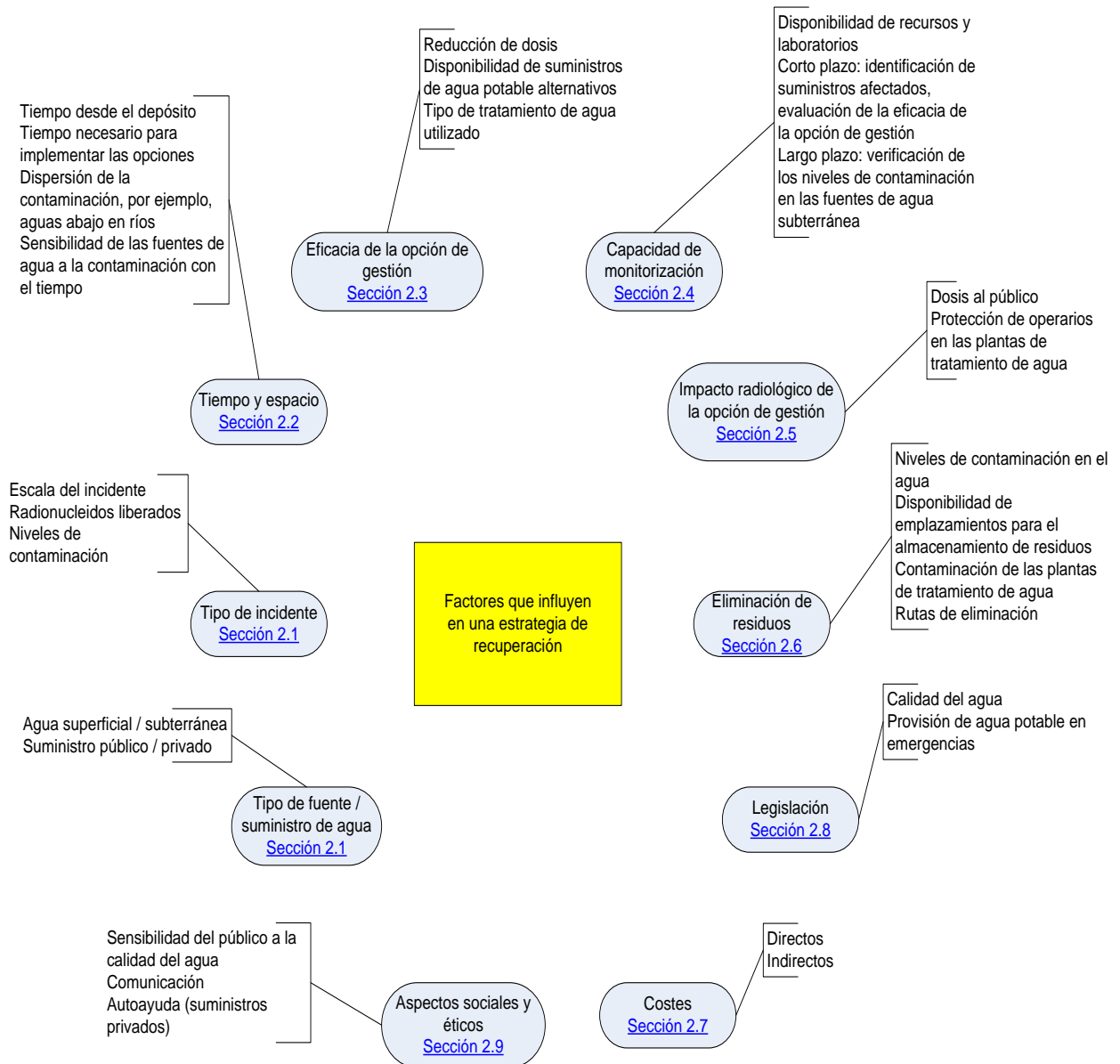


Figura 2.1 Visión global de los factores clave que influyen en la elección de las opciones de gestión

## 2.1 Efecto de los tipos de fuente de agua e incidente radiológico en el posible impacto radiológico

Según se describe en la [Tabla 1.2](#), hay varios tipos de fuente de agua diferentes que podrían resultar contaminadas en el caso de una emergencia radiológica y que podrían contribuir al suministro de agua potable al público. Cualquier emergencia radiológica podría conducir a que la contaminación se distribuyera entre estas fuentes. La distribución final podría ser muy diferente dependiendo del tipo de emergencia radiológica. Por ejemplo, una liberación a la atmósfera tendrá como resultado el depósito directo sobre la superficie de algunos suministros de agua, como pueden ser los ríos. Estos, además recibirán la escorrentía del territorio circundante. La

contaminación directa no se dará en el caso de los acuíferos subterráneos; en el caso de estas fuentes de suministro es probable que la contaminación solo tenga lugar a largo plazo a medida que la contaminación se vaya filtrando a través del suelo y alcance el nivel freático. La contaminación intencionada de un suministro de agua podría afectar a cualquier fuente y podría producirse antes, durante o después del tratamiento del agua. Por lo tanto, los suministros de agua en superficie es probable que sean, en general, más vulnerables a la contaminación debida a una emergencia radiológica y quedarán contaminados más rápidamente tras el suceso en comparación con las fuentes de agua subterráneas.

## **2.2 Impacto de los factores temporales y espaciales**

Las fuentes de agua con los mayores niveles de contaminación radiactiva en el medio ambiente no serán necesariamente las que más contribuyan a la exposición de la población. Esta dependerá de la medida en que sean utilizadas como suministro de agua potable. Una fuente dada puede no ser la mayor contribuyente al suministro de agua a las personas.

La naturaleza de las fuentes utilizadas para el suministro de agua potable, su vulnerabilidad frente a la contaminación tras la emergencia radiológica y la escala temporal en la que es probable que queden contaminadas, son factores importantes a tener en cuenta para optimizar las opciones de gestión implementadas y el ritmo de dicha implementación. Estos factores también determinarán el programa de vigilancia necesario para ayudar a la evaluación de dosis a los miembros del público y la elección de las opciones de gestión.

## **2.3 Eficacia**

La posible eficacia de las opciones de gestión se describe en las hojas de datos de cada una (ver [Sección 3](#)). El tratamiento normal del agua puede ser eficaz para la eliminación de radionucleidos de la misma tal y como se muestra en la [Hoja de Datos 4](#). En la [Sección 5.1](#) se proporciona información sobre las concentraciones de actividad en el agua potable que se podrían esperar tras los procesos de tratamiento de agua habituales, y se describe una metodología para estimar la eficacia del tratamiento del agua en una planta de tratamiento específica. La información recogida en la sección se puede utilizar también para valorar la posible eficacia de añadir procesos de tratamiento adicionales en las plantas (como se describe en la [Hoja de Datos 5](#)).

## **2.4 Monitorización**

En la [Sección 5.2](#) se dan indicaciones sobre la monitorización de los suministros de agua potable, las capacidades de análisis requeridas y las prioridades de dicha monitorización.

## 2.5 Impacto radiológico

Si un incidente radiológico afecta a una fuente de agua potable, entonces es probable que el agua pase por una planta de tratamiento antes de ser suministrada al consumidor. De esta manera, cualquier incidente de este tipo podría conllevar la exposición a la radiación no solo del consumidor del agua potable sino también de los operarios que trabajen en cualquier planta de tratamiento afectada.

Con el fin de evaluar cualquier impacto radiológico sobre el consumidor, se necesita información sobre si el agua contaminada ha sido tratada o no, si cualquier tratamiento posterior habitual eliminará radiactividad de dicha agua y qué factores es probable que influyan en la eliminación. En la [Sección 4](#) se comenta la información sobre la posible eficacia de varios tratamientos para la eliminación, y en la [Hoja de Datos 4](#) se recopila dicha información. Las dosis a los consumidores debidas a la ingestión de agua contaminada también han de ser estimadas y se dan en el [Apéndice B](#).

Si el tratamiento del agua elimina radionucleidos de la misma, entonces la actividad, bien se concentrará en residuos tales como los lodos resultantes del tratamiento llevado a cabo, o bien quedará retenida en la planta de tratamiento, sobre distintas superficies o en los mecanismos de filtrado. Esta contaminación puede dar lugar a dosis a los operarios que trabajen en la planta. En el [Apéndice B](#) se recoge información sobre cómo evaluar las dosis potenciales a los operarios que trabajen en las plantas.

## 2.6 Eliminación de residuos

### 2.6.1 Generación de residuos

Si el tratamiento del agua elimina radionucleidos presentes en la misma, la actividad se concentrará entonces en los residuos resultantes del tratamiento llevado a cabo, o quedará retenida en las plantas de tratamiento sobre distintas superficies o en los materiales filtrantes. Por ejemplo, en el [Apéndice B](#) se recoge información sobre las posibles concentraciones de actividad en los lodos residuales y los materiales filtrantes para los tratamientos habituales del agua de floculación/clarificación y filtrado por unidad de concentración de actividad en el agua sin tratar que entra en la planta. El agua tratada también puede constituir en sí misma un residuo si las concentraciones de actividad en ella exceden los NIA y se decide que no se puede utilizar tanto para beber como para otros fines como podrían ser la limpieza y la descarga de inodoros.

### 2.6.2 Eliminación de residuos

La enorme escala a la que trabajan las plantas de tratamiento de agua supone que se podrían generar volúmenes considerables de material residual, especialmente si se utilizan lechos filtrantes de arena a gran escala. Los tipos de residuos que podrían generarse son:

- lodos procedentes del tratamiento del agua;
- agua residual procedente del lavado de los filtros;
- agua residual procedente de la desecación de lodos;
- materiales filtrantes, como por ejemplo arena, procedentes de la sustitución o reposición de los lechos filtrantes;

- agua tratada que no sea considerada potable.
- Los residuos específicos que podrían generarse debido a la implementación de cada opción de gestión se dan en las hojas de datos de cada una de las seis opciones.

En condiciones normales de operación, los productos residuales del tratamiento del agua se eliminan a través de diversas rutas, como por ejemplo, a través del alcantarillado, cursos de agua, vertederos convencionales y el esparcimiento sobre el terreno, todas ellas sujetas a consentimiento por parte de las agencias medioambientales pertinentes. En el caso de un incidente radiológico, habría que revisar las prácticas habituales dependiendo de los radionucleidos, las concentraciones de actividad y las cantidades. La evaluación y selección de las opciones de eliminación de residuos quedan fuera del alcance de este Manual, constituyendo un área de trabajo que requiere un análisis posterior. En el [Manual de Áreas Habitadas](#) se da información de ayuda para la evaluación del impacto de la eliminación de residuos líquidos y sólidos.

## 2.7 Coste económico

La predicción del coste económico de la implementación de las opciones de gestión y del programa de vigilancia de apoyo es difícil y no se ha incluido en este Manual. Habrá costes directos, como aquellos originados por la implementación de las opciones de gestión, los debidos a la pérdida del suministro normal de agua y a la manipulación de los residuos, así como costes indirectos, como los producidos por el impacto del incidente en la confianza del público en las empresas gestoras del suministro de agua. La magnitud de estos costes dependerá de muchos factores, como el periodo de tiempo durante el que se implemente la opción de gestión y la escala espacial del impacto del incidente sobre el suministro de agua potable. En la [Tabla 2.2](#) y [Tabla 2.3](#) se enumeran algunos costes importantes debidos a la implementación de las opciones de gestión y la pérdida de suministro normal de agua, respectivamente.

### **Tabla 2.2 Coste económico directo debido a la implementación de las opciones de gestión**

---

Laboral: salarios para el personal implicado (puede ser necesario suplementarlo para el trabajo a realizar), costes de protección radiológica, necesidad de incorporar personal adicional

---

Equipamiento específico: algunas opciones de gestión requieren equipos especiales que puede que haya que alquilar o comprar (coste de inversión) y, posteriormente, mantener o eliminar (por ejemplo, camiones cisterna, equipos para nuevos procesos de tratamiento adicionales, unidades de ósmosis inversa y filtros)

---

Consumibles: productos específicos (por ejemplo, aditivos para el tratamiento del agua como minerales de arcilla o carbón activado)

---

Transporte (por ejemplo, de agua embotellada)

---

Toma de muestras de agua y análisis de laboratorio como apoyo para las opciones de gestión

---

**Tabla 2.3 Coste económico directo debido a la pérdida del suministro normal de agua**

Valor del agua potable tratada
Coste de la eliminación de agua tratada
Compensación pagada a los consumidores
Mantenimiento de las plantas de tratamiento y red de distribución

## 2.8 Legislación sobre agua potable

La Directiva sobre Agua Potable 98/83/CE publicada por la Comisión Europea (CE) especifica valores para dos parámetros indicadores radiológicos relativos a la calidad del agua [CE, 1998]. Esta Directiva ha de ser utilizada como base para la legislación específica sobre calidad del agua en los Estados Miembro. En el proceso de trasposición de la Directiva sobre Agua Potable a su propia legislación nacional, los Estados Miembro de la Unión Europea pueden incluir requisitos adicionales, como por ejemplo, regular sustancias adicionales que sean importantes dentro de su propio territorio o establecer niveles más exigentes. La Directiva permite que los Estados Miembro eximan de su cumplimiento a los suministros de agua que sirvan a menos de 50 personas o que proporcionen menos de 10 m<sup>3</sup> de agua potable al día como media. Esto implica que la calidad del agua potable tanto de suministros públicos como privados puede que se regule de manera diferente en distintos países. Además, los distintos países pueden tener de manera individual otra legislación específica relativa a situaciones de emergencia.

La legislación y normativa nacionales deberían incluirse en este apartado como parte de la personalización del manual, tal y como se describe más adelante en la [Sección 4](#).

## 2.9 Factores sociales y éticos

Las consecuencias de un incidente radiológico dan lugar, además de a problemas técnicos, relacionados con la salud y radiológicos, a cuestiones sociales y éticas. La contaminación radiológica a gran escala tiene un impacto sobre las condiciones de vida tanto a nivel individual como comunitario (es decir, sobre la salud, la economía y el medio ambiente) y puede afectar a las relaciones a distintos niveles, tanto dentro como fuera del área contaminada. Los factores sociales y éticos son también importantes en la gestión de áreas contaminadas. Por ejemplo, al decidir qué opción de gestión debería llevarse a cabo, es importante entender las implicaciones que conlleva cualquier acción y tener en cuenta las inquietudes individuales y comunitarias, en particular para las opciones a largo plazo. Debería reconocerse la necesidad de implicar a las partes interesadas locales en la identificación de problemas y en el desarrollo de soluciones. Al definir la estrategia de recuperación, los responsables de la toma de decisiones deberían tener en cuenta tanto los puntos de vista sociales y éticos como los criterios técnicos. Por ejemplo, la mezcla de diferentes suministros de agua para reducir las concentraciones de actividad globales es una opción relativamente directa y barata que ya se ha usado para otros tipos de contaminante. Sin embargo, esta opción podría ser percibida como que se están diluyendo y dispersando radionucleidos por el sistema de

distribución de agua, afectando con ello a más consumidores. Los factores sociales y éticos se incluyen en las hojas de datos para cada opción de gestión.

## 2.10 Referencias

EC (1998). Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities, Brussels.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 3

<b>3</b>	<b>HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN</b>	<b>33</b>
3.1	La plantilla de hoja de datos	33
3.2	Las hojas de datos y las principales actualizaciones	33
3.3	Historia de la hoja de datos	34
3.4	Suministros de agua potable no regulados	39
3.5	Referencias	39
	Tabla 3.1 Plantilla de hoja de datos	35
	Tabla 3.2 Índice de las opciones de gestión para agua potable con enlaces a las hojas de datos	38
	Tabla 3.3 Historia del documento de las hojas de datos	38
	Tabla 3.4 Eficiencias de eliminación de los tratamientos del agua en función del elemento y del proceso de tratamiento	55



## 3 HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

### 3.1 La plantilla de hoja de datos

Este Manual contiene 6 opciones de gestión que pueden ser implementadas para el agua potable en el caso de que se produzca un incidente o accidente nuclear. Hay una gran cantidad de información sobre cada una de estas opciones de gestión que debe ser tenida en cuenta antes de que se pueda tomar una decisión sobre cuál(es) es(son) la(s) opción(es) más apropiada(s). Como se ha señalado en la [Sección 1.4](#), opciones científicamente justificadas y basadas en criterios de protección radiológica pueden no ser viables al tener en cuenta la percepción pública y otros factores sociales y éticos. En las hojas de datos se incluyen estos factores. Se diseñó una plantilla para registrar la información sistemáticamente en un formato estandarizado, teniendo en cuenta la mayoría de los criterios que los responsables de la toma de decisiones se supone que desearían valorar al evaluar las diferentes opciones. La plantilla incluye una breve descripción de la opción, sus principales características, limitaciones, eficacia, viabilidad, residuos generados, tipos de dosis adicionales en las que se incurre, costes, efectos secundarios, y un resumen de la experiencia práctica en la implementación de la opción. La [Tabla 3.1](#) presenta la plantilla con un breve resumen de la información que aparece debajo de cada apartado.

### 3.2 Las hojas de datos y las principales actualizaciones

El formato y el contenido de las hojas de datos están basados en gran medida en documentos similares desarrollados inicialmente en la versión 1 del *UK Recovery Handbook (HPA-RPD, 2005)* basado en el trabajo realizado bajo el proyecto europeo *STRATEGY (STRATEGY, 2003)* y desarrollado posteriormente dentro del proyecto EURANOS (Brown *et al.*, 2007), y en la versión 3 del *UK Recovery Handbook (HPA-RPD, 2009)*. Dentro de EURANOS, se desarrollaron nuevas hojas de datos como resultado de la revisión por pares y las aportaciones de las partes interesadas europeas. En este Manual, la hoja de datos previa de EURANOS para el "tratamiento de agua en las plantas de tratamiento de agua" se ha dividido en dos, para reflejar la diferencia entre mantener el tratamiento normal del agua durante un incidente radiológico y modificar dicho tratamiento. La segunda de estas dos nuevas hojas de datos trata la posibilidad de aumentar la eficacia del tratamiento en la eliminación de radionucleidos del agua tanto mediante la mejora de cualquier tratamiento ya existente, como añadiendo nuevos procesos al mismo. También se ha incluido información adicional obtenida de las empresas gestoras del suministro de agua del Reino Unido, en particular sobre tratamiento de agua, y de la misma manera se podría personalizar posteriormente para cada país individualmente.

En la [Tabla 3.2](#) se da un índice de las opciones de gestión incluidas. Las opciones se tratan en las hojas de datos de manera genérica y su implementación real dependería de las prácticas habituales utilizadas por cada compañía/suministradora de agua específica o, en el caso de suministros de agua privados, por las personas responsables de regular los mismos.

### **3.3 Historia de la hoja de datos**

La historia del desarrollo de las hojas de datos se da en la [Tabla 3.3](#). Cualquier información adicional relevante, así 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 3.1 Plantilla de hoja de datos\*

<b>Nombre de la opción de gestión</b>	
Objetivo	Objetivo principal de la opción de gestión (por ejemplo, la reducción de la dosis externa o interna).
Otros beneficios	Objetivos secundarios de la opción (si hay alguno). Por ejemplo, el objetivo principal puede ser la reducción de la dosis interna, mientras que un beneficio adicional podría ser una reducción limitada en la dosis externa.
Descripción de la opción de gestión	Breve descripción de cómo llevar a cabo la opción de gestión.
Objeto de interés	Tipo de objeto sobre el que se aplicará la opción (por ejemplo, suelo, suministro de agua potable).
Radionucleidos de interés	Radionucleido(s) a los que está dirigida la opción. Los radionucleidos considerados en el proyecto EURANOS se han asignado a una de estas tres categorías: <b>Aplicabilidad conocida:</b> Radionucleidos para los que hay evidencia de que la opción será eficaz. <b>Aplicabilidad probable:</b> Radionucleidos para los que no hay evidencia directa de que la opción será eficaz pero para los que se podría esperar que así fuera. <b>No aplicable:</b> Radionucleidos para los que hay evidencia de que la opción no será eficaz. Se dan razones para ello.
Escala de aplicación	Indicación de si la opción puede ser aplicada a pequeña o a gran escala
Vía de exposición previa a la intervención	Vía(s) a través de la(s) cual(es) las personas pueden estar expuestas como resultado de la contaminación, antes de la implementación de la opción (por ejemplo, inhalación, ingestión, exposición externa).
Tiempo de aplicación	Tiempo transcurrido desde el accidente o incidente en el momento en que se aplica la opción. Puede ser previo al depósito (es decir, medidas que se pueden implementar cuando se identifica un riesgo potencial de contaminación pero antes del paso de la masa de aire contaminado), fase inicial (días), fase intermedia (semanas-meses), o fase de recuperación (meses-años). Se da una indicación de la frecuencia de aplicación donde sea apropiado (por ejemplo, anualmente, etc.).
Restricciones	Proporciona información sobre los distintos tipos de restricciones que hay que tener en cuenta antes de aplicar la opción de gestión.
Restricciones legales	Leyes relativas, por ejemplo, al suministro de agua potable y al cumplimiento de los estándares de calidad
Restricciones sociales	Las restricciones sociales incluyen la aceptabilidad de la opción por parte de la población afectada o de los trabajadores responsables de implementarla.
Restricciones del entorno	Restricciones de naturaleza física en el entorno, como la disponibilidad de suministros de agua alternativos, tratada o no.
Eficacia	Proporciona información sobre la eficacia de la opción de gestión y los factores que afectan a dicha eficacia.
Eficacia de la opción de gestión	Eficacia en la reducción de la concentración de actividad en el objetivo (por ejemplo, agua potable).
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	Factores técnicos (por ejemplo, fuente de agua no tratada y características químicas y físicas de la contaminación) y sociales (por ejemplo, si la opción es aceptable para los miembros del público).
Viabilidad	Proporciona información sobre todo el equipamiento y las instalaciones requeridas para llevar a cabo la opción de gestión.
Equipamiento específico requerido	Equipamiento principal necesario para llevar a cabo la opción.
Equipamiento auxiliar requerido	Equipamiento secundario que puede ser necesario para implementar la opción (por ejemplo, equipos de monitorización, camiones cisterna).
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	Servicios públicos (por ejemplo, suministros de agua y eléctrico) e infraestructuras (por ejemplo, edificios y plantas de producción) que pueden ser necesarios para implementar la opción.

Consumibles requeridos	Consumibles que pueden ser necesarios para implementar la opción (por ejemplo, contenedores, botellas y adsorbentes)
Habilidades requeridas	Habilidades que pueden ser requeridas para implementar la opción, siendo necesario el entrenamiento de los operarios.
Precauciones de seguridad requeridas	Precauciones de seguridad que puede ser necesario tomar antes de que el operario pueda implementar la opción.
Otras limitaciones	Limitaciones a la viabilidad que no están recogidas en otros apartados (por ejemplo, la capacidad de almacenamiento).
Residuos	Algunas opciones generan residuos cuya gestión debe ser cuidadosamente tenida en cuenta en el momento de elegir la opción.
Cantidad y tipo	Naturaleza y volumen de los residuos (por ejemplo, cantidad de lodos resultantes del tratamiento del agua, agua tratada). Además, se indica si los residuos están contaminados y, si es así, el nivel de contaminación comparado con el material original.
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Tipo de vehículo necesario para transportar los residuos. Necesidad de tratar los residuos <i>in situ</i> o en una instalación fuera del emplazamiento. Opciones para el almacenamiento si no hay una opción de eliminación directa.
Factores que influyen en la problemática de los residuos	Factores que pueden influir en la manera de hacer frente a los residuos (por ejemplo, aceptabilidad pública y viabilidad legal del tratamiento de los residuos o de las vías de eliminación).
Dosis	Proporciona información sobre cómo la opción de gestión introduce cambios en la distribución de dosis a los individuos y las poblaciones.
Dosis adicionales	Dosis adicionales que pueden recibir los individuos en relación con la implementación de la opción (por ejemplo, operarios, miembros del público). Los procedimientos adoptados para proteger a los operarios (si se adopta alguno) influyen en estas dosis. La inclusión de una vía en las hojas de datos implica que es necesario tenerla en cuenta; puede no ser importante en determinadas circunstancias.
Costes de intervención	Proporciona información sobre los costes directos en los que se puede incurrir debido a la implementación de la opción de gestión.
Equipamiento	Coste del equipamiento principal.
Consumibles	Coste de los consumibles.
Tiempo de operario	Tiempo necesario para llevar a cabo la opción por unidad a tratar del objeto de interés.
Factores que influyen en los costes	Tamaño y accesibilidad del objeto de interés a tratar. Estacionalidad. Disponibilidad de equipamiento y consumibles en el área contaminada. Necesidad de mano de obra adicional. Nivel salarial en la zona.
Costes de compensación	Coste de la pérdida de producción, pérdida de uso.
Costes de residuos	Coste de la gestión de cualquier residuo que surja, incluida la eliminación final.
Supuestos	Cualquier otro supuesto que pueda influir significativamente en los costes de intervención.
Necesidades de comunicación	Identificación de las posibles necesidades de comunicación, mecanismos y destinatarios.
Evaluación de los efectos secundarios	Proporciona información sobre los efectos secundarios en los que se incurre tras la implementación de la opción de gestión.
Consideraciones éticas	Posibles aspectos éticos positivos y/o negativos (por ejemplo, fomento de la autoayuda, requerimiento del consentimiento informado de los trabajadores, distribución de costes y beneficios).
Impacto medioambiental	Impacto que una opción puede tener sobre el medio ambiente (por ejemplo, sobre cursos naturales de agua).
Impacto agrícola	Impacto que una opción puede tener sobre la futura aptitud del terreno para uso agrícola (por ejemplo, el acondicionamiento del suelo utilizando lodos residuales, o la disminución del agua disponible para riego).

## HOJAS DE DATOS DE LAS OPCIONES DE GESTIÓN

Impacto social	Impacto que una opción puede tener sobre la conducta y la confianza de la sociedad en las instituciones.
Otros efectos secundarios	Algunas opciones pueden tener otros efectos secundarios (por ejemplo, el racionamiento del suministro de agua o restricciones sobre el uso de la misma).
Opinión de las partes interesadas	Opinión de las partes interesadas del Reino Unido y Europa (a través del proyecto EURANOS) obtenidas como parte del desarrollo de los manuales de recuperación.  No incluida para el manual de agua potable.
Experiencia práctica	Experiencia más actualizada en la realización de la opción de gestión. Algunas opciones solo han sido probadas a una escala limitada, mientras que otras son prácticas habituales.
Referencias clave	Referencias a publicaciones clave que conducen a otras fuentes de información.
Comentarios	Cualquier otro comentario adicional que no esté recogido en los apartados anteriores.
Historia del documento	Historia de las publicaciones previas que han conducido a la formulación de la hoja de datos.

\*adaptado de Nisbet *et al.*, 2004.

**Tabla 3.2 Índice de las opciones de gestión para agua potable con enlaces a las hojas de datos<sup>a</sup>**

Número	Descripción de la opción de gestión
<b>SUMINISTROS DE AGUA PÚBLICOS</b>	
11	Suministro alternativo de agua potable
12	Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente
13	Mezcla controlada de suministros de agua potable
14	Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)
15	Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)
16	Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)
<b>SUMINISTROS DE AGUA PRIVADOS</b>	
11	Suministro alternativo de agua potable
14	Tratamiento normal del agua (respaldado por un programa de monitorización)
15	Modificación del tratamiento del agua
16	Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)
a) El orden en el que se presentan las hojas de datos no debería interpretarse como el orden preferible para su implementación. Deberían tenerse en cuenta todas las opciones.	

**Tabla 3.3 Historia del documento de las hojas de datos**

Número	Historia del documento
1-5	<p><b>Proyecto STRATEGY, 2006.</b> Autores: A Liland, H Thørring and T Bergan (Norwegian Radiation Protection Authority). Contribuciones: NA Beresford and BJ Howard (Centre for Ecology and Hydrology, UK), D Oughton (Agricultural University of Norway), J Hunt (University of Lancaster, UK)</p> <p><b>Proyecto STRATEGY, revisión por pares:</b> John Brittain, University of Oslo, Norway.</p> <p><b>UK Recovery Handbook 2005.</b> Autores: J Brown y G Roberts (HPA-RPD, UK). Actualizado para el Reino Unido y adición de nuevo material.</p> <p><b>EURANOS Recovery Handbook, 2007.</b> Desarrolladores: D Hammond y J Brown, HPA, UK. Hojas de datos actualizadas y ampliadas.</p> <p><b>EURANOS, revisión por pares:</b> NA Beresford y J Smith (Centre for Ecology and Hydrology, UK); L Monte (Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA), Italy); R Saxen, A Rantavaara (Radiation and Nuclear safety Authority (STUK), Finland); B Tangena (RIVM, Netherlands).</p> <p><b>UK Recovery Handbook, 2009.</b> Desarrolladores: Brown, J y Hammond, D, HPA-RPD, UK</p>
6	<p><b>EURANOS Recovery Handbook, 2007.</b> Autores: D Hammond y J Brown, HPA.</p> <p><b>EURANOS, revisión por pares:</b> NA Beresford y J Smith (Centre for Ecology and Hydrology, UK); L Monte (Italian National Agency for New Technologies, Energy and the Environment (ENEA), Italy); R Saxen, A Rantavaara (Radiation and Nuclear safety Authority (STUK), Finland); B Tangena (RIVM, Netherlands)</p> <p><b>UK Recovery Handbook, 2009.</b> Autores: D Hammond y J Brown, HPA-RPD. Hojas de datos EURANOS actualizadas para el Reino Unido. Hoja de datos denominada " Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)".</p>
1-6	<p><b>Traducción al castellano:</b> Alfonso Uruburu Rodríguez, Eduardo Gallego Díaz. Departamento de Ingeniería Nuclear. Universidad Politécnica de Madrid (UPM).</p>

### 3.4 Suministros de agua potable no regulados

Las opciones de gestión para suministros de agua potable no regulados no se tratan en detalle. Sin embargo, se enumeran más abajo algunas de las cuestiones que deberían tenerse en cuenta en relación a los suministros de agua no regulados tras una liberación de contaminación radiactiva al medio ambiente.

Si se ha producido un incidente en un área rural, los campistas, excursionistas, etc. en el área afectada puede que no sean conscientes de dicho incidente. Deberían difundirse a través de los medios avisos acerca del consumo de fuentes de agua abiertas, aunque quizás no sea suficiente para advertir a todo el mundo que pudiera verse potencialmente afectado. También serían necesarias medidas adicionales, como el despliegue de advertencias claras en áreas remotas.

Puede ser necesario proporcionar monitorización personal para los campistas y excursionistas que hayan ingerido agua de fuentes contaminadas. En la [Sección 5.1](#) se puede encontrar cierta información que permite estimar las concentraciones de actividad en el agua de lluvia basándose en los niveles de depósito.

### 3.5 Referencias

- Brown J, Hammond D and Kwakman P (2007). Generic Handbook for assisting in the management of contaminated inhabited areas in Europe following a radiological emergency. Part VI: Management of Drinking Water. Se puede obtener de la página web de EURANOS <http://www.euranos.fzk.de>.
- HPA-RPD (2005). UK Recovery Handbook for Radiation Incidents. HPA-RPD-002 (ISBN 0-85951-559-1). Disponible en <http://www.hpa.org.uk>.
- HPA-RPD (2009). UK Recovery Handbook for Radiation Incidents. HPA-RPD (en versión impresa). Disponible en <http://www.hpa.org.uk>.
- Nisbet AF, Mercer JA, Hesketh N, Liland A, Thørring H, Bergen T, Beresford NA, Howard BJ, Hunt J and Oughton DH (2004). Datasheets on countermeasures and waste disposal options for the management of food production systems contaminated following a nuclear accident. Chilton, NRPB-W58.
- STRATEGY. (2003). CD on practicability of individual countermeasures for rural and urban (including industrial) environments taking into account waste, doses and stakeholder opinion. Deliverable 2 of the STRATEGY project. EC Contract No: FIKR-CT-2000-00018. Disponible en <http://www.strategy-ec.org.uk/output/outputs.htm>.

<b>1 Suministro alternativo de agua potable</b>	
Objetivo	Reducir las dosis por ingestión a los consumidores proporcionando un suministro alternativo de agua potable destinada a la bebida en el caso de que las concentraciones de actividad en el agua (tratada) excedan los NIA.
Otros beneficios	Ninguno.
Descripción de la opción de gestión	<p>Si se aplicaran restricciones sobre el uso del suministro de agua potable debido a la presencia de concentraciones de actividad por encima de los niveles de intervención, sería necesario proporcionar fuentes alternativas de agua potable para beber y preparar alimentos. Esta hoja de datos tiene en cuenta el uso de: agua embotellada; agua suministrada mediante camiones cisterna en puntos de distribución procedente de otras fuentes de agua, por parte de las compañías gestoras del suministro.</p> <p>Es probable que se aconseje seguir utilizando el suministro de agua normal para saneamiento e higiene, sin que esto suponga un aumento significativo del peligro.</p> <p>Si el nivel de contaminación fuera suficientemente alto, entonces, en casos extremos, el suministro normal podría ser interrumpido totalmente. Este caso no se ha tratado con detalle en esta hoja de datos (ver comentarios).</p>
Objeto de interés	Agua potable.
Radionucleidos de interés	Aplicabilidad conocida: todos los radionucleidos.
Escala de aplicación	<p>Pequeña - media.</p> <p>Sería necesario proporcionar una cantidad suficiente de agua potable para mantener a la población afectada en caso de que se impusieran restricciones al suministro de agua habitual. También sería necesario proveer suficiente agua potable para cumplir con las obligaciones legales impuestas al suministrador. En general, el suministro alternativo de agua solo podría mantenerse durante un periodo corto de tiempo (días), y solo para un número relativamente pequeño de personas en comunidades locales o regionales. Es posible que se tarde hasta un día en planificar y organizar la distribución de agua embotellada o mediante camiones cisterna. Es importante, por ello, fomentar la utilización del suministro de agua existente para uso de saneamiento e higiene, con el fin de evitar otros problemas de salud pública.</p>
Vía de exposición previa a la intervención	Exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	<p>Corto - medio plazo.</p> <p>La opción de gestión tendrá que mantenerse durante el tiempo en el que esté vigente cualquier restricción sobre el uso de agua potable.</p>
Restricciones	
Restricciones legales	Los suministros alternativos de agua potable tendrían que cumplir con los estándares de calidad exigidos al suministro normal. Sería necesario proveer la cantidad de agua suficiente para cumplir con las obligaciones legales impuestas al suministrador. Ver <a href="#">Sección 2.8</a> .
Restricciones sociales	La gente no querrá trasladarse grandes distancias hasta los puntos de distribución. Las personas mayores y con discapacidad necesitarán ayuda para llevar el agua hasta sus casas. La compra masiva en las tiendas es posible que tenga como resultado la escasez de suministro de agua embotellada. Sería necesario disponer de suministros individuales separados para hospitales, escuelas, edificios de oficinas y cualquier otro local que contenga un gran número de personas. Aunque el suministro normal de agua puede que siga siendo adecuado para uso de saneamiento e higiene, convencer a la gente de que es seguro bañarse en esa agua, pero no bebérsela o cocinar con ella, puede ser difícil.
Restricciones del entorno	Las inclemencias del tiempo pueden dificultar la puesta en funcionamiento de suministros alternativos. Las áreas remotas puede que no reciban dichos suministros alternativos. Una contaminación generalizada o un periodo de sequía podrían limitar la disponibilidad de los mismos.
Eficacia	



<b>1 Suministro alternativo de agua potable</b>	
Eficacia de la opción de gestión	Si el suministro alternativo estuviera libre de contaminación y no se utilizara el agua restringida, esta opción sería eficaz al 100% en la reducción de las concentraciones de actividad en el agua. Un suministro alternativo puede estar menos contaminado pero ser todavía adecuado para su consumo, en cuyo caso la reducción de las concentraciones de actividad será menor. El agua embotellada de las tiendas debería estar libre de contaminación, ya que, normalmente, la fuente no es local y podría haberse embotellado antes de que se produjera el incidente. Además, el agua embotellada ya ha superado un cribado para cumplir con los controles de calidad exigidos.
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	Algunas personas puede que ignoren las restricciones y sigan bebiendo agua contaminada. Algunas personas puede que no se enteren de que se han impuesto restricciones y de que hay un suministro alternativo disponible. La escasez de suministros alternativos podría llevar a que la gente bebiera agua contaminada. Si el área afectada abarcara grandes cantidades de personas, es posible que los suministros no fueran capaces de satisfacer la demanda.
Viabilidad	
Equipamiento específico requerido	Equipos utilizados para el transporte de agua (vehículos para transporte y camiones cisterna). Instalaciones de almacenamiento para las reservas de agua. Contenedores para el transporte de agua desde los puntos de distribución hasta los hogares.
Equipamiento auxiliar requerido	Ninguno.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	Coordinación para la distribución de suministros. Instalaciones de vigilancia para supervisar la eficacia. Planificación anticipada para determinar por cuanto tiempo se puede mantener la medida. En circunstancias extremas puede ser necesaria la presencia policial en los puntos de distribución. Un número suficiente de conductores para el transporte de agua.
Consumibles requeridos	Ninguno.
Habilidades requeridas	Ninguna.
Precauciones de seguridad requeridas	Posiblemente el control de grandes cantidades de personas en los puntos de distribución. Protección para el distribuidor. Seguridad en las áreas de almacenamiento.
Otras limitaciones	Disponibilidad de camiones cisterna. Algunas empresas gestoras del suministro de agua puede que cuenten con sus propios vehículos de distribución o que tengan acuerdos con otras empresas para el suministro de los mismos en caso de que se produzca un incidente. En ambos casos, el equipamiento estará disponible en la zona, aunque puede que no con la rapidez necesaria si se requiere un gran número de ellos. En incidentes a gran escala, puede que se necesiten más recursos que los que puedan tener disponibles las empresas gestoras del suministro de agua de manera individual o agrupaciones de las mismas.
Residuos	
Cantidad y tipo	Ninguno a menos que se interrumpa el suministro de agua y sea necesaria la eliminación de agua tratada contaminada (ver comentarios). Si el agua está contaminada antes del tratamiento, los residuos resultantes de dicho tratamiento pueden estarlo también (ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> ).
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Acudir a las instrucciones sobre eliminación de agua contaminada elaboradas por parte de las empresas gestoras del suministro (ver <a href="#">Sección 2.6</a> ).
Factores que influyen en la problemática de los residuos	Si es necesaria la eliminación de agua contaminada: volumen de agua que es necesario eliminar; concentraciones de actividad en el agua; radionucleidos presentes.
Dosis	

<b>1 Suministro alternativo de agua potable</b>	
Dosis adicionales	<p>La distribución de suministros de agua alternativos puede conllevar dosis adicionales para los encargados de proporcionar dichos suministros, debidas a las siguientes vías de exposición:</p> <p>dosis externas gamma debidas a la presencia de material contaminado sobre el suelo y otras superficies.</p> <p>ingestión inadvertida de polvo contaminado</p> <p>inhalación de polvo en suspensión</p> <p>Se puede encontrar información adicional sobre las posibles dosis adicionales en un artículo relacionado (Oatway <i>et al</i>, 2007). Los equipos de protección personal -EPP- (como por ejemplo, guantes y máscaras) pueden ser eficaces para reducir las posibles dosis debidas a las tareas a realizar, dependiendo de los radionucleidos presentes.</p> <p>Hay que señalar que estas dosis adicionales serían mucho menores que las dosis que recibirían los habitantes de las áreas afectadas</p>
Costes de intervención	
Equipamiento	El alquiler de vehículos, incluidos camiones cisterna.
Consumibles	Combustible y botellas o contenedores para el transporte de agua. Agua embotellada adquirida en tiendas y centros comerciales.
Tiempo de operario	<p>Tiempo de viaje de los conductores, posiblemente a horas intempestivas (fines de semana o fuera del horario laboral).</p> <p>Si se utilizan camiones cisterna, es necesario tomar muestras de agua de los mismos cada 48 horas y analizarla frente a un completo conjunto de contaminantes. Esto conllevaría la utilización de personal y una gran cantidad de recursos de laboratorio, según el número de camiones cisterna que sean necesarios.</p>
Factores que influyen en los costes	La demanda de agua. La disponibilidad de suministros. Los precios del combustible.
Costes de compensación	Puede haber costes de compensación asociados a la pérdida del suministro normal de agua proporcionado por las empresas gestoras de dicho suministro.
Costes de residuos	Ninguno a menos que el suministro normal sea interrumpido y sea necesario eliminar el agua tratada contaminada. Ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> para los posibles residuos resultantes del tratamiento de agua contaminada.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Las personas necesitarán información acerca de: dónde se están aplicando restricciones y que hay suministros alternativos de agua disponibles; dónde se encuentran los puntos de distribución; los horarios de distribución; por cuánto tiempo se mantendrá esta situación.
Evaluación de los efectos secundarios	
Consideraciones éticas	La utilización de suministros alternativos de agua si estos están también contaminados, aunque sea en menor medida que los originales. Cualquier aumento en las dosis por ingestión (en comparación con un suministro no contaminado) debería ser sopesado con la necesidad de agua potable. La elección de los puntos de distribución debería realizarse en función de las necesidades del mayor número de personas. La posibilidad del aumento de los beneficios de los proveedores de agua embotellada. Aumento de los costes para el público si el agua embotellada no se subvenciona.
Impacto medioambiental	Si se somete a una presión excesiva una determinada fuente de agua, como puede ser un río o un embalse, podría haber un impacto medioambiental. Este problema se acentúa durante el periodo estival cuando, generalmente, los niveles de agua son mínimos.
Impacto agrícola	Se puede producir un impacto en la agricultura si se desvía el agua destinada en principio para este uso, lo que podría derivar en una escasez de la misma para regadío, en particular en condiciones donde los recursos de agua sean limitados. Puede que se suspendan las licencias de extracción de agua para uso agrícola.

<b>1 Suministro alternativo de agua potable</b>	
Impacto social	<p>Habría un impacto social a corto plazo. La gente tendría que planificar la recogida del agua. Puede que sea necesario el racionamiento para alargar la disponibilidad de los suministros. El malestar social debido a la escasez de suministro podría generar problemas en los puntos de distribución.</p> <p>Pérdida de confianza en la calidad del agua suministrada por las empresas gestoras al público (y a otros individuos por parte de los suministros privados).</p>
Otros efectos secundarios	Ninguno.
Experiencia práctica	Muchas empresas gestoras del suministro de agua tienen experiencia en la provisión del mismo mediante camiones cisterna en situaciones de emergencia debidas a la presencia de otro tipo de contaminantes, así como en desastres naturales, como por ejemplo inundaciones.
Referencias clave	<p>Oatway WB, Smith JG and Hesketh N (2007). Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton.</p> <p>Smith JT, Voitsekhovitch OV, Håkanson L and Hilton J (2001). A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs. <i>J Env Radioact</i>, <b>56</b>, 1-2.</p> <p>Voitsekhovitch O, Nasvit O, Los`y I and Berkovsky V (1997). Present thoughts on the aquatic countermeasures applied to regions of the Dnieper river catchment contaminated by the 1986 Chernobyl accident. <i>Studies in Environmental Science</i> 68. Freshwater and Estuarine Radioecology. Proceedings of an International Seminar, Lisbon, Portugal, 21-25 March 1994, pp 75-85. Oxford, Elsevier.</p>
Comentarios	Aunque puede que el agua no sea apta para su ingestión, es posible que sí que lo sea para saneamiento. Sin embargo, es posible que se interrumpa completamente el suministro de agua en las circunstancias más extremas. Esta opción solo debería tenerse en cuenta para periodos muy cortos de tiempo (horas) que permitan evitar al consumidor el pico de contaminación producido en el sistema, así como el decaimiento de los radionucleidos de vida muy corta.
Historia del documento (ver <a href="#">Tabla 3.3</a> )	<p>Proyecto STRATEGY, 2006. Hoja de Datos denominada "<i>Bans on drinking water consumption</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Hoja de Datos denominada "<i>Alternative Supply</i>".</p>

<b>2 Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente</b>	
Objetivo	Reducir las dosis por ingestión a los consumidores mediante la reducción de la contaminación radiactiva del agua potable en el caso de que las concentraciones de actividad en el suministro normal de agua (tratada) superen los NIA.
Otros beneficios	Ninguno.
Descripción de la opción de gestión	<p>Esta Hoja de Datos tiene en cuenta el cambio en el punto de captación dentro de un mismo embalse, en el curso de un río, la utilización de fuentes de agua alternativas y el trasvase de agua entre redes del sistema de distribución.</p> <p>Pueden pasar varios días o más hasta que la contaminación quede uniformemente distribuida en toda la columna de agua de los embalses, debido a su tamaño y profundidad, o al clima (cubierta de hielo, ciclo hidrológico, etc.). Es posible utilizar agua procedente de zonas más profundas del embalse antes de que la contaminación las alcance mediante la apertura de compuertas a mayor profundidad y usando agua que todavía no se haya contaminado.</p> <p>En el caso de los ríos, se podría captar el agua río arriba de la zona contaminada si hubiera disponibles varios puntos de captación. También se podría utilizar agua río abajo de la zona contaminada si el punto de captación estuviera lo suficientemente lejos como para que la contaminación no hubiera llegado allí todavía.</p> <p>Se podrían utilizar fuentes de agua alternativas, por ejemplo, cambiar la captación del río por pozos de extracción.</p> <p>Es posible que empresas gestoras del suministro cercanas compartan agua no contaminada, si hay reservas suficientes y existen redes de distribución que permitan transferir el agua a la zona deseada.</p>
Objeto de interés	Suministros de agua potable públicos. No adecuada para suministros de agua potable privados, en general (ver comentarios).
Radionucleidos de interés	Aplicabilidad conocida: todos los radionucleidos.
Escala de aplicación	Pequeña - media. Las empresas gestoras del suministro de agua podrían aplicar esta opción mientras se pueda mantener un suministro de agua potable suficiente, o hasta que la contaminación se haya dispersado o diluido lo necesario.
Vía de exposición previa a la intervención	Exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	<p>Corto plazo.</p> <p>Es necesario establecer prioridades en función de la vulnerabilidad de los suministros de agua a la emergencia radiológica. Los suministros de agua en superficie, como ríos y embalses, es posible que a corto plazo tengan una prioridad mayor que los pozos, lo que debería tenerse en cuenta a la hora de diseñar una estrategia de monitorización y de identificar los posibles suministros problemáticos. A largo plazo es posible que haya que enfocar la monitorización y la implementación de esta opción más en fuentes de agua subterráneas, como pueden ser los pozos.</p> <p>El cambio en el punto de captación o en la fuente debería llevarse a cabo tan pronto se confirme la contaminación del agua e implementarse de manera rápida. Se pueden aplicar solamente durante unos pocos días o semanas, hasta que la contaminación se mezcle completamente, por ejemplo en embalses, o hasta que la contaminación se haya extendido hasta el nuevo punto de captación, por ejemplo en ríos (a menos que el nuevo punto de captación esté río arriba con respecto a la liberación). Es improbable que se pueda utilizar a largo plazo a menos que exista la posibilidad de cambiar a pozos profundos que no hayan sido afectados por la contaminación del agua en superficie. Es necesario que los cambios realizados en las fuentes de suministro de agua vayan estrechamente ligados a un programa de monitorización muy detallado que asegure la sincronización óptima de los cambios.</p>
Restricciones	
Restricciones legales	Cualquier suministro de agua potable tiene que cumplir los estándares de calidad habituales para el agua potable. Ver <a href="#">Sección 2.8</a> .

<b>2 Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente</b>	
Restricciones sociales	Puede que haya problemas con respecto a la aceptación de cualquier posible contaminación residual en los suministros de agua; y es probable que dicha aceptación vaya relacionada con la disponibilidad de suministros alternativos, como por ejemplo agua embotellada.
Restricciones del entorno	Una contaminación extensa o la escasez de agua en periodos de sequía podrían reducir las opciones para cambiar los puntos de captación.
Eficacia	
Eficacia de la opción de gestión	Si el agua procedente del nuevo punto de captación o la nueva fuente no está contaminada, esta opción de gestión sería 100% efectiva en la reducción de las concentraciones de actividad en el agua potable.
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	La medida en que el agua en el nuevo punto de captación o fuente esté contaminada. Para captación en embalses, el agua tendría que tener la suficiente profundidad como para asegurar que dicha captación se hace de agua con niveles de concentración de actividad inferiores. El tiempo que tarda la contaminación en llegar a los puntos de captación o a las nuevas fuentes, como por ejemplo los pozos (es necesaria la monitorización).
Viabilidad	
Equipamiento específico requerido	A corto plazo solamente equipamiento de monitorización. Sin embargo, si se plantea esta opción de gestión a largo plazo (cambio a captación de pozos profundos) es posible que sea necesaria una infraestructura de tuberías y conductos.
Equipamiento auxiliar requerido	Puede que sea necesaria una monitorización adicional en los puntos de captación para asegurar que la contaminación no los ha alcanzado o que permanece bajo los niveles de intervención.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	Las empresas gestoras del suministro de agua deberían tener un sistema de control de distribución lo suficientemente flexible e integrado como para que les permita cambiar los puntos de captación y/o las fuentes. Esto supone que, probablemente, solo las empresas gestoras más grandes puedan implementar esta opción.
Consumibles requeridos	Ninguno.
Habilidades requeridas	No se necesitan habilidades específicas aparte de las que se utilizan habitualmente en las actividades normales de las empresas gestoras del suministro de agua
Precauciones de seguridad requeridas	Ninguna.
Otras limitaciones	Ninguna.
Residuos	
Cantidad y tipo	Esta opción no produce agua residual contaminada. Sin embargo, puede que haya agua tratada contaminada procedente del suministro original que sea necesario eliminar. Si se ha tratado agua contaminada previamente, los residuos resultantes del tratamiento puede que estén contaminados (ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> ).
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Será necesaria la eliminación y/o almacenamiento de los residuos resultantes del tratamiento del agua con las autorizaciones y permisos pertinentes.
Factores que influyen en la problemática de los residuos	Si es necesaria la eliminación de agua contaminada: volumen de agua que es necesario eliminar; concentraciones de actividad en el agua; radionucleidos presentes.
Dosis	
Dosis adicionales	La implementación de esta opción es poco probable que de lugar a alguna dosis adicional, de manera que no tienen que ser evaluadas.
Costes de intervención	
Equipamiento	Ninguno.
Consumibles	Ninguno.
Tiempo de operario	No habrá costes adicionales debidos a tiempo de operario ya que cualquier acción se puede llevar a cabo durante el curso natural de las actividades normales de trabajo, con la excepción de la monitorización en los puntos de captación.

<b>2 Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente</b>	
Factores que influyen en los costes	N/A
Costes de compensación	Ninguno.
Costes de residuos	Eliminación de agua tratada contaminada si es necesario. Ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> para los posibles residuos resultantes del tratamiento de agua contaminada.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Se pueden utilizar los canales habituales empleados por las empresas gestoras del suministro de agua para dar instrucciones a sus operarios. Sin embargo, la comunicación con las comunidades afectadas sobre las razones para elegir esta opción sería deseable y debería formar parte de una estrategia de comunicación e información más amplia.
<b>Evaluación de los efectos secundarios</b>	
Consideraciones éticas	Posible escasez de agua en otras zonas. El agua procedente del nuevo punto de captación puede que también esté contaminada aunque con niveles menores. Cualquier incremento en la dosis comparada con la anterior al incidente debería ser sopesado frente a la necesidad de suministro de agua potable a la población afectada.
Impacto medioambiental	Debería monitorizarse exhaustivamente la gestión de la captación para asegurar que se evita el producir daños permanentes a las fuentes naturales de agua. Por ejemplo, los cambios en el uso del agua de un embalse pueden afectar a la biota aguas abajo.
Impacto agrícola	Se puede producir un impacto en la agricultura si se desvía el agua destinada en principio para este uso, lo que podría derivar en una escasez de la misma para regadío, en particular en condiciones donde los recursos de agua sean limitados. Puede que se suspendan las licencias de extracción de agua para uso agrícola.
Impacto social	Puede que la demanda de agua embotellada aumente drásticamente si la gente la prefiere de esta manera (por cualquier motivo).
Otros efectos secundarios	Ninguno.
Experiencia práctica	Los cambios en la captación de agua se implementan de manera rutinaria como parte de la gestión del suministro de agua potable en otras situaciones de peligro. Sin embargo, la experiencia es limitada para el caso de incidentes que impliquen contaminación radiactiva. La implementación de esta opción en Kiev, tras el accidente de Chernobyl, proporciona experiencia práctica y, aunque hoy en día se piensa que se hizo de manera equivocada, muestra la importancia de elegir los nuevos puntos de captación de manera inteligente y correctamente justificada. (Smith JT <i>et al</i> , 2001, Voitsekhovitch <i>et al</i> , 1997).
Referencias clave	<p>Comans JA, Fernandez, Hilton J and de Bettencourt A. Studies in Environmental Science 68. Freshwater and Estuarine Radioecology. Proceedings of an International Seminar, Lisbon, Portugal, 21-25 March 1994, pp 75-85. Oxford, Elsevier.</p> <p>Oatway WB, Smith JG and Hesketh N (2007). Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton,</p> <p>Smith JT, Voitsekhovitch OV, Håkanson L, Hilton J (2001). A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs. <i>J Env Radioact</i>, <b>56</b>, 1-2.</p> <p>Voitsekhovitch O, Nasvit I, Los`y and Berkovsky V (1997). Present thoughts on the aquatic countermeasures applied to regions of the Dnieper river catchment contaminated by the 1986 Chernobyl accident. IN. Desmet G, Blust RNJ.</p>

## 2 Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente

Comentarios	<p>El cambio de la captación del río a pozos profundos puede que solamente sea una opción a corto plazo, si dichos pozos tienen una capacidad de suministro limitada en comparación con los ríos.</p> <p>Es probable que la eficacia de su implementación en embalses superficiales sea reducida y a corto plazo, además de contar con una aceptación limitada.</p> <p>El cambio de la fuente de agua o del punto de captación es improbable que sea una opción para suministros de agua privados ya que es poco probable que haya disponible una segunda fuente de agua no contaminada. Sin embargo, algunos suministros de agua privados tienen una fuente adicional de suministro en el caso de que una de ellas se pueda secar durante el verano. Hay que señalar que el agua procedente de la fuente alternativa a menudo no tiene buen sabor, por lo que no se podría utilizar a largo plazo.</p>
Historia del documento (ver <a href="#">Tabla 3.3</a> )	<p>Proyecto STRATEGY, 2006. Hoja de Datos denominada "<i>Regulation of flow of contaminated water through reservoirs</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Hoja de Datos denominada "<i>Change Abstraction Regime</i>".</p> <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Nombre de la Hoja de Datos revisada "<i>Changes to water abstraction point or location of water source</i>".</p>

<b>3 Mezcla controlada de suministros de agua potable</b>	
Objetivo	Reducir las dosis por ingestión a los consumidores mediante la dilución de la contaminación radiactiva presente en el agua potable en el caso de que las concentraciones de actividad en el agua suministrada (tratada) superen los NIA.
Otros beneficios	Ninguno.
Descripción de la opción de gestión	El agua contaminada se podría mezclar con agua no contaminada, o menos contaminada, si hay disponible más de un suministro en el punto de tratamiento o después del mismo. Se trata de un método eficaz para reducir las concentraciones de actividad por debajo de los Niveles de Intervención y se utiliza cuando es necesario para otros tipos de contaminante.
Objeto de interés	Suministros de agua potable públicos. No adecuada para suministros de agua potable privados, en general.
Radionucleidos de interés	Aplicabilidad conocida: todos los radionucleidos.
Escala de aplicación	Media.  Se podría utilizar a gran escala dependiendo de las opciones que haya para mezclar diferentes fuentes de agua tanto antes como después del tratamiento, y del tamaño de las redes de distribución de agua en la zona. La mezcla no debería reducir la cantidad de agua potable producida o suministrada a los hogares.
Vía de exposición previa a la intervención	Reducción de la exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	Corto - medio plazo.  La mezcla debería llevarse a cabo tan pronto se confirme la contaminación de una fuente de agua, e implementarse de manera rápida. La opción estaría en funcionamiento mientras los niveles de contaminación de la fuente de agua estuvieran por encima de los Niveles de Intervención.
<b>Restricciones</b>	
Restricciones legales	El suministro de agua potable mezclada tiene que cumplir los estándares de calidad habituales para el agua potable. Ver <a href="#">Sección 2.8</a> .
Restricciones sociales	Puede que haya problemas con respecto a la aceptación por parte del público de niveles residuales de contaminación en el suministro de agua. Es probable que dicha aceptación vaya relacionada con la disponibilidad de suministros alternativos, como por ejemplo agua embotellada. Mezclar agua contaminada con otra no contaminada supone que la contaminación se diluye. Será necesario explicar esto al público, que puede considerarlo una práctica inaceptable, especialmente si la gente que tiene un suministro de agua "limpio" pasa a recibir agua contaminada con niveles bajos de radiactividad.
Restricciones del entorno	Una contaminación extensa o la escasez de agua en periodos de sequía podrían reducir las opciones para llevar a cabo la mezcla.
<b>Eficacia</b>	
Eficacia de la opción de gestión	La eficacia de esta opción en la reducción de los niveles de contaminación en el agua depende de la medida en que la contaminación se haya diluido.  Será necesaria la monitorización más allá del punto donde se realiza la mezcla para asegurar que los niveles de contaminación se han reducido lo suficiente.
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	La medida en que la fuente de agua más limpia esté libre de contaminación y la velocidad con la que se pueda implementar la mezcla. La disponibilidad de fuentes de agua potable alternativas (menos contaminadas).
<b>Viabilidad</b>	
Equipamiento específico requerido	Ninguno.
Equipamiento auxiliar requerido	Ninguno.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	La empresa gestora del suministro de agua debe tener acceso a diferentes fuentes de agua y debe ser capaz de ajustar la cantidad de cada una que entra al sistema de distribución de agua potable.
Consumibles requeridos	Ninguno.
Habilidades requeridas	No se necesitan habilidades específicas aparte de las que se utilizan habitualmente por parte de la empresa de gestión del suministro de agua.



### 3 Mezcla controlada de suministros de agua potable

Precauciones de seguridad requeridas	Ninguna.
Otras limitaciones	Ninguna.
Residuos	
Cantidad y tipo	Esta opción no produce agua residual contaminada de manera directa. Sin embargo, puede que haya agua tratada contaminada procedente del suministro original que sea necesario eliminar. Si se ha tratado agua contaminada previamente, los residuos resultantes del tratamiento puede que estén contaminados (ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> ).
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Será necesaria la eliminación y/o almacenamiento de los residuos resultantes del tratamiento del agua con las autorizaciones y permisos pertinentes.
Factores que influyen en la problemática de los residuos	Si es necesaria la eliminación de agua contaminada: volumen de agua que es necesario eliminar; concentraciones de actividad en el agua; radionucleidos presentes.
Dosis	
Dosis adicionales	La implementación de esta opción es poco probable que de lugar a alguna dosis adicional, de manera que no tienen que ser evaluadas.
Costes de intervención	
Equipamiento	Ninguno a corto plazo. Si la opción se implementa como medida a largo plazo y la infraestructura existente fuera inadecuada, serían necesarias nuevas infraestructuras/construcciones.
Consumibles	Ninguno.
Tiempo de operario	Es posible que la mezcla se pueda llevar a cabo durante el transcurso normal de las actividades laborales. Sin embargo, puede que haya costes adicionales en cuanto a tiempo de operario, debido a la necesidad de llevar a cabo una evaluación completa de riesgos que permita asegurar que la reorganización de los suministros para permitir la mezcla no crea otros problemas, como la distribución de agua turbia o la sobrepresión en las tuberías de distribución.
Factores que influyen en los costes	N/A
Costes de compensación	Es improbable que sea de aplicación.
Costes de residuos	Ninguno de manera directa. Ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a> para la posible producción de residuos como resultado del tratamiento de agua contaminada.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Sería deseable que se informara a las comunidades afectadas acerca de los motivos de la elección de esta opción, formando parte de una estrategia de comunicación e información más amplia.
Evaluación de los efectos secundarios	
Consideraciones éticas	Posible escasez de agua en otras zonas. Las personas podrían recibir dosis debidas al agua potable mezclada, que de otra manera no recibirían. Cualquier incremento en las dosis a estas personas debería ser sopesado frente a la necesidad de suministrar agua potable a una población mayor.
Impacto medioambiental	Si se somete a una presión excesiva una determinada fuente de agua, como puede ser un río o un embalse, podría haber un impacto medioambiental. Este problema se acentúa durante el periodo estival cuando, generalmente, los niveles de agua son mínimos.
Impacto agrícola	Se puede producir un impacto en la agricultura si se desvía el agua destinada en principio para este uso, lo que podría derivar en una escasez de la misma para regadío, en particular en condiciones donde los recursos de agua sean limitados. Puede que se suspendan las licencias de extracción de agua para uso agrícola.
Impacto social	La mezcla de agua limpia y contaminada, sin importar cuán leve sea la contaminación, puede conducir a la pérdida de confianza por parte del público en el suministro de agua corriente. La demanda de agua embotellada puede aumentar drásticamente si la gente prefiere el agua de esta manera (por cualquier motivo), pero especialmente si se pierde la confianza en el suministro de agua corriente.

<b>3 Mezcla controlada de suministros de agua potable</b>	
Otros efectos secundarios	Restricciones sobre el uso de agua donde haya escasez.
Experiencia práctica	Las empresas gestoras del suministro tienen experiencia en la mezcla de suministros de agua. Tendrían que decidir si la fuente contaminada podría diluirse lo suficiente, en función de las fuentes de las que dispongan. Esta opción de gestión se utilizó ampliamente en la antigua Unión Soviética tras el accidente de Chernobyl.
Referencias clave	<p>Oatway WB, Smith JG and Hesketh N (2007). Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton,</p> <p>Smith JT, Voitsekhovitch OV, Håkanson L and Hilton J (2001). A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs. <i>J Env Radioact</i>, <b>56</b>,1-2.</p> <p>Voitsekhovitch O, Nasvit O, Los`y I and Berkovsky V (1997). Present thoughts on the aquatic countermeasures applied to regions of the Dnieper river catchment contaminated by the 1986 Chernobyl accident. <i>Studies in Environmental Science</i> 68. Freshwater and Estuarine Radioecology. Proceedings of an International Seminar, Lisbon, Portugal, 21-25 March 1994, pp 75-85. Oxford, Elsevier.</p>
Comentarios	
Historia del documento (ver <a href="#">Tabla 3.3</a> )	<p>Proyecto STRATEGY, 2006. Hoja de Datos denominada "<i>Switching or blending of drinking water supplies</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Hoja de Datos denominada "<i>Controlled blending</i>".</p> <p>EURANOS Recovery Handbook, 2007. Hoja de Datos denominada de nuevo "<i>Controlled blending of drinking water supplies</i>".</p>

#### 4 Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)

Objetivo	Seguir utilizando el tratamiento normal del agua para eliminar total o parcialmente la contaminación radiactiva en el agua potable y, con ello, las dosis debidas a la ingestión por parte de los consumidores.
Otros beneficios	No se producen cambios en las prácticas habituales.
Descripción de la opción de gestión	<p>Hay varios procesos que se utilizan de manera habitual en las plantas de tratamiento de agua para eliminar impurezas del agua potable. Todos estos procesos eliminarán radionucleidos hasta cierto punto. Los principales procesos que se utilizan son la floculación o clarificación, la filtración rápida o lenta por arena, la filtración por carbón activado, la filtración por membrana, el intercambio iónico y la ósmosis inversa.</p> <p>Sería necesario disponer de un programa de monitorización completo que respaldase esta opción y confirmase que el tratamiento del agua es eficaz para los radionucleidos de interés y para mantener las concentraciones de actividad en el agua tratada por debajo de los NIA durante el tiempo necesario. Hay que señalar que determinadas concentraciones de actividad por encima de los NIA pueden ser aceptables a corto plazo, en particular para el caso de radionucleidos de vida corta. Ver <a href="#">Sección 2.8</a> para obtener información adicional.</p>
Objeto de interés	Suministros de agua potable públicos. Adecuada para suministros de agua potable privados en los que se lleve a cabo un tratamiento.
Radionucleidos de interés	Aplicabilidad conocida: todos los radionucleidos hasta cierto punto, a excepción del Tritio (ver tabla de eficacia de eliminación al final de la Hoja de Datos).
Escala de aplicación	<p>Gran escala.</p> <p>Toda el agua potable suministrada por las empresas gestoras es sometida a tratamiento, hasta cierto punto. Los suministros de agua privados puede que también sean tratados.</p>
Vía de exposición previa a la intervención	Reducción de la exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	<p>Corto - largo plazo.</p> <p>Puesto que no hay cambios en las prácticas habituales, el tratamiento del agua eliminará/reducirá los niveles de contaminación en la misma mientras se siga tratando el agua.</p>
<b>Restricciones</b>	
Restricciones legales	El agua potable es normalmente sometida a tratamiento para cumplir con los estándares de calidad requeridos. Cualquier residuo resultante del tratamiento puede que necesite una nueva autorización (ver <a href="#">Sección 2.8</a> ).
Restricciones sociales	<p>Tratar normalmente el agua contaminada dará lugar al aumento en la exposición por parte de los operarios responsables del tratamiento, como resultado directo de la exposición al agua contaminada o a la acumulación y almacenamiento de residuos contaminados procedentes de dicho tratamiento. (Ver <a href="#">Sección 2.5</a>).</p> <p>La aceptación por parte del público y la confianza en que los procesos de tratamiento sean capaces de eliminar o reducir la contaminación radiactiva. La aceptación de niveles residuales de contaminación por parte del público; es probable que dicha aceptación vaya en relación con la disponibilidad de suministros alternativos, como por ejemplo agua embotellada.</p>
Restricciones del entorno	Si se mantienen las rutas habituales de eliminación de aguas residuales y otros residuos sólidos procedentes del tratamiento, se podrían extender bajos niveles de contaminación por el medio ambiente, por ejemplo en cursos naturales de agua.
<b>Eficacia</b>	

#### 4 Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)

Eficacia de la opción de gestión	<p>En la <a href="#">Tabla 3.4</a> al final de la Hoja de Datos se recogen eficiencias de eliminación química para una serie de radionucleidos y procesos de tratamiento de agua. En la <a href="#">Sección 5.1</a> se da una estimación de las concentraciones de actividad en el agua tratada para tratamientos habituales en el Reino Unido y se aporta información sobre cómo utilizar la tabla de eficiencias de eliminación para una planta de tratamiento específica o un conjunto de procesos de tratamiento.</p> <p>En general, los tratamientos utilizados para eliminar un gran contenido de sólidos (que llevarían a la coloración o turbidez del agua tratada) de las fuentes de agua superficiales serían especialmente eficaces en la eliminación de la contaminación radiactiva ya que muchos radionucleidos se unirán a las partículas presentes en el agua. La filtración física es muy eficaz en la eliminación de estas partículas.</p> <p>Las fuentes de agua subterráneas "limpias" (algunos pozos y acuíferos) solo son tratadas mínimamente, por lo que esta opción sería menos eficaz en la eliminación de la contaminación, debido a la escasa manipulación química y a los bajos niveles de partículas en el agua.</p> <p>La filtración por membrana es un proceso físico utilizado en fuentes de agua "limpias" con un contenido de sólidos muy bajo y en la que no se utilizan procesos químicos. La filtración por membrana no tiene efecto alguno sobre la eliminación química de los radionucleidos y es probable que su eficacia para eliminarlos sea reducida (ver Brown <i>et al</i>, 2008b).</p>
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	La eficacia dependerá del tipo y el número de procesos de tratamiento que se utilicen, así como de los radionucleidos presentes y sus propiedades físicas y químicas (ver Brown <i>et al</i> , 2008b).
Viabilidad	
Equipamiento específico requerido	No sería necesario un equipamiento específico adicional para los procesos habituales en las plantas de tratamiento (o en los suministros privados).
Equipamiento auxiliar requerido	Ninguno.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	Los utilizados habitualmente.
Consumibles requeridos	Ninguno.
Habilidades requeridas	No se necesitan habilidades específicas aparte de las utilizadas habitualmente.
Precauciones de seguridad requeridas	Puede que sea necesaria la monitorización en las plantas de tratamiento y de los operarios para asegurar que no se exceden los límites de exposición por parte de los mismos. También puede que sea necesario realizar cambios en otras prácticas laborales y de seguridad para minimizar las dosis a los operarios (ver Brown <i>et al</i> , 2008a y el <a href="#">Apéndice A</a> ).
Otras limitaciones	Ninguna.
Residuos	
Cantidad y tipo	<p>El tratamiento tiene como resultado la producción de residuos. Estos pueden ser material contaminado procedente de los filtros o de los lechos de resinas, aguas residuales o lodos. Los lodos se generan de manera continua como parte del tratamiento y sus características dependen del contenido de sólidos del agua sin tratar. A menudo se almacenan grandes cantidades de lodo en el emplazamiento antes de su eliminación. También se generan lodos durante la limpieza de los tanques de almacenamiento. Es posible que la limpieza de estos tanques y la sustitución de los filtros y resinas tengan que llevarse a cabo con más frecuencia tras la contaminación radiactiva para evitar que se acumulen altas concentraciones de residuos radiactivos.</p> <p>Es posible que se generen grandes cantidades de residuos, por ejemplo, arena y carbón activado contaminados procedentes de los lechos filtrantes, y lodos (ver <a href="#">Sección 2.6</a> y Brown <i>et al</i>, 2008a, 2008b).</p>
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Será necesaria la eliminación y/o almacenamiento de los residuos resultantes del tratamiento del agua con las autorizaciones y permisos pertinentes.

#### 4 Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)

Factores que influyen en la problemática de los residuos	La disponibilidad de una ruta de eliminación adecuada; el coste de la eliminación de los residuos radiactivos; los radionucleidos presentes y los niveles de contaminación; las cantidades de residuos que sea necesario eliminar.
Dosis	
Dosis adicionales	Ninguna.
Costes de intervención	
Equipamiento	Ninguno.
Consumibles	El aumento en la frecuencia de sustitución de los materiales para el tratamiento, por ejemplo, de los lechos filtrantes y las resinas, dará lugar a costes adicionales.
Tiempo de operario	Podría ser necesario tiempo adicional de operario si estas operaciones se llevan a cabo con mayor frecuencia. La monitorización requerirá personal adicional.
Factores que influyen en los costes	Si las operaciones se llevan a cabo fuera de los turnos normales de trabajo.
Costes de compensación	Es improbable que sea de aplicación.
Costes de residuos	La eliminación del material radiactivo generado por el tratamiento del agua puede resultar muy cara, ya que se podrían generar grandes cantidades de residuos contaminados, por ejemplo arena de los lechos filtrantes y lodos.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Gestión global del tratamiento y los residuos generados. Sería necesario asegurar a los consumidores que el agua producida es potable y cumple con los estándares de calidad exigidos. Habría que explicar cualquier restricción impuesta al uso del agua potable. Habría que informar a los trabajadores de que podrían verse expuestos a contaminación radiactiva.
Evaluación de los efectos secundarios	
Consideraciones éticas	Habría que tener en cuenta las posibles dosis a los operarios (no dosis adicionales. Ver <a href="#">Sección 2.5</a> y Brown <i>et al</i> , 2008a, 2008b. Puede haber una falta de equidad entre los beneficiarios (consumidores de agua) y aquellos que vivan cerca de las instalaciones de residuos.
Impacto medioambiental	Es necesario tener en cuenta la utilización o eliminación de lodos radiactivos ya que las concentraciones de actividad en los mismos pueden estar por encima de los niveles permitidos para el uso normal (esparcimiento por el terreno o vertedero convencional).
Impacto agrícola	Los lodos puede que no sean aceptables para su aplicación sobre suelo agrícola La utilización del suministro de agua potable puede que no sea aceptable para el riego de cultivos aunque suponga una vía de contaminación probablemente poco importante (ver el Manual de Alimentos para obtener información adicional).
Impacto social	Pérdida de confianza en la calidad del agua suministrada por las empresas gestoras al público (y a otros individuos en el caso de suministros de agua privados). Aumento de la demanda de agua embotellada. Posible aumento de la confianza por parte del público en que el problema de la contaminación se está gestionando de manera eficaz.
Otros efectos secundarios	Ninguno.
Experiencia práctica	Es la práctica habitual. En Jones and Castle, 1987, se recogen experiencias sobre las consecuencias de seguir con el tratamiento normal del agua en el Reino Unido.

#### 4 Tratamiento normal del agua (en las plantas de tratamiento y respaldado por un programa de monitorización)

<p>Referencias clave</p>	<p>Annamäki M, Turtiainen T, Jungclas H and Rauße C (2000). Disposal of radioactive waste arising from water treatment: Recommendations for the EC. STUK-A175, Helsinki.</p> <p>Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008a). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. HPA-RPD-040, disponible en <a href="http://www.hpa.org.uk">http://www.hpa.org.uk</a>.</p> <p>Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008b). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives: Supporting Report. HPA-RPD-041, disponible en <a href="http://www.hpa.org.uk">http://www.hpa.org.uk</a>.</p> <p>Goossens R, Delville A, Genot J, Halleux R and Masschelein WJ (1989). Removal of the typical isotopes of the Chernobyl fall-out by conventional water treatment. <i>Wat. Res.</i>, <b>23</b>, 6, 693-97.</p> <p>Jones F and Castle RG (1987). Radioactivity monitoring in the water cycle following the Chernobyl accident. <i>J Inst Water Poll</i>, 205-217.</p> <p>Oatway WB, Smith JG and Hesketh N (2007). Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton,</p> <p>Saxén R. Freshwater and fish, in: P Strand, L Skuterud and J Melin (eds.). Reclamation of contaminated urban and rural environments following a severe nuclear accident. Nordic Nuclear Safety Research, NKS (97) 18 97-10-10, ISBN 87-7893-017-0, pp 98-116.</p> <p>Smith JT, Voitsekhovitch OV, Håkanson L and Hilton J (2001). A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs. <i>J Env Radioact</i>, <b>56</b>, 12.</p> <p>Tsarik N (1993) Supplying water and treating sewage in Kiev after the Chernobyl accident. <i>J American Water Works Association</i>, <b>85</b>, 42-45.</p>
<p>Comentarios</p>	<p>Ninguno.</p>
<p>Historia del documento (ver <a href="#">Tabla 3.3</a>)</p>	<p>Proyecto STRATEGY, 2006. Hoja de Datos denominada "<i>Purification of water at treatment plants</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Hoja de Datos denominada "<i>Water Treatment</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook, 2009. Nueva Hoja de Datos desarrollada para cubrir solamente el tratamiento normal del agua respaldado por un programa de monitorización. Las modificaciones en el tratamiento del agua se tratan en una Hoja de Datos separada (<a href="#">Hoja de Datos 5</a>).</p>

**Tabla 3.4 Eficiencias de eliminación de los tratamientos del agua en función del elemento y del proceso de tratamiento\*<sup>#</sup>,\*\***

Elemento	Floculación/coagulación/ clarificación	Filtrado con arena por gravedad <sup>†</sup> (rápido y lento)	Carbón activado	Ablandamiento con cal- bicarbonato <sup>‡</sup>	Zeolitas naturales (minerales de arcilla)	Intercambio iónico <sup>¶</sup> (medios mixtos)	Ósmosis inversa <sup>§</sup>
Cobalto	■■■	■■	■■	■	■■	■■■	■■■■
Selenio	■■■	■■	■■	■	■■■	■■■	■■■■
Estroncio	■■	■■	■	■■■■&	■■■	■■■	■■■■
Circonio	■■■■	■■	■■	■	■■■	■■■■	■■■■
Niobio	■■■■	■■	■■	■	■■■	■■■■	■■■■
Molibdeno/Tecnecio	■■■	■■■	■■	■	■	■■■	■■■■
Rutenio	■■■	■■	■■	■	■■	■■■	■■■■
Yodo	■■	■■	■■■	■	■■	■■■	■■■■
Teluro	■■■	■■	■■	■	■■■	■■■	■■■■
Cesio	■■	■■	■	■■	■■■	■■■	■■■■
Bario	■■	■■■	■■	■■■■&Δ	■■	■■■■	■■■■
Lantano	■■	■■■	■■	■■■■&Δ	■■	■■■■	■■■■
Cerio	■■■■	■■■■	■■	■	■■■	■■■■	■■■■
Iterbio	■■■	■■■	■	■	■■	■■■	■■■■
Iridio	■■■	■■	■■	■	■■	■■■	■■■■
Radio	■■	■■■	■■	■■■■&	■■	■■■■	■■■■
Uranio	■■■■	■	■■	■■■■	■■■	■■■■	■■■■
Plutonio	■■■■	■■	■■■	■	■■■	■■■■	■■■■
Americio	■■■■	■■	■■■	■	■■■	■■■■	■■■■

Clave:

Eficiencia de eliminación (% eliminado) ■ = 0 – 10%; ■■ = 10 – 40%; ■■■ = 40 – 70%; ■■■■ = >70%

Notas:

\*: La mayoría de las plantas de tratamiento utilizarán más de uno de los procesos recogidos en la tabla. En este caso, la eliminación efectiva de los sucesivos procesos es multiplicativa. Esto significa que si el primer proceso es un 50% eficaz en la eliminación y un proceso posterior tiene también un 50% de eficacia, entonces, la eliminación total será del 75%, ya que el segundo proceso solo actuará sobre la fracción de elemento que todavía queda tras llevar a cabo el primero de ellos.

\*\* Sacado de Brown *et al*, 2008a.

<sup>#</sup>: Los valores en la tabla son solamente para eliminación química. Por lo tanto, cualquier elemento vaya esté unido a partículas de material no se considera en la matriz, puesto que su eliminación se deberá a sus propiedades físicas y no químicas. Se recoge información adicional específica más detallada en la Sección 3 de Brown *et al*, 2008b.

<sup>†</sup>: Las eficiencias señaladas son para procesos químicos de filtración por gravedad, normalmente con arena, y no para la eliminación mecánica de sólidos.

<sup>‡</sup>: En los casos en los que no hay información para un elemento concreto, se ha considerado que el ablandamiento con cal-bicarbonato tiene poco o ningún efecto, y se han elegido eficiencias de eliminación <10%.

<sup>¶</sup>: Los datos para intercambio iónico asumen la utilización de un medio de intercambio mixto catión/anión.

<sup>§</sup>: La ósmosis inversa no incluye la microfiltración, utilizada en instalaciones de filtrado por membrana, que es un proceso de eliminación solamente físico.

<sup>&</sup>: La adición de cal (óxido de calcio) durante el proceso de floculación (para el ajuste del pH) es posible que aumente las eficiencias de eliminación para el Estroncio y el Radio, ya que la adición de calcio puede actuar como portador y ayudar mediante co-precipitación. Sin embargo, no hay información sobre hasta qué punto la adición de cal aumentaría la eficiencia de eliminación.

<sup>Δ</sup>: Valores actualizados debido a la revisión de las eficiencias de eliminación para el Bario y el Lantano.

---



<b>5 Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)</b>	
Objetivo	Reducir las dosis debidas a la ingestión por parte de los consumidores modificando el tratamiento de agua existente para mejorar la eliminación total o parcial de la contaminación radiactiva en el agua potable suministrada (tratada) cuyas concentraciones de actividad superen los NIA.
Otros beneficios	Se eliminarán otras impurezas.
Descripción de la opción de gestión	<p>Cualquier cambio en los procesos de tratamiento de agua existentes que mejore la eliminación de radionucleidos específicos del agua. Por ejemplo, el aumento de la frecuencia de la sustitución o reposición del material de filtrado o la aplicación de adsorbentes como el carbón activado o minerales de arcilla natural.</p> <p>La introducción de procesos completamente nuevos a menudo requerirá importantes ampliaciones en las plantas de tratamiento y nuevos edificios que van desde unidades de intercambio iónico hasta nuevas plantas). Esta opción se daría en el caso de estrategias a largo plazo para tratar una contaminación crónica.</p>
Objeto de interés	Principalmente para suministros de agua potable públicos, aunque la introducción de nuevos tratamientos se podría aplicar a los suministros privados si el tratamiento actual fuera ineficaz en la reducción/eliminación de la contaminación o no se estuviera llevando a cabo un tratamiento químico.
Radionucleidos de interés	La modificación del tratamiento existente estaría dirigida a la eliminación/reducción de radionucleidos específicos. Las modificaciones tendrían lugar después de que se produjera el incidente y se identificaran y midiesen el(los) radionucleido(s) de interés. La eficacia de los tratamientos para elementos específicos se recoge en la matriz de eficiencias de eliminación de la <a href="#">Tabla 3.4</a> .
Escala de aplicación	<p>Gran escala: construcción de nuevas plantas de tratamiento de agua.</p> <p>Media escala: introducción de productos químicos (adsorbentes, etc.) en el agua sin tratar en las plantas de tratamiento o en las fuentes de agua, o añadir nuevos sistemas de tratamiento (ósmosis inversa o intercambio iónico, por ejemplo) a los regímenes de tratamiento existentes.</p> <p>Pequeña escala: introducción de nuevos tratamientos en los suministros de agua privados.</p>
Vía de exposición previa a la intervención	Exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	<p>Corto/medio plazo: Los cambios en los procesos de tratamiento de agua deberían ser identificados tan pronto se confirme la contaminación y se hayan identificado los radionucleidos de interés. Sin embargo, habrá un retraso en la implementación de los cambios en los procesos de tratamiento de agua existentes que podría ir desde varios días a semanas.</p> <p>Largo plazo: Si se necesitara la instalación de nuevos procesos que requirieran equipamientos e infraestructuras, podría llevar meses o años su implementación y solo se tendrían en cuenta para situaciones crónicas.</p>
<b>Restricciones</b>	
Restricciones legales	El agua potable producida tras cualquier cambio en el tratamiento de la misma tendrá que cumplir con los estándares de calidad del agua (ver <a href="#">Sección 2.8</a> ).
Restricciones sociales	<p>Los cambios en los procesos de tratamiento de agua efectuados pueden dar lugar a un aumento en la exposición de los operarios de las plantas. Este aumento podría ser resultado directo de la exposición al agua contaminada o a la acumulación y almacenamiento de residuos contaminados procedentes del tratamiento (ver <a href="#">Sección 2.5</a>).</p> <p>La aceptación por parte del público y la confianza en que los procesos de tratamiento del agua sean capaces de eliminar o reducir la contaminación radiactiva. La aceptación de niveles residuales de contaminación por parte del público; es probable que dicha aceptación vaya relacionada con la disponibilidad de suministros alternativos, como por ejemplo agua embotellada.</p>
Restricciones del entorno	Las rutas de eliminación del agua residual y otros residuos sólidos procedentes del tratamiento podrían dar lugar a la propagación de bajos niveles de contaminación por el medio ambiente, por ejemplo en cursos naturales de agua.
<b>Eficacia</b>	

## 5 Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)

Eficacia de la opción de gestión	<p>La <a href="#">Tabla 3.4</a> al final de la <a href="#">Hoja de Datos 4</a> recoge las eficiencias de eliminación química para una serie de elementos y procesos de tratamiento de agua. La <a href="#">Sección 5.1</a> proporciona una estimación de las concentraciones de actividad en el agua tratada para un tratamiento típico en el Reino Unido y aporta orientación sobre cómo utilizar la tabla de eficiencias de eliminación para una planta de tratamiento específica o una serie de procesos de tratamiento.</p> <p>En general, los tratamientos utilizados para eliminar un elevado contenido de sólidos (que producen coloración o turbidez en el agua tratada) de las fuentes de agua superficiales son especialmente eficaces en la eliminación de contaminación radiactiva ya que muchos radionucleidos se unen a las partículas presentes en el agua. La filtración física es muy eficaz en la eliminación de estas partículas.</p> <p>Las fuentes de agua subterráneas "limpias" (algunos pozos y acuíferos) solo son tratadas mínimamente, por lo que esta opción sería menos eficaz en la eliminación de la contaminación, debido a la escasa manipulación química y a los bajos niveles de partículas en el agua.</p> <p>La filtración por membrana es un proceso físico utilizado en fuentes de agua "limpias" con un contenido de sólidos muy bajo y en la que no se utilizan procesos químicos. La filtración por membrana no tiene efecto alguno sobre la eliminación de los radionucleidos (ver Brown <i>et al</i>, 2008b).</p>
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	La eficacia dependerá del tipo y el número de procesos de tratamiento que se utilicen, así como de los radionucleidos presentes y sus propiedades físicas y químicas (ver Brown <i>et al</i> , 2008b).
Viabilidad	
Equipamiento específico requerido	Es probable que sea necesario equipamiento específico para las opciones de tratamiento adicionales.
Equipamiento auxiliar requerido	Ninguno.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	Es necesaria la disponibilidad de infraestructuras que permitan la ampliación o los cambios en las plantas de tratamiento si se ponen en marcha tratamientos adicionales (por ejemplo, el aumento de la frecuencia de las operaciones, "nuevas construcciones").
Consumibles requeridos	Materiales adsorbentes como el carbón activado o los minerales de arcilla natural.
Habilidades requeridas	Puede que sea necesario formar a los operarios si se implementan nuevos procesos de tratamiento.
Precauciones de seguridad requeridas	Pues que sea necesaria la monitorización en las plantas de tratamiento y de los operarios para asegurar que no se exceden los límites de exposición por parte de los mismos y para comprobar que el nuevo tratamiento está teniendo el efecto deseado. Puede que sea necesario efectuar cambios en otras prácticas laborales y de seguridad para minimizar las dosis a los operarios (ver Brown <i>et al</i> , 2008a y el <a href="#">Apéndice B</a> ).
Otras limitaciones	La disponibilidad de materiales y el tiempo necesario para su entrega. La capacidad para almacenar los residuos adicionales.
Residuos	
Cantidad y tipo	<p>El tratamiento tiene como resultado la producción de residuos. Estos pueden ser material contaminado procedente de los filtros o de los lechos de resinas, aguas residuales o lodos. Los lodos se generan de manera continua como parte del tratamiento y sus características dependen del contenido de sólidos del agua sin tratar. A menudo se almacenan grandes cantidades de lodo en el emplazamiento antes de su eliminación. También se generan lodos durante la limpieza de los tanques de almacenamiento. Es posible que la limpieza de estos tanques y la sustitución de los filtros y resinas tengan que llevarse a cabo con más frecuencia tras la contaminación radiactiva para evitar que se acumulen altas concentraciones de residuos radiactivos.</p> <p>Es posible que se generen grandes cantidades de residuos, por ejemplo, arena y carbón activado contaminados procedentes de los lechos filtrantes, y lodos (ver <a href="#">Sección 2.6</a> y Brown <i>et al</i>, 2008a, 2008b).</p>
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Será necesaria la eliminación y/o almacenamiento de los residuos resultantes del tratamiento del agua con las autorizaciones y permisos pertinentes.

<b>5 Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)</b>	
Factores que influyen en la problemática de los residuos	La disponibilidad de una ruta de eliminación adecuada; el coste de la eliminación de los residuos radiactivos; los radionucleidos presentes y los niveles de contaminación; las cantidades de residuos que sea necesario eliminar.
<b>Dosis</b>	
Dosis adicionales	Si cambian las prácticas laborales debido a la modificación en una planta de tratamiento, por ejemplo si se reponen los filtros de arena con más frecuencia de lo normal o si se añaden nuevos procesos, se puede dar lugar a dosis adicionales. Debido a la naturaleza específica de estas tareas y a la amplia variedad de plantas de tratamiento, no es posible estimar de manera certera las dosis adicionales. Sin embargo, habría que evaluarlas caso por caso si se produjera un incidente que contaminara el agua antes de ser tratada. Se puede encontrar información adicional sobre la estimación de dosis debidas a las tareas que se llevan a cabo en las plantas de tratamiento en el <a href="#">Apéndice B</a> y en Brown <i>et al</i> , 2008a, 2008b.
<b>Costes de intervención</b>	
Equipamiento	La instalación del nuevo equipamiento y las infraestructuras necesarias para habilitar los nuevos procesos de tratamiento a utilizar será muy cara y es posible que se tarde un tiempo considerable. El coste dependerá también de si el equipamiento está disponible y de si puede ser instalado fácilmente como parte de una planta existente. Si son necesarias nuevas tecnologías, su desarrollo también será muy costoso y llevará mucho tiempo.
Consumibles	Adsorbentes naturales adicionales. El aumento de la frecuencia de la reposición de los materiales de tratamiento dará lugar a costes adicionales.
Tiempo de operario	Podría ser necesario tiempo de operario adicional si los trabajos se llevaran a cabo con mayor frecuencia. El transporte de los materiales y los residuos hacia y desde las plantas de tratamiento requerirá tiempo adicional de operario (carga y conducción). Las "nuevas instalaciones" puede que necesiten personal adicional.
Factores que influyen en los costes	Si las operaciones se llevan a cabo fuera de los turnos laborales normales. La disponibilidad y demanda de materiales y nuevo equipamiento. La disponibilidad de rutas de eliminación adecuadas para los residuos contaminados.
Costes de compensación	Es improbable que sea de aplicación.
Costes de residuos	La eliminación del material radiactivo generado por el tratamiento del agua puede resultar muy cara, ya que se podrían generar grandes cantidades de residuos contaminados, por ejemplo arena de los lechos filtrantes y lodos.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Gestión global del tratamiento y los residuos generados. Sería necesario asegurar a los consumidores que el agua producida es potable y cumple con los estándares de calidad exigidos. Habría que explicar cualquier restricción impuesta al uso del agua potable. Habría que informar a los trabajadores de que podrían verse expuestos a contaminación radiactiva.
<b>Evaluación de los efectos secundarios</b>	
Consideraciones éticas	Habría que evaluar los riesgos asociados a las tareas adicionales llevadas a cabo por los operarios en las plantas de tratamiento de agua. Puede haber una falta de equidad entre los beneficiarios (consumidores de agua) y aquellos que vivan cerca de las instalaciones de residuos.
Impacto medioambiental	Es necesario tener en cuenta la utilización o eliminación de lodos radiactivos ya que las concentraciones de actividad en los mismos pueden estar por encima de los niveles permitidos para el uso normal (esparcimiento por el terreno o vertedero convencional).
Impacto agrícola	Los lodos puede que no sean aceptables para su aplicación sobre suelo agrícola

<b>5 Modificación del tratamiento del agua (en las plantas de tratamiento)</b>	
Impacto social	<p>Pérdida de confianza en la calidad del agua suministrada por las empresas gestoras al público (y a otros individuos en el caso de suministros de agua privados).</p> <p>Aumento de la demanda de agua embotellada.</p> <p>Posible aumento de la confianza por parte del público en que el problema de la contaminación se está gestionando de manera eficaz.</p>
Otros efectos secundarios	Ninguno.
Experiencia práctica	Ninguna relacionada con un incidente radiológico.
Referencias clave	<p>Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008a). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. HPA-RPD-040, disponible en <a href="http://www.hpa.org.uk">http://www.hpa.org.uk</a>.</p> <p>Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008b). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives: Supporting Report HPA-RPD-041, disponible en <a href="http://www.hpa.org.uk">http://www.hpa.org.uk</a>.</p> <p>Oatway WB, Smith JG and Hesketh N (2007). Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton,</p>
Comentarios	Ninguno.
Historia del documento (ver <a href="#">Tabla 3.3</a> )	<p>Proyecto STRATEGY, 2006. Hoja de Datos denominada "<i>Purification of water at treatment plants</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook 2005. Hoja de Datos denominada "<i>Water Treatment</i>".</p> <p>UK Recovery Handbook, 2009. Nueva Hoja de Datos desarrollada para cubrir solamente las modificaciones en el tratamiento del agua. El tratamiento normal del agua se tiene en cuenta en una Hoja de Datos separada (<a href="#">Hoja de Datos 4</a>).</p>

<b>6 Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)</b>	
Objetivo	Reducir las dosis debidas a la ingestión por parte de los consumidores añadiendo tratamientos adicionales "en el grifo" para eliminar total o parcialmente la contaminación radiactiva del agua potable en el caso de que las concentraciones de actividad en el agua suministrada superen los NIA.
Otros beneficios	Se eliminarán otras impurezas. Opción de autoayuda. Puede proporcionar tranquilidad adicional en relación a la calidad del agua potable y los niveles de radionucleidos en la misma incluso si se considera que el agua es potable.
Descripción de la opción de gestión	Hay opciones comercialmente disponibles que se pueden utilizar en los hogares o edificios privados que reducirán la contaminación radiactiva del agua potable de los suministros de la red o privados. Esta Hoja de Datos tiene en cuenta el uso de:  Sistemas de filtro con jarra para ablandar el agua que utilizan un filtro de carbono con algún material para intercambio iónico.  Pequeñas unidades de ósmosis inversa que se pueden instalar bajo el fregadero y son adecuadas tanto para suministros de agua de la red como privados.
Objeto de interés	Principalmente para suministros de agua privados. También es una medida adicional que se puede utilizar para suministros de agua públicos si se sospecha que la contaminación ha tenido lugar después del tratamiento del agua.
Radionucleidos de interés	Aplicabilidad conocida: todos los radionucleidos excepto el Tritio. La eficacia variará de unos radionucleidos a otros (ver <a href="#">Tabla 3.4</a> para los detalles sobre la eficiencia de la eliminación).
Escala de aplicación	Pequeña - media escala.  Los filtros con jarra serían adecuados para una escala de uso muy pequeña, como sería el caso de una vivienda individual que produzca unos pocos litros de agua potable al día. Las unidades de ósmosis inversa serían adecuadas para un uso a una escala mayor, como por ejemplo para edificios enteros, aunque habría que ajustar las mismas a los grifos designados e identificados. Esta opción sería adecuada para la producción de varias decenas de litros de agua purificada al día.  La escala de aplicación dependerá de la disponibilidad de equipamiento y recursos y del número de edificios.  En la mayoría de los casos el agua para saneamiento no necesita purificación.
Vía de exposición previa a la intervención	Exposición interna debida a la ingestión de agua potable.
Tiempo de aplicación	Corto - medio plazo.  Los filtros con jarra podrían utilizarse poco después de que la contaminación se haya identificado. El único retraso sería debido al tiempo que lleve comprarlos.  Las unidades de ósmosis inversa son piezas de equipamiento más especializadas y puede que no haya existencias. También necesitan que un ingeniero especialista las ajuste. El retraso debido a la compra y el ajuste de una de estas unidades podría suponer varias semanas.
Restricciones	
Restricciones legales	Los suministros de agua privados tienen que cumplir los estándares de calidad del agua (ver <a href="#">Sección 2.8</a> ).
Restricciones sociales	Esta opción depende de que los individuos compren las unidades, y en el caso de la ósmosis inversa, de que lleven a cabo la instalación bien individualmente o con la persona responsable del suministro. El uso apropiado del agua potable en los edificios dependerá de los individuos.
Restricciones del entorno	Ninguna.
Eficacia	

## 6 Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)

Eficacia de la opción de gestión	Las dos opciones son eficaces en la reducción de la cantidad de contaminación radiactiva en el agua suministrada "en el grifo". Basándose en la comprensión de la química que tiene lugar y en las indicaciones de los fabricantes para elementos estables, sería razonable esperar una reducción de la contaminación de al menos el 50% para un cartucho nuevo en un filtro con jarra. Para unidades de ósmosis inversa, la reducción podría superar el 90%. Estos números son solamente una guía aproximada de la eficacia (ver <a href="#">Tabla 3.4</a> para detalles adicionales sobre la eficacia de la eliminación).
Factores que influyen en la eficacia del procedimiento	La eficacia dependerá de los radionucleidos presentes y de sus propiedades físicas y químicas. El filtrado con jarra, por ejemplo, sería muy eficaz en la eliminación de la contaminación asociada a las partículas.  El uso correcto de los filtros con jarra.
Viabilidad	
Equipamiento específico requerido	Filtro con jarra.  Unidad de ósmosis inversa.
Equipamiento auxiliar requerido	Puede que sea necesaria una bomba para garantizar una presión de agua adecuada de manera que las unidades de ósmosis inversa trabajen de manera eficaz. Es un requisito que se disponga de una mínima presión de agua. El instalador podría indicar si se necesita una bomba.
Servicios públicos e infraestructuras requeridos	En el caso de las unidades de ósmosis inversa sería necesario un técnico capacitado (fontanero) para la instalación inicial.
Consumibles requeridos	Cartuchos de filtrado para las jarras. Membranas para las unidades de ósmosis inversa.
Habilidades requeridas	Solo para la instalación de las unidades de ósmosis inversa.
Precauciones de seguridad requeridas	Puede que sean necesarios guantes y ropa de protección para la eliminación de los materiales filtrantes contaminados (cartuchos de carbono, resinas de intercambio iónico y membranas, etc.) debido a la acumulación de contaminación radiactiva.
Otras limitaciones	La disponibilidad de filtros con jarra y unidades de ósmosis inversa, y de instaladores cualificados.
Residuos	
Cantidad y tipo	Los cartuchos de filtrado de las jarras se gastarán cada 2-4 semanas. Las membranas de las unidades de ósmosis inversa será necesario cambiarlas cada seis meses. Será necesaria una monitorización o vigilancia específica que permita saber en qué momento disminuye la eficacia de los sistemas de filtrado y es necesario cambiar los cartuchos. La sustitución de los cartuchos de filtrado y la limpieza de membranas es probable que sea más frecuente durante el período en que las concentraciones de actividad en el agua son mayores.
Posibles formas de transporte, tratamiento y almacenamiento	Es posible que los filtros gastados se consideren "residuo radiactivo" y que por tanto sea necesario tener en cuenta de manera especial su recogida, transporte y eliminación/almacenamiento contando con las autorizaciones pertinentes.
Factores que influyen en la problemática de los residuos	El número y la tasa de producción de filtros gastados. Será necesario evaluar las concentraciones de actividad en los filtros gastados.
Dosis	
Dosis adicionales	La colocación y retirada de los filtros pueden dar lugar a dosis adicionales. Sin embargo, la tarea que probablemente conlleve las mayores dosis adicionales sea la eliminación de los filtros instalados en los hogares/edificios. Se pueden recibir dosis a través de las siguientes vías de exposición:  Dosis externas gamma debidas a material en los filtros, en todo el cuerpo.  Dosis externas gamma y beta debidas a material contaminado sobre la piel.  También se pueden recibir dosis externas mientras los filtros están colocados.  Se puede encontrar información adicional sobre las posibles dosis adicionales en un artículo relacionado (ver Oatway <i>et al</i> , 2007). Los equipos de protección personal -EPP- (como guantes o mascarillas) pueden ser eficaces en la reducción de las dosis potenciales debidas a las tareas realizadas, dependiendo de los radionucleidos presentes.

<b>6 Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo)</b>	
Costes de intervención	
Equipamiento	Los filtros con jarra son relativamente baratos. Las unidades de ósmosis inversa son comparativamente más caras. Costes adicionales de la bomba (si es necesaria).
Consumibles	La sustitución de los cartuchos de filtrado y los filtros es barata en comparación con el resto del equipo.
Tiempo de operario	Solo para el ajuste de las unidades de ósmosis inversa y para la recogida, transporte y eliminación de los filtros gastados.
Factores que influyen en los costes	La disponibilidad de equipos. El número de viviendas y edificios afectados.
Costes de compensación	Ninguno
Costes de residuos	Recogida, transporte y eliminación.
Supuestos	Ninguno.
Necesidades de comunicación	Es necesaria la comunicación con los propietarios y los individuos para: aconsejar sobre cuál de los tratamientos existentes es adecuado para los usuarios de suministros de agua privados; qué tipo de equipamiento debería comprarse; el periodo de tiempo durante el cual estas opciones deberían estar vigentes; la correcta utilización de los filtros, en concreto con respecto a la eliminación de los mismos.
Evaluación de los efectos secundarios	
Consideraciones éticas	Si el coste del equipamiento debería ser pagado por el propietario de la vivienda o el individuo responsable del edificio. Esta medida depende también de que sea implementada por parte de los individuos.
Impacto medioambiental	Ninguno.
Impacto agrícola	Ninguno.
Impacto social	Podría haber un cambio en los hábitos personales en relación a qué grifo se utiliza para beber agua si se designa uno de ellos para este propósito. Además, hay que recoger el agua de un grifo en una jarra si se utiliza esta opción. Posible pérdida de confianza en el agua para otros usos, como el saneamiento, si el agua no ha sido tratada. Aumento de la demanda de agua embotellada.  La provisión de un suministro alternativo de agua (agua embotellada o en tanques) puede ser más eficaz y aceptable que depender de que los individuos lleven a cabo una opción de autoayuda.
Otros efectos secundarios	Ninguno.
Experiencia práctica	Las unidades de ósmosis inversa y los filtros con jarra son utilizados de manera rutinaria en viviendas y edificios comerciales para reducir los contaminantes presentes en el agua potable. No se conoce experiencia directa alguna acerca de su uso para reducir la contaminación radiactiva.
Referencias clave	Oatway WB, Smith JG and Hesketh N. Incremental doses from the implementation of drinking water, aquatic, forest or social countermeasures. EURANOS report, HPA-RPD, Chilton, 2007.
Comentarios	Ninguno.
Historia del documento	No aplicable puesto que se trata de una Hoja de Datos nueva.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## **CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 4**

<b>4</b>	<b>PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO Y PERSONALIZACIÓN DEL MANUAL GENÉRICO</b>	<b>65</b>
	Tabla 4.1 Recogida de información y datos sobre los suministros de agua potable	66
	Tabla 4.2 Disposiciones para la elaboración de una estrategia general	67



## 4 PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO Y PERSONALIZACIÓN DEL MANUAL GENÉRICO

Hay una amplia diversidad de condiciones climáticas, tipos de suministro de agua potable, culturas, infraestructuras y marcos regulatorios por toda Europa. Es posible que las organizaciones a nivel local, regional o nacional necesiten desarrollar su propio enfoque de la preparación para una emergencia radiológica, de acuerdo con sus responsabilidades y participación. Puesto que estas pueden ser muy diferentes, es importante que el manual pueda ser personalizado a nivel nacional, regional o local de acuerdo con las necesidades de cada país. Los tipos de información requerida por parte de los diferentes usuarios y el nivel de detalle exigido serán variados y será necesario tenerlos en cuenta como parte del proceso de personalización.

La personalización del Manual Genérico Europeo es una parte esencial en la planificación de la fase de recuperación después de una emergencia radiológica. El propósito de esta sección es apoyar este proceso de planificación mediante la identificación de los temas clave que podría ser necesario abordar y la información que se necesita para respaldar el desarrollo de las estrategias de recuperación. Aunque gran parte dependerá de la naturaleza de la emergencia radiológica o del incidente, por ejemplo su magnitud y la extensión de la contaminación radiactiva, hay temas cuyo tratamiento antes de una emergencia ayudará en la planificación de la recuperación y en la velocidad de respuesta de la misma en el caso de un incidente, además de asegurar un resultado más exitoso.

La [Tabla 4.1](#) proporciona un desglose de temas que cubren los requisitos de datos e información que podría ser útil recopilar antes de un incidente. La lista de requisitos de información presentada de la [Tabla 4.1](#) parece bastante amplia y sería necesario realizar un gran esfuerzo para recopilar dicha información. Naturalmente, habría que definir unas prioridades que contribuyan a hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles. La [Tabla 4.2](#) recoge una lista de factores, además de los requisitos de información enumerados en la [Tabla 4.1](#), que puede ser necesario tener en cuenta al desarrollar el esquema de una estrategia de recuperación antes de un incidente. La estrategia debería estar enfocada a nivel local.

Al igual que la planificación para la respuesta inicial, la planificación para la recuperación debería ser una actividad coordinada entre todos los organismos implicados. Una parte fundamental del proceso de planificación y personalización es la participación de las partes interesadas, incluidos los futuros usuarios del manual, para identificar mejor e incluir los factores específicos en dicha personalización. Es importante la comunicación entre las distintas partes interesadas para conseguir una visión equilibrada de los distintos aspectos de los problemas a los que hay que enfrentarse a nivel nacional, regional o local. Este enfoque facilita el desarrollo de un lenguaje común y un entendimiento compartido de los desafíos a desarrollar. Se pueden utilizar varios enfoques para desarrollar conjuntamente manuales nacionales con las partes interesadas, incluyendo talleres basados en distintos escenarios, sesiones de trabajo sobre las hojas de datos y el manual y el establecimiento de subgrupos para una planificación más detallada de temas específicos (por ejemplo, la gestión de residuos).

**Tabla 4.1 Recogida de información y datos sobre los suministros de agua potable**

Tema	Comentarios
Monitorización	<p>Medios de monitorización disponibles de cada empresa gestora del suministro de agua. Tiempo de respuesta/capacidad para realizar análisis de distintos tipos.</p> <p>Medios de monitorización disponibles de los reguladores, autoridades locales, organismos medioambientales y otros departamentos y agencias gubernamentales.</p> <p>Capacidad de monitorización alternativa si los medios habituales están en el área afectada.</p> <p>Identificación del(los) responsable(s) de recoger las muestras del suministro de agua.</p> <p>La posibilidad de monitorización en puntos alternativos entre la fuente y el punto de consumo. Si la contaminación se ha producido después del tratamiento del agua, entonces será necesario pensar cómo implementar la monitorización en el interior de la red de distribución. Identificación de los puntos clave para la monitorización en el sistema de distribución y estimación del número de muestras que sería necesario realizar.</p> <p>Posibilidad de monitorización, medida de las actividades alfa y beta totales y vigilancia más detallada de radionucleidos específicos, y <i>capacidad para realizar análisis radioquímicos rápidamente</i>.</p> <p>Capacidad de monitorización y de radioanálisis de suministros privados.</p> <p>Acuerdos entre las autoridades locales y las empresas gestoras del suministro de agua en relación al uso compartido de los recursos de monitorización.</p>
Suministro alternativo	<p>Detalles de las responsabilidades de provisión de un suministro alternativo a los usuarios de suministros de agua privados.</p> <p>Origen de los camiones cisterna y vehículos de transporte.</p> <p>Acuerdos sobre quién llevará a cabo el reparto de agua y la identificación de riesgos potenciales para los trabajadores.</p> <p>Acuerdos entre las empresas gestoras del suministro de agua y las autoridades locales y nacionales para organizar una protección adecuada en los puntos de distribución de agua.</p> <p>Detalles sobre cuánto tiempo podría una empresa gestora del suministro proporcionar agua no contaminada y la extensión del área que podría cubrir.</p> <p>Qué acceso hay a otros suministros y redes de distribución de agua potable.</p> <p>Cuál es la capacidad de suministro de agua de los depósitos en servicio de la zona.</p>
Fuentes de agua potable	<p>De dónde viene el suministro de agua potable en una zona determinada. Si varía la procedencia según la época del año.</p> <p>Probabilidad de contaminación de las fuentes de agua subterráneas y en cuánto tiempo tras una emergencia radiológica. Profundidad de los pozos y los acuíferos.</p> <p>Sensibilidad de las fuentes de agua frente a la contaminación radiológica en una zona determinada.</p>
Tratamiento del agua	<p>Listado de dónde se trata cada fuente de agua y qué tratamiento se utiliza.</p> <p>Tratamientos adicionales que podrían llevarse a cabo.</p> <p>Recogida de datos sobre la eficacia del tratamiento del agua en la reducción de las concentraciones de radionucleidos en la misma.</p> <p>Identificación de los emplazamientos/procesos/flujo de residuos en los que la radiactividad se podría concentrar y desarrollo de las medidas adecuadas de protección/contingencia para los trabajadores.</p>
Captación	<p>Listado de los puntos de captación de cada fuente.</p> <p>Estimación de por cuánto tiempo se puede suministrar agua desde otros puntos de captación u otras fuentes si se paraliza la captación desde todos los puntos.</p> <p>Acuerdos para superar temporalmente la captación desde una fuente determinada si es necesario en caso de emergencia.</p> <p>Qué posibilidades de captación de agua desde otra fuente hay disponibles. Si existen redes de distribución disponibles.</p>
General	<p>Listado de suministros de agua privados, su finalidad y cuánta gente los utiliza.</p> <p>Detalles sobre la disponibilidad de trabajadores de reemplazo si los de las empresas gestoras del suministro de agua rehúsan trabajar en la zona afectada.</p> <p>Áreas superficiales y profundidad de los embalses; alcance de la captación a diferentes profundidades.</p> <p>Instalaciones para compartir información entre organizaciones, por ejemplo empresas gestoras del suministro de agua vecinas, autoridades locales y organismos medioambientales.</p> <p>Evaluación del riesgo de las fuentes de agua potable o los puntos de los sistemas de distribución que sean más vulnerables frente a una contaminación deliberada.</p>

PLANIFICACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE UN INCIDENTE POR ADELANTADO Y  
PERSONALIZACIÓN DEL MANUAL GENÉRICO

**Tabla 4.2 Disposiciones para la elaboración de una estrategia general**

Tema	Comentarios
Estrategia general	<p>Prioridades y posibles plazos para la implementación de las opciones de gestión.</p> <p>Gestión y revisión de la fase de recuperación. Recogida de datos. Coordinación de la monitorización.</p>
Criterios de recuperación	<p>Identificar los criterios adecuados a utilizar para definir la necesidad y la escala de las opciones de gestión y su éxito.</p>
Opciones de gestión	<p>Identificar las opciones de gestión viables y aceptables de las Hojas de Datos del Manual de Agua Potable con antelación. Tener en cuenta:</p> <p>cualquier restricción sobre la utilización de la opción (de las Hojas de Datos).</p> <p>opciones de gestión a corto plazo que puedan requerir soluciones a largo plazo.</p> <p>Qué opciones de gestión podrían ser aplicables a una serie de escenarios de incidentes posibles. Cómo se implementarían. Cómo se gestionarían los residuos.</p> <p>Personalizar las Hojas de Datos para la información específica del país y su utilización por parte de diferentes empresas gestoras del suministro de agua.</p> <p>Identificar aspectos de cada opción de gestión que sería necesario tener en cuenta antes de que se produzca un incidente y aquellos que será especialmente importante tener en cuenta en el caso de un incidente.</p> <p>Plantear pruebas de las opciones de gestión a largo plazo para tener una idea más exacta de su eficacia y viabilidad.</p>
Legislación	<p>Protección radiológica (es decir, a trabajadores y al público)</p> <p>Gestión de residuos radiactivos.</p> <p>Legislación específica a nivel local, regional o nacional que pueda ser de aplicación (por ejemplo, sobre el suministro de agua potable).</p>
Papeles y responsabilidades	<p>Asegurarse de que se conocen bien los papeles y responsabilidades de los organismos que llevarían a cabo las tareas en la fase de recuperación. Identificar los principales organismos y las responsabilidades legales.</p> <p>Establecer cómo cambian los papeles y las responsabilidades a lo largo del tiempo.</p> <p>Tener en cuenta para cada opción de gestión cómo se coordinarán y desplazarán a la zona afectada los recursos disponibles, por ejemplo, el uso del ejército, protección civil. Esto debería hacerse a nivel nacional para garantizar la consistencia.</p> <p>Examinar el mejor papel para el gobierno y los organismos locales.</p>
Entrenamiento	<p>Tener en cuenta el desarrollo de un programa de entrenamiento para las tareas que sea necesario llevar a cabo, por ejemplo, para los responsables de la toma de decisiones, para los operarios de las plantas de tratamiento de agua.</p> <p>Provisión de información sobre los objetivos de la opción de gestión para asegurar que los que la implementan entienden por qué se está llevando a cabo y cómo se puede alcanzar el objetivo.</p>
Comunicación	<p>Desarrollar tipos de comunicación que satisfagan las necesidades de los distintos sectores de la población y que apoyen las diferentes fases de la estrategia de recuperación. Tener en cuenta durante cuánto tiempo estarán vigentes las opciones de gestión y cuándo acabarán.</p>
Papel de las partes interesadas	<p>Identificar los grupos de partes interesadas existentes en la zona. Investigar si estarían preparados, o podrían estarlo, para proporcionar información sobre una estrategia de recuperación en la zona.</p> <p>Considerar los procesos que podrían utilizarse para establecer paneles de partes interesadas hechos a medida en el caso de que no existieran grupos importantes.</p> <p>Establecer los pasos para cada proceso considerado.</p>

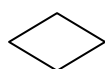
<a href="#"><u>Ir a la sección siguiente</u></a>
<a href="#"><u>Volver al inicio de esta sección</u></a>
<a href="#"><u>Volver al índice del Manual</u></a>

**CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 5**

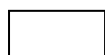
<b>5</b>	<b>ESTRUCTURA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN</b>	<b>70</b>
<b>5.1</b>	<b>Estimación de las concentraciones de actividad en el agua potable</b>	<b>74</b>
5.1.1	Estimación conservadora de las concentraciones de actividad en el agua potable a partir del depósito sobre el terreno	74
5.1.2	Estimación de las concentraciones de actividad en el agua a partir de las concentraciones de actividad en el agua sin tratar que entra en las plantas de tratamiento de agua	75
5.1.3	Agua de lluvia	77
<b>5.2</b>	<b>Monitorización del suministro de agua potable y prioridades de la misma</b>	<b>78</b>
<b>5.3</b>	<b>Referencias</b>	<b>80</b>
	<b>Tabla 5.1 Concentraciones de actividad estimadas en el agua potable tras un tratamiento típico de la misma en el Reino Unido</b>	<b>77</b>
	<b>Figura 5.1 Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte I</b>	<b>71</b>
	<b>Figura 5.1 (cont.) Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte II</b>	<b>72</b>
	<b>Figura 5.1 (cont.) Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte III</b>	<b>73</b>

## 5 ESTRUCTURA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN

En la [Figura 5.1](#) se muestra mediante un árbol de decisión la estructura general de toma de decisiones para el desarrollo de asesoramiento sobre suministros de agua potable y las opciones de gestión a considerar. El árbol guía al usuario a través del proceso de toma de decisiones. El árbol de toma de decisiones debería utilizarse de la siguiente manera:



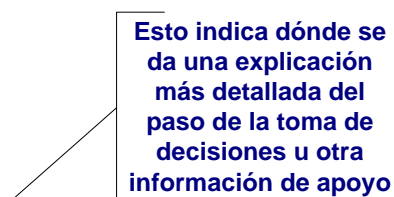
**Indica un punto de toma de decisión**



**Indica un paso en la estructura de toma de decisiones en el que se requiere efectuar una acción**



**Indica un punto final en el árbol de toma de decisiones**



Allí donde hay disponible información u orientaciones adicionales disponibles sobre el tema descrito en el "cuadro" del árbol de toma de decisiones, el enlace a dicha información se indica en [azul](#). Es importante que se lea esta información junto con el árbol.

Con el fin de respaldar el desarrollo de una estrategia de recuperación tal y como se esquematiza en la [Figura 5.1](#), la [Sección 5.1](#) recoge información que permite estimar las concentraciones de actividad en el agua potable a partir de los datos de medidas medioambientales que puedan estar disponibles. La [Sección 5.2](#) recoge información general sobre la monitorización de los suministros de agua potable y las prioridades de dicha monitorización.

ESTRUCTURA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN

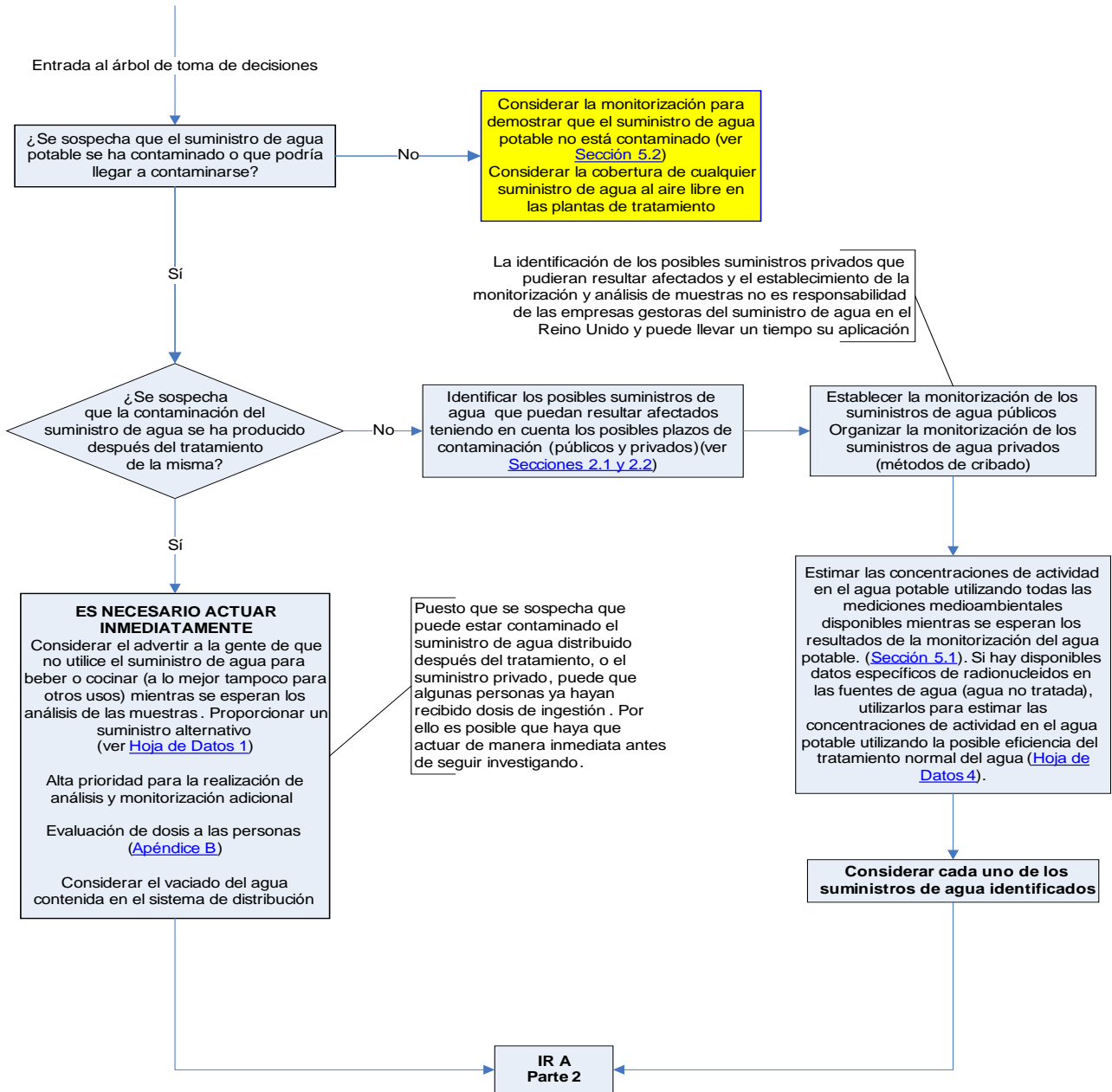


Figura 5.1 Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte I

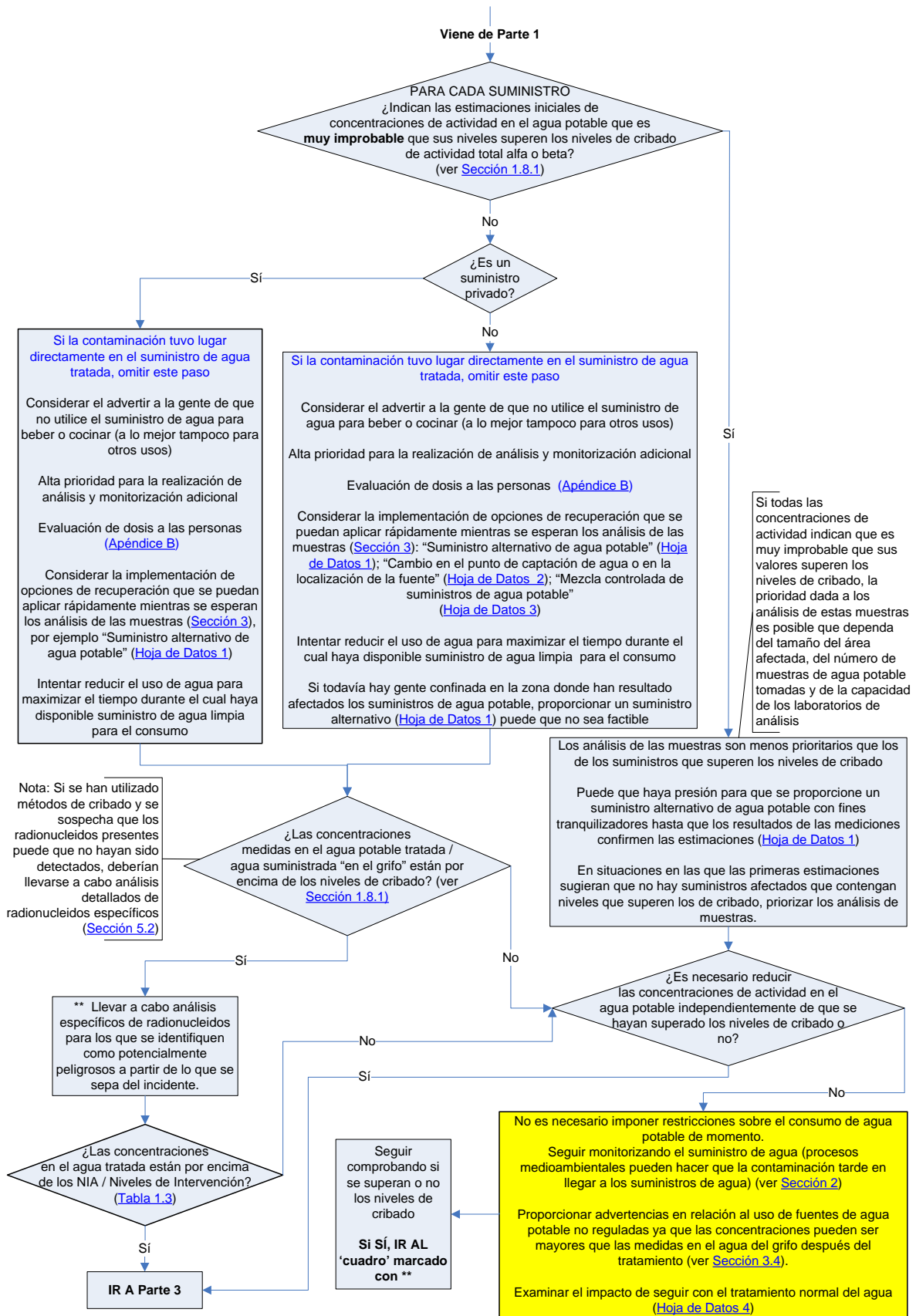


Figura 5.1 (cont.) Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte II



ESTRUCTURA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN UNA ESTRATEGIA DE GESTIÓN

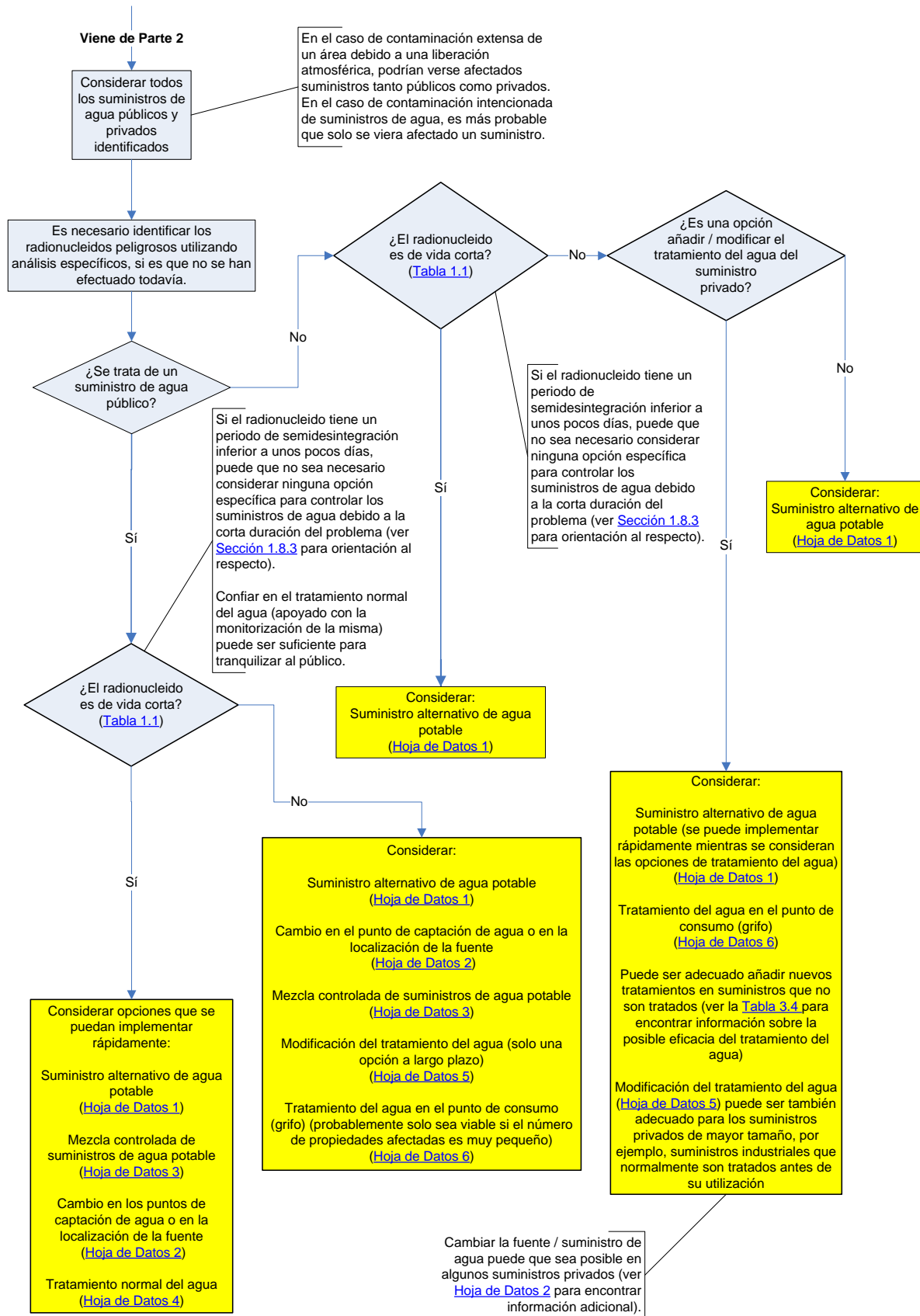


Figura 5.1 (cont.) Árbol de toma de decisiones para las opciones de gestión para agua potable: Parte III

## 5.1 Estimación de las concentraciones de actividad en el agua potable

En esta sección se da información que permite estimar las concentraciones de actividad en el agua potable a partir de los datos de mediciones de otros materiales medioambientales. Estos métodos no deberían utilizarse con preferencia a las medidas de concentración de actividad en el agua potable. Sin embargo, proporcionan una útil herramienta para la determinación del alcance de la contaminación cuando no hay disponibles medidas directas de los suministros de agua potable. Las mediciones medioambientales, tales como la composición del aire y la tasa de depósito sobre el terreno, se pueden utilizar también para obtener información sobre los radionucleidos que es posible que estén presentes en el agua potable antes de que las muestras de la misma se hayan recogido y analizado.

En esta sección se recoge la siguiente información:

- cómo proporcionar una estimación conservadora de las concentraciones de actividad en el agua potable procedente de fuentes en superficie a partir del depósito sobre el terreno;
- cómo estimar las concentraciones de actividad en el agua potable a partir del agua sin tratar que entra en una planta de tratamiento de agua potable;
- cómo estimar las concentraciones de actividad en el agua de lluvia a partir del depósito sobre el terreno.

### 5.1.1 Estimación conservadora de las concentraciones de actividad en el agua potable a partir del depósito sobre el terreno

Si el depósito se ha producido sobre un embalse u otra fuente de agua superficial, el enfoque más conservador es, simplemente, asumir la dilución instantánea en la capa superior de agua. Con el fin de determinar el alcance, se ha tomado un valor prudente de 0,1 m como profundidad de mezcla. Esto da una concentración de actividad en la superficie del volumen de agua y se podría asumir, de manera pesimista, que los niveles en el agua potable (es decir, en el punto de consumo) son equivalentes a estos. Naturalmente, esto no tiene en cuenta diluciones posteriores, el decaimiento durante el tránsito por el sistema de suministro de agua o cualquier eliminación que pudiera tener lugar en las plantas de tratamiento. Este método no tiene en cuenta la aportación de la totalidad de la captación que tendrá lugar con el tiempo; y será necesario un modelo más detallado para predecir esto último. Sin embargo, es probable que esto suponga un problema solo de medio a largo plazo y para entonces, los sistemas de monitorización adecuados ya deberían estar en funcionamiento.

El cálculo básico para el modelo de dilución instantánea es:

Concentración de actividad en el agua ( $\text{Bq l}^{-1}$ ) =

$$\text{Depósito (Bq m}^{-2}\text{)}/\text{Profundidad de mezcla (m)} \times 0.001 \text{ m}^3 \text{ l}^{-1}$$

**ESTIMACIÓN RÁPIDA** – Suponiendo una profundidad de mezcla conservadora de 0,1 m, el factor de conversión para la concentración de actividad en el agua = 0.01 Bq l<sup>-1</sup> per Bq m<sup>-2</sup>

En algunas zonas, las personas puede que beban agua directamente de riachuelos o pozas, en cuyo caso, el supuesto de dilución instantánea puede que no sea conservador. Sin embargo, el agua con tales niveles de concentración de actividad solo se consume durante cortos periodos de tiempo.

### **5.1.2 Estimación de las concentraciones de actividad en el agua a partir de las concentraciones de actividad en el agua sin tratar que entra en las plantas de tratamiento de agua**

Las concentraciones de actividad en el agua potable tras el tratamiento de la misma se pueden estimar utilizando los datos recogidos sobre la posible eficiencia de los diferentes procesos de tratamiento en la eliminación de los radionucleidos del agua (ver [Tabla 3.4](#)). Las concentraciones de actividad en el agua potable por Bq por litro del agua que entra en la planta, se han estimado para las dos principales combinaciones de tratamientos. Dichos tratamientos son la floculación/clarificación (a la que se hace referencia en la tabla como floc/clar) seguida por el filtrado rápido con arena por gravedad (FRG) y la floculación/clarificación seguida por el filtrado rápido con arena por gravedad y el filtrado lento con arena (FLA). Las concentraciones de actividad estimadas se dan en la [Tabla 5.1](#). Se han dado valores conservadores de concentraciones de actividad. Estos valores se han calculado utilizando los valores mínimos de los rangos de los factores de eficiencia para cada paso del tratamiento, es decir, suponiendo que tiene lugar la mínima eliminación de contaminación radiactiva en cada paso durante el proceso de tratamiento.

*¿Cómo estimo las concentraciones de actividad en el agua potable tratada para una planta de tratamiento determinada?*

Es necesario identificar los principales procesos de tratamiento y su orden.

Para un tratamiento único, la concentración de actividad de un radionucleido particular en el agua después del tratamiento se calcula como sigue:

Concentración de actividad en el agua después del tratamiento = concentración de actividad en el agua antes del tratamiento x F

Donde:

$F = 1 - (\text{eficiencia de la eliminación} / 100)$

Las eficiencias de eliminación para diferentes procesos de tratamiento del agua se dan en la [Tabla 3.4](#). Para combinaciones de procesos, es necesario tener cuidado con la utilización de los factores de eficiencia de la eliminación. Por ejemplo, si la floculación/coagulación elimina casi todo un radionucleido/elemento determinado, los procesos siguientes solo tendrán efecto sobre la fracción de contaminación radiactiva que quede en el agua después de este proceso y no sobre los niveles de contaminación total iniciales. La mayoría de las plantas de tratamiento de agua contarán con más de uno de los procesos recogidos en la [Tabla 3.4](#). En los casos en que esto sea así, la

eliminación efectiva de los procesos sucesivos será multiplicativa. Esto significa que si el primer proceso elimina el 50% y un proceso posterior también elimina el 50%, entonces la eliminación total sería del 75%.

La eficiencia total de eliminación para cualquier combinación de tratamientos se puede estimar de la siguiente manera:

Concentración de actividad en el agua después del tratamiento A = concentración de actividad en el agua antes del tratamiento  $\times F_a$

Concentración de actividad en el agua después de los tratamientos A y B = concentración de actividad en el agua después del tratamiento A  $\times F_b$

Donde:

$F_a = 1 - (\text{eficiencia de eliminación} / 100)$  para el tratamiento A, y

$F_b = 1 - (\text{eficiencia de eliminación} / 100)$  para el tratamiento B

Se puede encontrar información adicional en Brown *et al*, 2008a y Brown *et al*, 2008b.

**Tabla 5.1 Concentraciones de actividad estimadas en el agua potable tras un tratamiento típico de la misma en el Reino Unido\***

Radionucleido	Concentración de actividad en el agua, Bq l <sup>-1</sup> en el agua tratada por Bq l <sup>-1</sup> en el agua de entrada a la planta <sup>a</sup>	
	Floc/clar + FRG <sup>b</sup>	Floc/clar + FRG + FLA <sup>b</sup>
<sup>60</sup> Co	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>75</sup> Se	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>89</sup> Sr	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>90</sup> Sr	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>95</sup> Zr	2.7 10 <sup>-1</sup>	2.4 10 <sup>-1</sup>
<sup>95</sup> Nb	2.7 10 <sup>-1</sup>	2.4 10 <sup>-1</sup>
<sup>99</sup> Mo	3.6 10 <sup>-1</sup>	2.2 10 <sup>-1</sup>
<sup>103</sup> Ru	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>106</sup> Ru	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>132</sup> Te	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>131</sup> I <sup>c</sup>	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>134</sup> Cs	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>136</sup> Cs	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>137</sup> Cs	8.1 10 <sup>-1</sup>	7.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>140</sup> Ba	5.4 10 <sup>-1d</sup>	3.2 10 <sup>-1d</sup>
<sup>140</sup> La	5.4 10 <sup>-1d</sup>	3.2 10 <sup>-1d</sup>
<sup>144</sup> Ce	9.0 10 <sup>-2</sup>	2.7 10 <sup>-2</sup>
<sup>169</sup> Yb	3.6 10 <sup>-1</sup>	2.2 10 <sup>-1</sup>
<sup>192</sup> Ir	5.4 10 <sup>-1</sup>	4.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>226</sup> Ra	5.4 10 <sup>-1</sup>	3.2 10 <sup>-1</sup>
<sup>235</sup> U	3.0 10 <sup>-1</sup>	3.0 10 <sup>-1</sup>
<sup>238</sup> Pu	2.7 10 <sup>-1</sup>	2.4 10 <sup>-1</sup>
<sup>239</sup> Pu	2.7 10 <sup>-1</sup>	2.4 10 <sup>-1</sup>
<sup>241</sup> Am	2.7 10 <sup>-1</sup>	2.4 10 <sup>-1</sup>

\*sacado de Brown *et al*, 2008a

a) Supone una mínima eliminación de radionucleidos en cada paso del proceso (ver [Tabla 3.4](#) para los factores de eficiencia de eliminación; se ha utilizado el valor mínimo del rango dado en la tabla).

b) Floc/clar = floculación y clarificación; FRG = filtrado rápido con arena por gravedad; FLA = filtrado lento con arena.

c) Para el <sup>131</sup>I, si se utiliza carbón activado granulado (CAG) en los lechos filtrantes, las concentraciones de actividad en el agua tratada serán menores. Suponiendo una eliminación mínima de Yodo a cargo del CAG, las concentraciones de actividad en el agua, en Bq l<sup>-1</sup> en el agua tratada por Bq l<sup>-1</sup> en el agua de entrada se ha estimado que serían de 0,49 si se utiliza en el FRG y de 0,44 si se utiliza en FLA.

d) Valores actualizados debido a la revisión de las eficiencias de eliminación para el Bario y el Lantano por floculación.

### 5.1.3 Agua de lluvia

Una estimación conservadora de las concentraciones de actividad en el agua se puede hacer suponiendo que toda la actividad depositada ha caído con la lluvia. Por lo tanto, si se conoce la cantidad de lluvia que ha caído, se puede hacer un cálculo similar al que se ha efectuado para las aguas superficiales, sustituyendo la profundidad del agua por la cantidad de agua de lluvia.

ESTIMACIÓN RÁPIDA – Suponiendo 1 mm de agua de lluvia, una estimación conservadora de la concentración de actividad en la misma sería =  $1 \text{ Bq l}^{-1}$  por  $\text{Bq m}^{-2}$

## 5.2 Monitorización del suministro de agua potable y prioridades de la misma

Tras una liberación de material radiactivo al medio ambiente, se requeriría a la empresa gestora del suministro de agua para que comprobase si las concentraciones de actividad en el agua potable están o no por debajo de los niveles de cribado especificados o niveles de intervención. En una emergencia que incluya una contaminación extensa del medio ambiente, podría darse una carga de trabajo muy importante sobre las instalaciones de análisis, en particular sobre aquellas que cuenten con espectrometría gamma de alta resolución. Los retrasos en la obtención de datos fiables sobre los suministros de agua podrían comprometer las decisiones operativas, llevando tanto a la aplicación de restricciones innecesarias como al retraso de la intervención. Por eso, como parte de la planificación de una emergencia es esencial que las capacidades de monitorización sean evaluadas y desarrolladas para una serie de escenarios, por ejemplo, la contaminación existente antes o después del tratamiento del agua. La monitorización del agua superficial sin tratar por parte de los organismos medioambientales pertinentes serviría de apoyo a las mediciones hechas en los suministros de agua potable.

Como parte del desarrollo de una estrategia de monitorización, es importante conocer qué fuentes de agua utilizadas para el suministro de agua potable es probable que sean susceptibles de contaminarse radiactivamente tras un incidente. Esto dependerá del tipo de incidente, por ejemplo, de si se trata de la contaminación deliberada del suministro de agua o de una contaminación extensa tras una liberación a la atmósfera, y de la naturaleza de la fuente de agua, es decir, si es una fuente en superficie o subterránea. Las fuentes de agua subterráneas son mucho menos susceptibles de quedar contaminadas y, si lo son, será en un plazo de tiempo mucho mayor que las fuentes superficiales. Este tipo de información para una zona determinada debería utilizarse para priorizar la monitorización de los suministros de agua potable tras un incidente. Hasta cierto punto, estas prioridades se pueden decidir como parte de la planificación de emergencia para el sistema de distribución de agua dentro de áreas geográficas bien identificadas.

La información detallada sobre la monitorización queda fuera de la competencia de este manual. El grado y la frecuencia de la monitorización serán, en todo caso, específicos de un incidente determinado. Sin embargo, se puede aportar cierta orientación general. Normalmente en la práctica, la monitorización de agua potable consiste en la toma de muestras y el análisis de las mismas. Ambas actividades son importantes. Una toma de muestras inapropiada no dará información válida. De igual manera, el método analítico utilizado debe ser adecuadamente validado para asegurar que las medidas de las concentraciones de actividad en el agua potable son fiables.

En cuanto a la toma de muestras, es probable que las empresas gestoras del suministro de agua cuenten con la capacidad necesaria para ello, debido a los requisitos de la Directiva sobre Agua Potable publicada por la Comisión Europea [CE, 1998]. Incluso si no se precisa de una monitorización rutinaria de radionucleidos en un país, se aplicarán consideraciones similares a otros posibles contaminantes, como metales traza. Otras organizaciones pueden contar también con esta capacidad. Se han publicado orientaciones generales sobre la toma de muestras después de un accidente [OIEA 1999].

Para las tareas de análisis, las empresas gestoras del suministro de agua, u otras organizaciones, puede que cuenten con la capacidad para llevar a cabo mediciones rutinarias. Lo más probable es que se trate de medidas de la actividad total alfa y beta, tal y como se recomienda como método para satisfacer la Directiva sobre Agua Potable de la Comisión Europea para situaciones rutinarias [CE, 1998]. Si ya se cuenta con la capacidad y el equipamiento adecuados, los datos de monitorización para los suministros públicos podrían, si fuera necesario, ser obtenidos rápidamente. Por eso es importante determinar si estas mediciones son adecuadas para su utilización en un incidente determinado. En muchas circunstancias, los métodos de cribado de la actividad total alfa y beta se pueden utilizar para demostrar que las concentraciones de actividad están por debajo del nivel de intervención especificado (en este caso de los NIA) para el agua potable. En el [Apéndice A](#) se da un ejemplo de esta aplicación de las medidas de actividad total. También se trata la aplicabilidad de este enfoque para los radionucleidos considerados en el manual.

También puede que haya disponibles otros equipos de medida más especializados. La espectrometría gamma de alta resolución es una técnica poderosa que proporciona datos sobre radionucleidos específicos sin la necesidad de ningún tratamiento especial o de preparación de la muestra de agua potable. Sin embargo, algunos radionucleidos de posible importancia no emiten rayos gamma, y serían necesarios laboratorios con capacidad para el aislamiento de radionucleidos específicos, para llevar a cabo los análisis. Un ejemplo sería el Estroncio-90.

No todos los laboratorios de radioanálisis estarán preparados para hacer frente a las consecuencias de un incidente. Es posible que tengan que modificar sus prácticas habituales de trabajo. En general, al afrontar un incidente radiológico importante es mejor adaptar los procedimientos y las prácticas existentes que inventar unas nuevas. Algunos de los factores a tener en cuenta se exponen más abajo.

- La recogida de grandes cantidades de muestras tiene que ser llevado a cabo por varias personas. La documentación y la trazabilidad de la muestra son partes muy importantes de la fase de toma de muestras del programa de monitorización.
- Un gran número de muestras supone que el laboratorio de análisis tiene que tener un sistema de garantía de calidad y de trazabilidad de la muestra. En el Reino Unido, por ejemplo, se han establecido pruebas de competencia en los laboratorios para la medición de radiactividad en el agua.
- Será necesario disponer rápidamente de datos fiables de los análisis, ya que se utilizarán en la toma de decisiones sobre la necesidad de intervención.
- Los niveles de intervención como los NIA son mucho mayores que los límites de detección necesarios para muchos de los programas de monitorización rutinarios. Por eso debería ser posible demostrar que las concentraciones de actividad en el agua potable están por encima o por debajo de un nivel de intervención

relativamente rápido. Los principios del análisis rápido de radionucleidos se establecen en un artículo de Green [1993]; también hay publicada una guía general sobre métodos analíticos [OIEA 1999].

Como con cualquier programa de monitorización, el enfoque real adoptado vendrá definido por sus objetivos e incluirá la definición del tipo de muestra a recoger, cómo se ha de tratar y cómo se analizará. Por consiguiente, es esencial que haya comunicación entre los responsables de definir los objetivos, los recolectores de muestras, los analistas y los que harán uso de los datos. La [Tabla 4.1](#) proporciona detalles sobre la información que se necesita como parte de la planificación para un incidente radiológico y las cosas que será necesario considerar en relación a las capacidades de monitorización y los recursos.

### 5.3 Referencias

- Brown, J, Hammond, D and Wilkins, B T (2008a). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. HPA-RPD-040, disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).
- Brown, J, Hammond, D and Wilkins, B T (2008b). Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives: Supporting Report HPA-RPD-041, disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).
- EC (1998). European Council directive 98/83/EC of 3 November 1998 on quality of water intended for human consumption. Official Journal L 330, 05/12/1998.
- Green, N (1993). An evaluation of rapid methods of radionuclide analysis in the aftermath of an accident. Science of the Total Environment 130/131, pp 207-218.
- IAEA (1999). Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. IAEA-TECDOC-1092.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)



## CONTENIDOS DE LA SECCIÓN 6

<b>6</b>	<b>EJEMPLOS PRÁCTICOS</b>	<b>82</b>
<b>6.1</b>	<b>Ejemplo 1 - Contaminación del agua debida al depósito procedente de una pluma de contaminación</b>	<b>82</b>
6.1.1	Descripción	82
6.1.2	Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación	82
<b>6.2</b>	<b>Ejemplo 2 – Contaminación directa del agua antes del tratamiento</b>	<b>90</b>
6.2.1	Descripción	90
6.2.2	Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación	90
<b>6.3</b>	<b>Ejemplo 3 – Contaminación directa del agua después del tratamiento</b>	<b>95</b>
6.3.1	Descripción	95
6.3.2	Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación	95

## 6 EJEMPLOS PRÁCTICOS

Se han desarrollado escenarios genéricos y ejemplos prácticos para ayudar a los usuarios a familiarizarse con el contenido del Manual y su estructura. Además, guían al usuario, de manera muy general, a través de los principales pasos de la toma de decisiones y de los tipos de problema a los que tendrían que hacer frente durante el desarrollo de una estrategia de recuperación. Los escenarios también se podrían utilizar como herramienta de entrenamiento para posibles usuarios.

Es importante señalar que los escenarios y ejemplos prácticos proporcionados son solamente ilustrativos y se han incluido tan solo como ayuda para el entrenamiento en la utilización del manual. Los ejemplos prácticos no deberían utilizarse como soluciones propuestas para los escenarios de contaminación seleccionados. Se ha elegido estos escenarios con el único fin de ilustrar la amplitud de la información recogida en el manual.

Los escenarios y ejemplos prácticos incluidos son:

- contaminación del agua debida al depósito procedente de una pluma de contaminación;
- contaminación directa del agua antes del tratamiento;
- contaminación directa del agua después del tratamiento.

### 6.1 Ejemplo 1 - Contaminación del agua debida al depósito procedente de una pluma de contaminación.

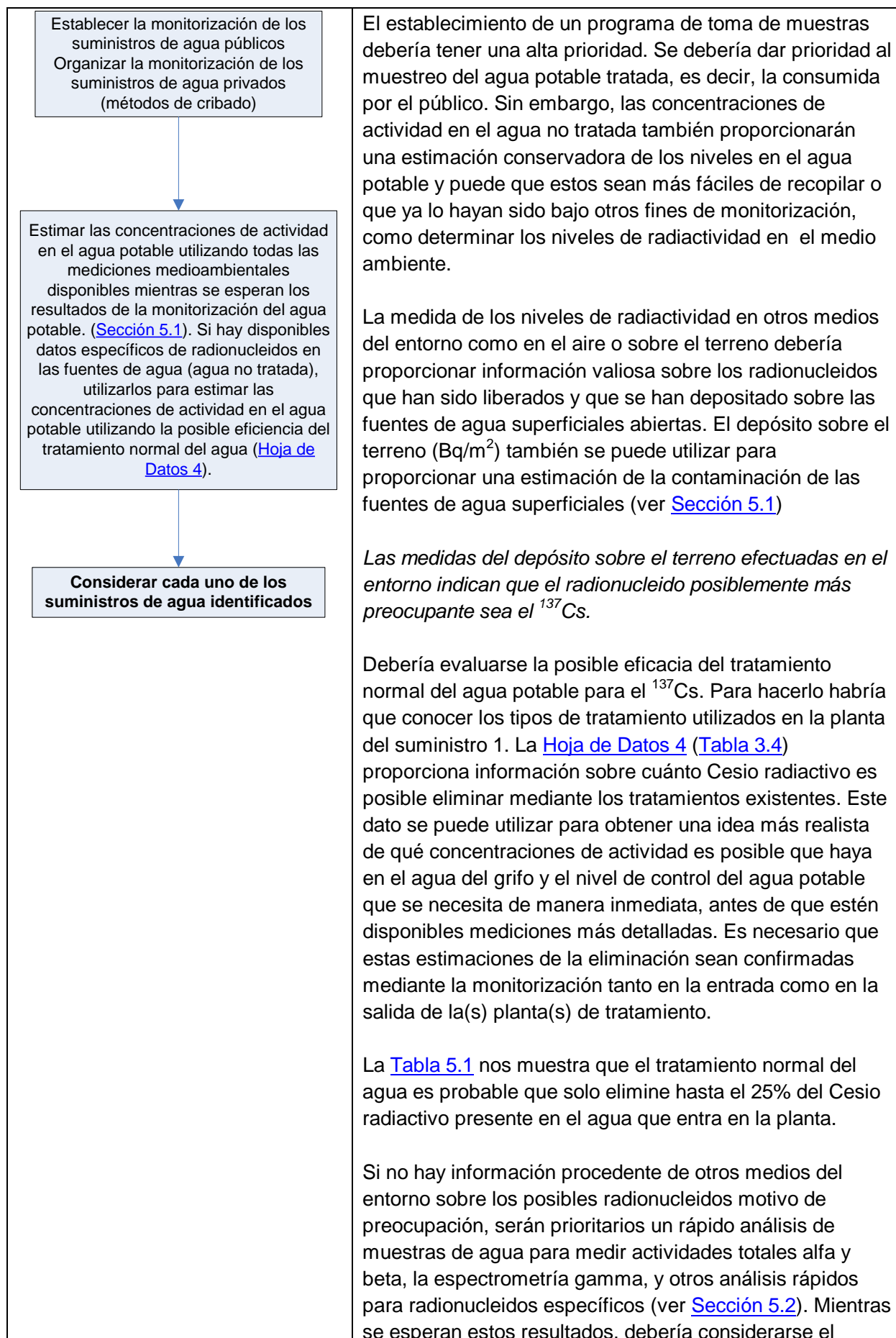
#### 6.1.1 Descripción

Se ha producido un accidente importante en un reactor nuclear, que ha tenido como resultado la liberación de material radiactivo a la atmósfera. Ha llovido mientras la pluma de contaminación pasaba por encima, lo que ha dado lugar al depósito húmedo de contaminantes sobre los suministros de agua en superficie (al aire libre) en un área extensa. Actualmente, la pluma de contaminación ha pasado, se ha producido el depósito sobre la superficie de los suministros de agua pero los niveles de contaminación todavía no se han determinado. Los suministros de agua en superficie afectados proporcionan agua a una gran ciudad y a una serie de áreas habitadas de menor tamaño.

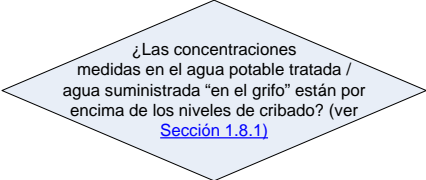
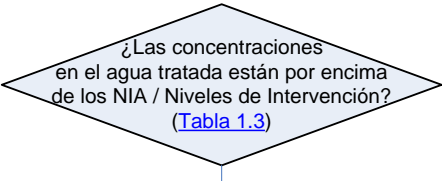
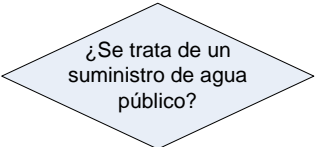
#### 6.1.2 Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación


Para desarrollar una estrategia de recuperación, comenzar con el árbol para la toma de decisiones sobre las opciones de recuperación para agua potable ([Figura 5.1](#)). La información relacionada con el progreso del escenario con el tiempo, se da en letra *itálica*.

<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">       ¿Se sospecha que el suministro de agua potable se ha contaminado o que podría llegar a contaminarse?     </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Sí</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">       ¿Se sospecha que la contaminación del suministro de agua se ha producido después del tratamiento de la misma?     </div> <p>⇒ No (ha ocurrido antes del tratamiento).</p>	<p>La pluma radiactiva muy probablemente ha contaminado los suministros de agua superficiales. En la mayoría de los casos, pasarán uno o dos días antes de que los tanques de almacenamiento de agua potable con agua no contaminada se vacíen, mientras que la contaminación radiactiva podría tardar de varias horas hasta uno o dos días en llegar a la planta de tratamiento. Por eso, los requisitos inmediatos son empezar con las actividades de toma de muestras estructurada y monitorización. En esta fase, la principal cuestión es: "Suponiendo un uso normal, ¿durante cuánto tiempo puede una empresa de gestión seguir suministrando agua no contaminada procedente de la red de distribución?" La respuesta daría el máximo tiempo disponible para la planificación de acciones de recuperación si fueran necesarias.</p> <p><i>Todavía no hay disponibles medidas de la actividad total alfa y beta en el agua potable.</i></p> <p>En esta fase inicial, no está claro si la contaminación de los suministros de agua tendrá como resultado la contaminación del agua potable en el grifo del consumidor durante los próximos pocos días o semanas. Los objetivos principales en este punto son establecer la monitorización del agua utilizada para el suministro de agua potable y estimar si las concentraciones de actividad en este agua es posible que superen los niveles de cribado.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">       Identificar los posibles suministros de agua que puedan resultar afectados teniendo en cuenta los posibles plazos de contaminación (públicos y privados)(ver <a href="#">Secciones 2.1 y 2.2</a>)     </div>	<p>Un número determinado de suministros de agua están posiblemente afectados y podrían ser motivo de preocupación. Una de las plantas de tratamiento principales que suministra a una gran población estaba en la trayectoria de la pluma (suministro 1). También se han identificado una serie de suministros privados en el área rural (suministro 2).</p>



	<p>control del agua potable potencialmente contaminada (ver más abajo) teniendo en cuenta la cantidad de agua potable almacenada en la red de distribución. Es posible que se den presiones para que se proporcione un suministro de agua alternativo no contaminado hasta que se pueda asegurar que no se han superado los niveles de cribado.</p>
<div style="text-align: center;"> <p>PARA CADA SUMINISTRO</p> <p>¿Indican las estimaciones iniciales de concentraciones de actividad en el agua potable que es <b>muy improbable</b> que sus niveles superen los niveles de cribado de actividad total alfa o beta? (ver <a href="#">Sección 1.8.1</a>)</p> </div> <p style="text-align: center;">No</p> <div style="text-align: center;"> <p>¿Es un suministro privado?</p> </div> <p style="text-align: center;">No</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><a href="#">Si la contaminación tuvo lugar directamente en el suministro de agua tratada, omitir este paso</a></p> <p>Considerar el advertir a la gente de que no utilice el suministro de agua para beber o cocinar (a lo mejor tampoco para otros usos)</p> <p>Alta prioridad para la realización de análisis y monitorización adicional</p> <p>Evaluación de dosis a las personas (<a href="#">Apéndice B</a>)</p> <p>Considerar la implementación de opciones de recuperación que se puedan aplicar rápidamente mientras se esperan los análisis de las muestras (<a href="#">Sección 3</a>): "Suministro alternativo de agua potable" (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>); "Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente" (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>); "Mezcla controlada de suministros de agua potable" (<a href="#">Hoja de Datos 3</a>)</p> <p>Intentar reducir el uso de agua para maximizar el tiempo durante el cual haya disponible suministro de agua limpia para el consumo</p> <p>Si todavía hay gente confinada en la zona donde han resultado afectados los suministros de agua potable, proporcionar un suministro alternativo (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>) puede que no sea factible</p> </div>	<p>Las estimaciones hechas se pueden utilizar para identificar si los niveles de contaminación en el agua utilizada para el suministro de agua potable es posible que superen los niveles de cribado adoptados o los niveles de intervención.</p> <p><i>Se supone que las estimaciones tempranas de las concentraciones de actividad en el agua potable tratada procedente del suministro de agua público 1 contaminado por la pluma, indican que es muy probable que se superen los valores de cribado para la actividad total beta.</i></p> <p><b>Suministro 1: Suministro público</b></p> <p>El muestreo y el transporte de grandes cantidades de muestras de agua en una zona contaminada requieren una organización exhaustiva. Para llevar a cabo numerosas mediciones y análisis sobre estas muestras se necesita que los laboratorios estén preparados para efectuar tales mediciones y que las capacidades de los mismos hayan sido evaluadas (ver <a href="#">Sección 5.2</a>).</p> <p>Utilizando la información del <a href="#">Apéndice B</a> y las estimaciones de las concentraciones de actividad en el agua potable, se pueden estimar las dosis al público. Estas a su vez se pueden utilizar para estimar el impacto sobre la salud de las personas que beban agua contaminada durante un periodo de tiempo limitado, mientras se implementan las opciones de gestión. En la <a href="#">Sección 1.8.3</a> se dan indicaciones adicionales sobre esta cuestión.</p> <p><i>En el área afectada hay un suministro de reserva limitado de agua potable no contaminada, que debería durar al menos 24 horas teniendo en cuenta las tasas de consumo normales.</i></p> <p>Las acciones inmediatas deben dirigirse hacia las prioridades a corto plazo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Continuar con la distribución de (una mínima cantidad de) agua potable limpia, suponiendo que los suministros de reserva almacenados no se han contaminado.</li> <li>• Cambiar el punto de captación o la fuente de agua utilizada para obtener agua no contaminada (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>).</li> <li>• Cortar los suministros de agua contaminados; cerrar</li> </ul>

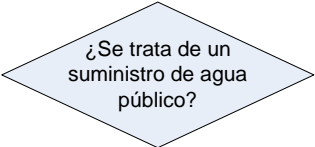

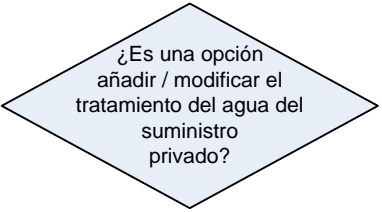
	<p>las bombas de entrada a la instalación de tratamiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Organizar los suministros alternativos de agua (camiones cisterna o agua embotellada) (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>).</li> <li>• Comunicar al público que es necesaria una reducción (temporal) del consumo de agua.</li> <li>• Disminuir la presión del agua si es posible.</li> <li>• Llevar a cabo la monitorización y la evaluación de dosis con el fin de comunicar los resultados al público.</li> </ul>
<div style="text-align: center;">  <p>↓ Sí</p> </div>	<p><i>Están disponibles los primeros resultados de los análisis del agua tratada procedente de la planta de tratamiento (suministro 1).</i></p> <p><i>Los resultados de los análisis muestran que el nivel de cribado para la actividad total beta se ha superado.</i></p> <p>Otras mediciones medioambientales disponibles indican que el principal radionucleido motivo de preocupación es el <sup>137</sup>Cs. Es importante que se lleven a cabo análisis para radionucleidos específicos del agua potable tratada, para confirmar este aspecto y la presencia de cualquier otro radionucleido.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>** Llevar a cabo análisis específicos de radionucleidos para los que se identifiquen como potencialmente peligrosos a partir de lo que se sepa del incidente.</p> </div>	
<div style="text-align: center;">  <p>↓ Sí</p> </div> <p>⇒ Sí</p>	<p><i>Después de varias horas empiezan a llegar los primeros resultados de la monitorización. Se ha medido una concentración de actividad de 500 Bq l<sup>-1</sup> para <sup>134</sup>Cs y de 1000 Bq l<sup>-1</sup> para <sup>137</sup>Cs, después del tratamiento del agua.</i></p> <p>Estas concentraciones de actividad superan el NIA de 1000 Bq l<sup>-1</sup>.</p> <p><b>Se ruega tener en cuenta que esto es muy poco probable en la realidad. Sin embargo, se ha supuesto que las concentraciones de actividad superan los valores de los NIA para ilustrar cómo se puede utilizar el manual y las cuestiones que habría que tener en cuenta en cualquier incidente radiológico en el que se de esta situación.</b></p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>Considerar todos los suministros de agua públicos y privados identificados</p> </div>	<p>Se han identificado dos suministros principales:                  Suministro 1 (público)                  Suministro 2 (un número de pequeños suministros privados)</p>
<p>Suministro 1:</p> <div style="text-align: center;">  <p>⇒ Sí</p> </div>	<p>El agua procedente del suministro contaminado proporciona el suministro de agua potable público a un gran número de miembros del público, incluidos varios hospitales.</p>

<p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ No</p>	<p>El <math>^{134}\text{Cs}</math> y el <math>^{137}\text{Cs}</math> están clasificados en el Manual como radionucleidos de vida larga.</p>
<p style="text-align: center;">Considerar:</p> <p>Suministro alternativo de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</p> <p>Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>)</p> <p>Mezcla controlada de suministros de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 3</a>)</p> <p>Modificación del tratamiento del agua (solo una opción a largo plazo) (<a href="#">Hoja de Datos 5</a>)</p> <p>Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo) (probablemente solo sea viable si el número de propiedades afectadas es muy pequeño) (<a href="#">Hoja de Datos 6</a>)</p>	<p>El tratamiento de agua disponible no es suficiente para reducir las concentraciones de actividad por debajo de los NIA. Sin embargo, las medidas hechas tanto en el agua de entrada a la planta como en el agua tratada indican que el tratamiento actual es capaz de reducir las concentraciones de actividad del <math>^{134}\text{Cs}</math> y el <math>^{137}\text{Cs}</math> en un 30%. Este dato es ligeramente mejor que el estimado inicialmente y permite una valiosa reducción de las concentraciones de actividad en el agua potable.</p> <p>Por eso debería considerarse continuar con el tratamiento normal del agua (<a href="#">Hoja de Datos 4</a>). Sin embargo, el impacto de seguir con el tratamiento normal del agua es necesario que sea evaluado (ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a>). El tratamiento del agua conllevará la producción de residuos contaminados (por ejemplo lodos y materiales filtrantes) y puede que estos requieran autorizaciones especiales para su eliminación dependiendo de sus concentraciones de actividad. El <a href="#">Apéndice C</a> proporciona una guía sobre cómo estimar las concentraciones de actividad en los residuos.</p> <p>A modo de ejemplo, si las concentraciones de actividad medidas en el agua de entrada sin tratar son de 2100 Bq/l de Cesio radiactivo total (sobre la base de 1500 Bq/l en el agua tratada) y los procesos de tratamiento son la floculación y la clarificación, el filtrado rápido por gravedad y el filtrado lento con arena, entonces se podría estimarse, en términos generales, una concentración de actividad en los lodos residuales de cerca de 3000 Bq/tonelada (ver <a href="#">Tabla C2</a>, <a href="#">Apéndice C</a>). Puesto que las concentraciones en el agua de entrada disminuyen debido a que la contaminación se va diluyendo en las fuentes de agua, las concentraciones de actividad en los lodos disminuirán muy rápidamente de manera que es muy improbable que esto suponga un problema a largo plazo.</p> <p>También es necesario evaluar las dosis a los operarios trabajando en las plantas de tratamiento de agua (ver <a href="#">Apéndice B</a> para más información).</p> <p>Considerar otras opciones: Proporcionar suministros alternativos de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>). Debido al tamaño de la población afectada, posiblemente esto solo sea viable durante un</p>



	<p>corto periodo de tiempo. De manera alternativa, si solo se utilizara para grupos de población sensible, como pacientes de hospital, se podría implementar durante un periodo de tiempo mayor. Sería necesario acompañar el reparto de agua embotellada o la provisión mediante cisternas de indicaciones sobre la necesidad de minimizar el uso de agua y la utilización de la del grifo para uso de saneamiento.</p> <p>Cambio en el régimen de captación o en la fuente de agua utilizada (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>). Es necesario disponer de información sobre la red de distribución y las fuentes de agua que la alimentan, para ver si hay disponibles fuentes de agua subterráneas. Puesto que ha sido afectada un área extensa, es probable que esta afecte a más de un punto de captación en los ríos. Sin embargo, debería considerarse la posibilidad de utilizar puntos de captación alternativos, teniendo en cuenta la dirección del viento y el paso de la pluma radiactiva.</p> <p>La mezcla controlada de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 3</a>) puede ser viable si hay disponible más de un suministro, puesto que las concentraciones de actividad en el agua no están muy por encima de los NIA y la mezcla podría reducirlas muy por debajo de dichos NIA. (Es posible que sea muy difícil de explicar al público la dilución de altas concentraciones de actividad).</p> <p>El tratamiento de agua en el grifo (<a href="#">Hoja de Datos 6</a>) mediante el uso de filtros con jarra, es posible que solo sea factible a pequeña escala debido a la disponibilidad comercial de dichos filtros con jarra, que limitará su aplicación. No será viable para la totalidad de las personas afectadas en este escenario.</p> <p>Sería necesario tener en cuenta una amplia gama de factores al elegir la opción más adecuada, como pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• costes;</li><li>• consideraciones sociales, políticas y éticas;</li><li>• los periodos de tiempo probables durante los cuales las concentraciones de actividad es posible que superen los NIA;</li><li>• preocupación pública acerca de la calidad del agua.</li></ul> <p>Estos factores se tratan con más detalle en las Hojas de Datos y en la <a href="#">Sección 2</a>.</p> <p>La prioridad a largo plazo debería ser devolver la calidad del agua potable a un nivel aceptable que cumpla la normativa sobre calidad del agua. Para ello habrá que apoyarse en un programa de monitorización a largo plazo que proporcione tranquilidad y determine la eficacia de las opciones de gestión que se hayan puesto en marcha. A</p>
--	---



	<p>más largo plazo, habrá que tener en cuenta lo siguiente si la monitorización indica que las concentraciones de actividad permanecen sobre los niveles de intervención.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación del posible impacto de la escorrentía procedente de las cuencas en los embalses y ríos y si esta es posible que mantenga las concentraciones de actividad en las fuentes de agua elevadas durante largos periodos de tiempo.</li> <li>• Si se pueden hacer cambios en el tratamiento del agua implementado para eliminar el Cesio radiactivo. Por ejemplo, se podrían considerar los procesos de intercambio iónico y ósmosis inversa, ya que estos es probable que sean muy eficaces en la eliminación del Cesio radiactivo (ver <a href="#">Hoja de Datos 5</a>).</li> <li>• La limpieza planificada de las plantas de tratamiento de agua para eliminar todos los precipitados, lodos y filtros contaminados. Esta acción aportará tranquilidad al público en relación a que no se pueda producir la removilización de radiactividad hacia el agua potable, y también reducirá las dosis a los trabajadores de la planta encargados del mantenimiento rutinario. Sería necesario evaluar y controlar las dosis a las personas que se lleven a cabo la limpieza de la planta de tratamiento.</li> <li>• Continuar con la monitorización en todas las fases importantes del tratamiento del agua hasta que los niveles de contaminación sean aceptables para todas las partes interesadas.</li> </ul>
<p>Suministro 2:</p> <p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ No</p>	<p>Hay también un número de personas que viven en el área afectada con suministro de agua privado.</p>
<p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ No</p>	<p>El <math>^{134}\text{Cs}</math> y el <math>^{137}\text{Cs}</math> están clasificados en el Manual como radionucleidos de vida larga.</p>
<p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ Sí</p>	<p>Todos los suministros de agua privados en la zona afectada se encuentran en áreas rurales y se abastecen de pozos y barrenados. Es por ello que resulta muy improbable que se hayan contaminado directamente tras el accidente.</p> <p>Es necesario establecer un programa de monitorización para medir las concentraciones de actividad en el agua</p>

<p style="text-align: center;"><b>Considerar:</b></p> <p>Suministro alternativo de agua potable (se puede implementar rápidamente mientras se consideran las opciones de tratamiento del agua) (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</p> <p>Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo) (<a href="#">Hoja de Datos 6</a>)</p> <p>Puede ser adecuado añadir nuevos tratamientos en suministros que no son tratados (ver la <a href="#">Tabla 3.4</a> para encontrar información sobre la posible eficacia del tratamiento del agua)</p> <p>Modificación del tratamiento del agua (<a href="#">Hoja de Datos 5</a>) puede ser también adecuado para los suministros privados de mayor tamaño, por ejemplo, suministros industriales que normalmente son tratados antes de su utilización</p>	<p>potable obtenida de estas fuentes por motivos de tranquilidad y para comprobar que no se contaminan a largo plazo.</p> <p>Considerar la provisión de suministros alternativos de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>) y el tratamiento de agua en el grifo (<a href="#">Hoja de Datos 6</a>) utilizando filtros con jarra para mayor tranquilidad hasta que los datos de la monitorización estén disponibles.</p>
--	--

## 6.2 Ejemplo 2 – Contaminación directa del agua antes del tratamiento

### 6.2.1 Descripción

Se ha producido la contaminación radiactiva de un río, aguas arriba del lugar de captación de una importante planta de tratamiento de agua. Se cree que el agua del río ya ha contaminado las reservas almacenadas en la red de distribución en el momento en el que el incidente fue descubierto. La monitorización rutinaria del agua del río ha mostrado que el radionucleido es <sup>90</sup>Sr y, basándose en medidas de la actividad total beta, no se ha superado el nivel de cribado.

### 6.2.2 Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación

Para desarrollar una estrategia de recuperación, comenzar con el árbol para la toma de decisiones sobre las opciones de recuperación para agua potable ([Figura 5.1](#)). La información relacionada con el progreso del escenario con el tiempo, se da en letra *itálica*.

<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">¿Se sospecha que el suministro de agua potable se ha contaminado o que podría llegar a contaminarse?</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">Sí</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>⇒ Sí</p>	<p>Se ha medido contaminación en el río que abastece una de las principales plantas de tratamiento de agua. Se necesita información acerca de cuánto tiempo tarda el agua en llegar desde el punto de captación hasta la red de suministro de agua potable y qué tratamientos se efectúan sobre esta. El agua se almacena después del tratamiento en depósitos de reserva, que alimentan la red de distribución según sea necesario para equilibrar el consumo de agua. También se necesita información sobre si hay otros puntos de captación aguas abajo.</p>
<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">¿Se sospecha que la contaminación del suministro de agua se ha producido después del tratamiento de la misma?</div> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>⇒ No</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;">                 Identificar los posibles suministros de agua que puedan resultar afectados teniendo en cuenta los posibles plazos de contaminación (públicos y privados)(ver <a href="#">Secciones 2.1 y 2.2</a>)             </div>	<p>Está claro que la contaminación tiene su origen en la captación de agua contaminada del río.</p> <p>El río abastece dos plantas de tratamiento de agua, estando la segunda de ellas situada 50 millas aguas abajo. El agua contaminada puede haber entrado ya en la planta y en el sistema de distribución de agua.</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                 Establecer la monitorización de los suministros de agua públicos                  Organizar la monitorización de los suministros de agua privados (métodos de cribado)             </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">                 Estimar las concentraciones de actividad en el agua potable utilizando todas las mediciones medioambientales disponibles mientras se esperan los resultados de la monitorización del agua potable. (<a href="#">Sección 5.1</a>). Si hay disponibles datos específicos de radionucleidos en las fuentes de agua (agua no tratada), utilizarlos para estimar las concentraciones de actividad en el agua potable utilizando la posible eficiencia del tratamiento normal del agua (<a href="#">Hoja de Datos 4</a>).             </div> <p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <b>Considerar cada uno de los suministros de agua identificados</b> </div>	<p>La principal prioridad es medir las concentraciones de actividad de <sup>90</sup>Sr en el agua tratada, puesto que será esta la que pase a la red de distribución. El programa de monitorización también debería incluir la toma de muestras de agua en el punto de captación para demostrar que no está entrando más contaminación en la planta, y el muestreo de agua a la salida de la planta (si es suministra directamente a la red de distribución sin pasar por los depósitos de reserva).</p>
	<p><i>Las estimaciones iniciales indican que es improbable que se supere el NIA para el <sup>90</sup>Sr ya que</i></p>

<p style="text-align: center;"> <b>PARA CADA SUMINISTRO</b>                  ¿Indican las estimaciones iniciales de concentraciones de actividad en el agua potable que es <b>muy improbable</b> que sus niveles superen los niveles de cribado de actividad total alfa o beta?                  (ver <a href="#">Sección 1.8.1</a>)             </p> <p>⇒ Sí</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>Los análisis de las muestras son menos prioritarios que los de los suministros que superen los niveles de cribado</p> <p>Puede que haya presión para que se proporcione un suministro alternativo de agua potable con fines tranquilizadores hasta que los resultados de las mediciones confirmen las estimaciones (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</p> <p>En situaciones en las que las primeras estimaciones sugieran que no hay suministros afectados que contengan niveles que superen los de cribado, priorizar los análisis de muestras.</p> </div>	<p><i>no se ha excedido el nivel de cribado de emergencia para la actividad total beta.</i></p> <p>Es posible que se haya consumido algo de agua antes de que se haya identificado la contaminación en el río. Se puede hacer una estimación de las dosis de ingestión recibidas utilizando los valores por defecto de la eficiencia del tratamiento del agua potable para el <sup>90</sup>Sr (ver <a href="#">Tabla 5.1</a> y <a href="#">Tabla 3.4</a> en la Hoja de Datos 4) y la información sobre los procesos de tratamiento utilizados (ver <a href="#">Sección 5.1</a>).</p> <p>Si suponemos que la concentración de actividad en el agua potable está en el nivel de cribado de emergencia para actividad total beta establecido en el Reino Unido en 30 Bq l<sup>-1</sup> (ver <a href="#">Apéndice A</a>) y que los procesos de tratamiento del agua utilizados eliminan el 30% de la contaminación (ver <a href="#">Tabla 5.1</a>), se puede hacer una estimación conservadora de las dosis de ingestión que se pueden haber recibido utilizando la <a href="#">Tabla B1</a>. Suponiendo que se consume agua contaminada durante una semana, las dosis de ingestión serían del orden de unos 5 µSv. Es probable que este valor esté sobrestimado ya que la contaminación se diluirá rápidamente a medida que se capta agua no contaminada y se hace pasar por la red de distribución, una vez ha pasado la contaminación intencionada.</p> <p>Antes de que se efectúen las medidas en el agua almacenada, se puede hacer una estimación conservadora de las dosis que se podrían haber recibido debido a la ingesta de agua potable procedente de los depósitos de reserva, suponiendo que es la misma que la señalada más arriba. Este valor supone que no ha habido dilución de la contaminación en el depósito de almacenamiento debido a la mezcla con agua limpia almacenada antes y después de que la contaminación entrara en la planta de tratamiento.</p> <p>Hasta que la monitorización pueda confirmar que no se está captando más agua contaminada, se podría considerar la interrupción de la captación desde este punto si hay disponibles fuentes de agua o puntos de captación alternativos. Esta medida proporcionará más tranquilidad al público en relación a que la situación se está controlando y las dosis para la población se están minimizando.</p>
--	---

	<p>También es posible que haya presiones para que se reparta un suministro alternativo de agua no contaminada (al menos para beber) hasta que se pueda asegurar que no se han superado los niveles de cribado en el agua del sistema de distribución y que ya no se está captando del río más agua contaminada.</p> <p>También se debería llevar a cabo la monitorización del agua del río aguas abajo, concentrándola inicialmente en cualquier otro punto de captación de agua para consumo. Estos análisis son menos prioritarios ya que se produce una dilución importante a medida que la contaminación baja por el cauce, y las dosis estimadas debidas a la ingesta de agua procedente del punto de captación más cercano indican que no son necesarias acciones inmediatas.</p> <p><i>Los datos de la monitorización de los depósitos de reserva están disponibles después de dos días. Las medidas sugieren que las concentraciones de actividad de <sup>90</sup>Sr en el agua potable están en un rango de entre el 5 -10% del NIA.</i></p>
--	---

<p style="text-align: center;">¿Es necesario reducir las concentraciones de actividad en el agua potable independientemente de que se hayan superado los niveles de cribado o no?</p> <p>⇒ Sí</p>	<p>La calidad del agua potable es extremadamente importante para el público. Incluso si no hay un riesgo significativo para la salud, es posible que se dé presión social y política para que se reduzcan los niveles de radiactividad en el agua hasta los niveles de fondo.</p>
<p style="text-align: center;">Considerar todos los suministros de agua públicos y privados identificados</p> <p style="text-align: center;">¿Se trata de un suministro de agua público?</p> <p>⇒ Sí</p>	<p>Considerar los tipos de suministro de agua. <i>En este caso solo ha resultado contaminado un suministro de agua público y este se distribuye a una serie de grandes poblaciones.</i></p>
<p style="text-align: center;">¿El radionucleido es de vida corta? (Tabla 1.1)</p> <p>⇒ No</p>	<p>El <sup>90</sup>Sr está clasificado en el Manual como radionucleido de vida larga.</p>
<p style="text-align: center;">Considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro alternativo de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</li> <li>Cambio en el punto de captación de agua o en la localización de la fuente (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>)</li> <li>Mezcla controlada de suministros de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 3</a>)</li> <li>Modificación del tratamiento del agua (solo una opción a largo plazo) (<a href="#">Hoja de Datos 5</a>)</li> <li>Tratamiento del agua en el punto de consumo (grifo) (probablemente solo sea viable si el número de propiedades afectadas es muy pequeño) (<a href="#">Hoja de Datos 6</a>)</li> </ul>	<p>Las mediciones en el agua tratada indican que el tratamiento normal es eficaz en la reducción de <sup>90</sup>Sr en el agua que entra a la planta por debajo del NIA. Sin embargo, debido a la presión social y política para reducir los niveles de radiactividad en el agua hasta los niveles de fondo, se deberían tener en cuenta las siguientes opciones.</p> <p>Proporcionar suministros alternativos de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>). Debido al tamaño de la población afectada y los bajos niveles de contaminación medidos en el agua potable, esta opción no está justificada, además de no ser viable.</p> <p>Cambio en el régimen de captación o en la fuente de agua utilizada (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>). No es necesario, ya que la contaminación ha pasado aguas abajo más allá del punto de captación. Sin embargo, para proporcionar una mayor seguridad, podría tenerse en cuenta el cambio de la fuente de agua, si es viable, a corto plazo mientras se pone en marcha monitorización adicional.</p> <p>Para mayor tranquilidad, es posible que se requiera una limpieza exhaustiva de la planta de tratamiento de agua para eliminar todos los precipitados, lodos y</p>

	<p>filtros contaminados (ver <a href="#">Hoja de Datos 4</a>). Esta opción necesitaría una planificación que minimizara la interrupción del suministro de agua. Sería necesario evaluar y controlar las dosis a las personas que llevaran a cabo la limpieza de la planta de tratamiento (ver <a href="#">Apéndice B</a>).</p> <p>Se podrían introducir cambios en el tratamiento del agua implementado para eliminar más Estroncio radiactivo (ver <a href="#">Hoja de Datos 5</a>). Por ejemplo, la utilización de cal durante la floculación podría aumentar la eficacia de la eliminación. Sin embargo, los cambios en el tratamiento del agua estarán difícilmente justificados por motivos de protección radiológica.</p> <p>Se seguirá monitorizando el suministro de agua potable que salga la planta de tratamiento afectada hasta que se pueda asegurar que la calidad de dicho agua es aceptable para todas las partes interesadas.</p>
--	--

### **6.3 Ejemplo 3 – Contaminación directa del agua después del tratamiento**

#### **6.3.1 Descripción**

Las autoridades han sido informadas por teléfono de que una liberación maliciosa en un suministro de agua potable que abastece a una gran ciudad, se ha dispersado por la red de distribución. Todavía no se conoce la identidad del(los) radionucleido(s).

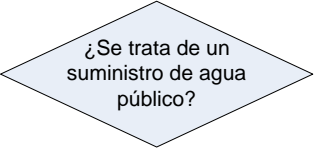

#### **6.3.2 Estructura de la toma de decisiones para el desarrollo de una estrategia de recuperación**

Para desarrollar una estrategia de recuperación, comenzar con el árbol para la toma de decisiones sobre las opciones de recuperación para agua potable ([Figura 5.1](#)). La información relacionada con el progreso del escenario con el tiempo se da en letra *itálica*.

<p style="text-align: center;">↓</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>¿Se sospecha que el suministro de agua potable se ha contaminado o que podría llegar a contaminarse?</p> </div> <p style="text-align: center;">↓ Sí</p> <p>⇒ Sí</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p>¿Se sospecha que la contaminación del suministro de agua se ha producido después del tratamiento de la misma?</p> </div> <p>⇒ Sí</p>	<p>Según se sabe (o se sospecha fuertemente por lo que se ha contado), se ha producido la contaminación del agua potable en la red de distribución. Es posible que ya se hayan recibido dosis de ingestión por parte de algunas personas. Estas dosis variarán de manera importante y disminuirán ya que la contaminación se diluirá a medida que se aleje del punto de liberación. Por eso es muy importante establecer rápidamente la monitorización y controlar las dosis adicionales en la medida posible hasta que se disponga de más información.</p> <p>También es importante saber a cuánta gente abastece el suministro de agua que ha sido contaminado y la posible dilución en la red de agua potable.</p> <p><b>Es necesario actuar de manera inmediata.</b></p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center;"><b>ES NECESARIO ACTUAR INMEDIATAMENTE</b></p> <p>Considerar el advertir a la gente de que no utilice el suministro de agua para beber o cocinar (a lo mejor tampoco para otros usos) mientras se esperan los análisis de las muestras. Proporcionar un suministro alternativo (ver <a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</p> <p>Alta prioridad para la realización de análisis y monitorización adicional</p> <p>Evaluación de dosis a las personas (<a href="#">Apéndice B</a>)</p> <p>Considerar el vaciado del agua contenida en el sistema de distribución</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;">PARA CADA SUMINISTRO</p> <p>¿Indican las estimaciones iniciales de concentraciones de actividad en el agua potable que es <b>muy improbable</b> que sus niveles superen los niveles de cribado de actividad total alfa o beta? (ver <a href="#">Sección 1.8.1</a>)</p> </div>	<p>Habría que tomar muestras de la red donde se pueda tener acceso a la misma y se puedan efectuar mediciones de la actividad total. También puede ser adecuado comenzar la monitorización con equipos portátiles en los tanques de suministro de agua y en las principales tuberías. Este enfoque es capaz de identificar la presencia de la mayoría de los radionucleidos.</p> <p><i>Supongamos que se ha identificado la localización mediante sensores o que se ha visto a individuos sospechosos a través de las cámaras de seguridad. Las estimaciones iniciales de las concentraciones de actividad en el lugar de la contaminación realizadas con equipos portátiles indican que hay radiactividad presente en el suministro de agua. Los primeros análisis de muestras de agua muestran que se ha superado el nivel de cribado de actividad total beta. Sin embargo, las concentraciones de actividad no son lo suficientemente elevadas como para conllevar un posible riesgo para la salud si el agua se utiliza para fines de saneamiento.</i></p> <p>Hay que comunicar al público utilizando todos los medios posibles que se debe interrumpir el consumo de agua potable para beber y cocinar hasta nuevo aviso. Se debería advertir a la gente de que utilizar el agua para saneamiento no supone un riesgo para la salud. Deberían organizarse suministros alternativos, como camiones cisterna y agua embotellada (ver <a href="#">Hoja de Datos 1</a>).</p> <p>Mientras tanto, se debería tomar un gran número de muestras de agua con el fin de establecer la escala de la contaminación. Para llevar a cabo numerosos análisis de espectrometría gamma y mediciones de actividad total beta, es necesaria una adecuada preparación de los</p>



	laboratorios y la colaboración entre ellos (ver <a href="#">Sección 5.2</a> )
<p data-bbox="327 271 630 427">** Llevar a cabo análisis específicos de radionucleidos para los que se identifiquen como potencialmente peligrosos a partir de lo que se sepa del incidente.</p> <div data-bbox="260 551 703 786"> <p data-bbox="311 577 654 680">¿Las concentraciones en el agua tratada están por encima de los NIA / Niveles de Intervención? (<a href="#">Tabla 1.3</a>)</p> <p data-bbox="470 734 491 763">Sí</p> <p data-bbox="470 763 491 786">↓</p> </div> <p data-bbox="252 808 320 837">⇒ Sí</p>	<p data-bbox="730 271 1453 562"><i>Después de algunas horas empiezan a llegar los primeros resultados de la monitorización. En dos de las muestras se encuentra una concentración de actividad de 2000 Bq/l de <sup>131</sup>I, igual a cuatro veces el NIA. En el resto de las muestras se han medido concentraciones de actividad que varían desde valores inferiores a los niveles de detección hasta 500 Bq l<sup>-1</sup>, es decir, hasta el 50% del NIA.</i></p> <p data-bbox="730 607 1453 748"><i>Hay disponible información específica sobre las tasas de consumo de agua potable de la población local. Estas son un 50% mayores que los valores dados en el Manual en la <a href="#">Tabla B1</a>.</i></p> <p data-bbox="730 792 1453 1263">De acuerdo con la <a href="#">Tabla B1</a>, y ampliando las tasas de consumo de agua potable en un factor 1,5, se llegaría a una dosis de ingestión máxima de 1 - 3 mSv, basándose en la medición más elevada si se bebiera durante un mes agua con este nivel de contaminación. En base a las otras mediciones, las dosis serían inferiores a 1 mSv. Estas estimaciones suponen que no ha habido decaimiento radiactivo. El <sup>131</sup>I es de vida corta y tiene un periodo de semidesintegración radiactiva de unos 8 días. Si se tiene en cuenta el decaimiento radiactivo, las dosis de ingestión serían menores y las dosis más altas debidas al consumo durante un mes es improbable que superaran 1 mSv.</p> <p data-bbox="730 1308 1453 1525">Debería señalarse que los niveles más altos de contaminación disminuirían rápidamente debido a que la contaminación se diluiría de manera importante en el agua potable en un corto periodo de tiempo, de manera que las dosis estimadas más arriba es posible que sean muy conservadoras.</p> <p data-bbox="730 1570 1453 1854">Se debería tener en cuenta la descarga de agua potable fuera del suministro en los puntos con las mayores concentraciones de actividad, es decir, los más cercanos al lugar de la contaminación. Esto se podría lograr mediante la apertura de válvulas y el vaciado del agua hacia el sistema de alcantarillado. Sería necesario tener en cuenta la gestión de este agua como residuo contaminado (ver <a href="#">Sección 2.6</a>).</p>
<p data-bbox="368 1868 587 2018">Considerar todos los suministros de agua públicos y privados identificados</p>	<p data-bbox="730 1868 1401 1973">La red de distribución de agua abastece a un gran número de miembros del público. Los suministros de agua privados no resultan afectados.</p>

<p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ Sí</p>	
<p style="text-align: center;">  </p> <p>⇒ Sí</p>	<p>El <math>^{131}\text{I}</math> está clasificado en el Manual como radionucleido de vida corta. Tiene un periodo de semidesintegración radiactiva de 8 días.</p>
<div style="border: 1px solid black; background-color: yellow; padding: 10px;"> <p>Considerar opciones que se puedan implementar rápidamente:</p> <p>Suministro alternativo de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 1</a>)</p> <p>Mezcla controlada de suministros de agua potable (<a href="#">Hoja de Datos 3</a>)</p> <p>Cambio en los puntos de captación de agua o en la localización de la fuente (<a href="#">Hoja de Datos 2</a>)</p> <p>Tratamiento normal del agua (<a href="#">Hoja de Datos 4</a>)</p> </div>	<p>La mayoría de las dosis de ingestión debidas al consumo de agua contaminada es probable que hayan sido recibidas antes de que se establecieran los controles a dicho consumo. Sin embargo, se podría seguir recibiendo dosis menores debidas al consumo de agua durante las siguientes pocas semanas, hasta que el <math>^{131}\text{I}</math> haya decaído. Por eso es importante tener en cuenta las opciones de gestión que se puedan implementar rápidamente y evaluar su posible eficacia.</p> <p>Tener en cuenta: Seguir con la provisión de un suministro alternativo de agua potable (ver <a href="#">Hoja de Datos 1</a>). Será importante evaluar durante cuánto tiempo se podrá mantener.</p> <p>La mezcla controlada de suministros de agua no será beneficiosa en este caso ya que el agua que sale de las plantas de tratamiento no está contaminada.</p> <p>La utilización de filtros con jarra a una escala tan grande es improbable que sea factible (ver <a href="#">Hoja de Datos 6</a>). Sin embargo, puede ser apropiado que las utilicen las personas más próximas al lugar de la contaminación y los que recibieron las dosis más altas de ingestión en el momento de la liberación, si la provisión de un suministro alternativo de agua potable no es factible o no se puede mantener durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo.</p> <p>La monitorización del agua potable en la red de distribución debería continuar hasta que se pueda asegurar que su calidad es aceptable para todas las partes interesadas. El agua que sale de las plantas de tratamiento también debería monitorizarse para demostrar que dichas plantas no han resultado</p>

	<p>contaminadas y para tranquilizar al público acerca de la calidad del agua. Esto sería solo necesario durante unos pocos meses debido al corto periodo de semidesintegración del <math>^{131}\text{I}</math>.</p> <p>Posiblemente haya una presión considerable por parte del público para vaciar la red de distribución de agua con el fin de garantizar que el dicho agua no contiene ninguna contaminación residual. Esta medida es de difícil justificación por motivos de protección radiológica debido a la naturaleza del <math>^{131}\text{I}</math>, de vida corta, y al hecho de que las dosis de ingestión recibidas de la contaminación diluida en el agua serán muy bajas.</p>
--	---

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## 7 GLOSARIO

Término	Definición
Agua potable	Agua utilizada para beber y para la preparación de alimentos tal y como se suministra en el punto de consumo, lo que para la mayoría de la gente es "en el grifo".
Agua potable para beber	Agua apta para el consumo que cumple toda la legislación sobre calidad del agua.
Agua sin tratar	Agua que no ha sido tratada para hacerla apta para el consumo humano procedente de fuentes de agua superficiales, de embalses naturales o construidos por el hombre, y de fuentes de agua subterránea.
Áreas habitadas	Lugares donde las personas pasan su tiempo, es decir, en casa, en el trabajo y en los momentos de ocio.
Bq (Becquerel)	El Becquerel es la unidad de radiactividad, es decir, la tasa a la que se produce la desintegración nuclear en una determinada cantidad de material radiactivo. Se define como una desintegración nuclear por segundo.
Captación	Captación es el proceso por el que se toma agua de cualquier fuente, tanto temporal como permanentemente, por ejemplo de ríos, pozos, etc.
Clarificación	Proceso de tratamiento del agua mediante el que las partículas formadas durante el proceso de floculación se separan del agua. Estas partículas, bien se dejan caer por gravedad hasta el fondo, o bien se hacen flotar, y entonces se procede a su eliminación.
Concentración de actividad	Nivel de contaminación radiactiva por unidad de área, volumen o masa. Son ejemplos los siguientes: Bq m <sup>-2</sup> (Bq por metro cuadrado): concentración de actividad de material radiactivo depositado sobre una superficie. Bq l <sup>-1</sup> (Bq por litro): concentración de actividad de material radiactivo en el agua potable, en el agua de lluvia de escorrentía o en los residuos líquidos.
Contaminación radiactiva	Ver contaminación.
Contaminación/contaminación radiactiva	Depósito de material radiactivo sobre las superficies en áreas habitadas o en las fuentes y suministros de agua potable.
Dosis	Término general utilizado para una cantidad de radiación ionizante. A menos que se utilice en un contexto específico, se refiere a dosis efectiva.
Dosis de ingestión	Dosis efectiva recibida debido a la ingestión de radiactividad en el organismo.
Dosis efectiva	Magnitud utilizada en protección radiológica que incorpora la sensibilidad de los diferentes tejidos vivos al daño producido por los distintos tipos de radiación recibida por el cuerpo. Es una medida de la exposición a la radiación. Unidad: Sv (Sievert).
Emisores alfa	Materiales radiactivos cuyo tipo de radiación emitida más peligrosa son las partículas alfa, por ejemplo, el radionucleido Plutonio-239 es un emisor alfa.
Emisores beta	Materiales radiactivos cuyo tipo de radiación emitida más peligrosa son las partículas beta, por ejemplo, el radionucleido hijo del Estroncio-90 (Ytrio-90) es un emisor beta. Las partículas beta pueden penetrar en torno a un cm en los tejidos, de manera que los radionucleidos que las emiten son peligrosos para los tejidos superficiales, pero no para los órganos internos, a menos que se incorporen al organismo a través de la respiración o la ingestión.
Emisores gamma/emisión gamma	Materiales radiactivos cuyo tipo de radiación emitida más peligrosa es en forma de rayos gamma, por ejemplo, el radionucleido Cobalto-60 es un emisor gamma.
Estrategia de gestión	Ver estrategia de recuperación.

Estrategia de recuperación	El objetivo de una estrategia de recuperación es la vuelta a la vida normal, es decir, que la gente pueda vivir y trabajar en una zona sin tener que estar preocupados por el incidente/emergencia radiológica y sus consecuencias. Cubre todos los aspectos de la gestión a largo plazo del área contaminada y la implementación de opciones de recuperación específicas. En el desarrollo de la estrategia deberían participar todas las partes interesadas, incluidos miembros del público.
Fase de recuperación	Periodo de tiempo durante el cual las actividades se centran en la restauración del estilo de vida normal de las poblaciones afectadas. No hay unos límites exactos entre la fase de emergencia y la fase de recuperación. Sin embargo, en el contexto del manual, se debería considerar que la fase de recuperación comienza después de que el incidente se haya controlado y continúa hasta que se hayan cumplido los criterios de recuperación acordados.
Floculación	Proceso de tratamiento del agua en el que se añaden sustancias químicas a la misma para eliminar material suspendido en forma de finas partículas. Los productos químicos se combinan con las partículas en el agua para formar partículas de mayor tamaño que pueden ser eliminadas mediante el proceso de clarificación.
Fuentes de agua	Para el propósito del manual se agrupan en fuentes de agua subterráneas, por ejemplo acuíferos, y fuentes de agua superficiales, por ejemplo ríos y embalses.
Fuentes de agua en superficie	Agua no tratada procedente de fuentes superficiales interiores, por ejemplo lagos.
Fuentes de agua subterránea	Ver fuentes de agua.
Hoja de Datos	Recopilación de datos e información acerca de una opción de recuperación o de una medida previa a la liberación o de la fase de emergencia, diseñada para ayudar a los responsables de la toma de decisiones en la evaluación de una opción y del impacto de su implementación.
Incidente	Ver incidente radiológico.
Incidente radiológico/emergencia radiológica	Cualquier suceso, accidental o de otro tipo, que implica la liberación de radiactividad al medio ambiente.
Milisievert (mSv)	Una milésima parte de un Sievert (Sv).
Opción de gestión	Acción destinada a evitar dosis a la población afectada o a reducir los niveles de contaminación en el agua potable, que se lleva a cabo en la fase de recuperación.
Opciones	Ver opciones de gestión.
Opciones de agua potable	Ver opciones de gestión.
Partes interesadas	Individuos, grupos u organizaciones a las que afecta la estrategia de recuperación y que deberían participar en el desarrollo de la misma.
Partícula beta	Electrón cargado negativamente emitido por el núcleo de un radionucleido tras su desintegración radiactiva.
Partículas alfa	Partículas formadas por dos protones y dos neutrones emitidas por el núcleo de un radionucleido tras la desintegración radiactiva. Las partículas alfa no penetran en la piel y solo son peligrosas si se incorporan al organismo a través de la respiración o la ingestión.
Periodo de semidesintegración radiactiva	Tiempo que tarda la concentración de actividad de un radionucleido en caer a la mitad de su valor inicial debido a su desintegración radiactiva.
Radionucleido	Tipo de núcleo atómico que es inestable y que puede experimentar una desintegración espontánea dando lugar a otro núcleo mediante la emisión de radiación ionizante, normalmente alfa, beta o gamma.
Radionucleidos de vida corta	Definidos para el Manual como radionucleidos con un periodo de semidesintegración radiactiva de menos de tres semanas.
Radionucleidos de vida larga	Definidos para el Manual como radionucleidos con un periodo de semidesintegración radiactiva de más de tres semanas.

Rayos gamma	Fotones de alta energía, sin masa ni carga, emitidos por el núcleo de un radionucleido tras su desintegración radiactiva, como una onda electromagnética. Son muy penetrantes, de manera que los radionucleidos que los emiten pueden ser muy peligrosos tanto si están fuera como dentro del organismo.
Responsables de la toma de decisiones	Personas o grupos de personas que evalúan las diferentes opciones de recuperación y deciden sobre la estrategia de recuperación o las opciones dentro de dicha estrategia. Por ejemplo, los responsables de la toma de decisiones pueden incluir a representantes locales, autoridades responsables en materia de agua y salud, fuerzas policiales y cuerpos de bomberos, organismos medioambientales, autoridades nacionales y especialistas en radiación.
Sievert, Sv	Unidad estándar de dosis efectiva. Símbolo: Sv.
Sistema de distribución	Tuberías, estaciones de bombeo y depósitos a través de los cuales se transporta el agua hasta los consumidores, bajo la responsabilidad de una empresa de gestión del suministro de agua público.
Suministros de agua de superficie	Suministros de agua potable que procede de fuentes de agua superficiales, por ejemplo ríos y embalses.
Suministros de agua privados	Suministro de agua que no es proporcionado por una empresa autorizada para la gestión del suministro de agua, que incluye el agua distribuida por una tercera persona a edificios individuales mediante un sistema de distribución privado.
Suministros de agua públicos	Suministros de agua potable que las empresas autorizadas para la gestión del suministro de agua proporcionan a los edificios.
Suministros de agua subterráneos	Suministros de agua potable que procede de fuentes que están bajo la superficie del terreno y en contacto directo con el suelo o el subsuelo, por ejemplo, pozos.
Trabajador	En el Manual, un trabajador se define como un individuo que está formalmente involucrado en la implementación práctica de una estrategia de recuperación. Se deben controlar las exposiciones a la radiación de los trabajadores.
Vías de exposición	Vías por las cuales las personas son expuestas a la radiación. La vía más importante para el agua potable es la ingestión de la misma.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## APÉNDICE A

### Ejemplo de la aplicación de métodos de cribado de actividad total Alfa y Beta en el Reino Unido

La Agencia de Medio Ambiente del Reino Unido (EA) ha publicado unas orientaciones sobre la monitorización del agua potable utilizando métodos de cribado de la actividad alfa y beta [EA, 2002]. Se han desarrollado unos Niveles de Cribado de Emergencia en términos de actividad total que pueden ser utilizados en caso de incidente radiológico para determinar si es necesario intervenir para reducir las concentraciones de actividad en el agua potable. La utilización de las medidas de actividad total es un buen punto de partida para la identificación de concentraciones de actividad en el agua potable que pudieran superar los NIA. Sin embargo, estas medidas pueden no ser suficientes por sí mismas y es posible que sea necesario un análisis adicional de radionucleidos específicos, tal y como se expone más adelante.

En la [Tabla A1](#) se dan los Niveles de Cribado de Emergencia. Si las concentraciones de actividad total observadas en el agua potable tratada y distribuida están por debajo de los valores dados en la [Tabla A1](#), entonces, para la mayoría de los radionucleidos incluidos en este manual, no serían necesarios análisis adicionales específicos para demostrar la conformidad con los NIA de la [Tabla 1.3](#). Habría que señalar que estos niveles de cribado están calculados para demostrar que los NIA no se han superado. Si se utilizan otros niveles de intervención (como los sugeridos por el OIEA [OIEA, 2002], habría que establecer otros niveles de cribado diferentes.

Para radionucleidos para los que este sistema sea válido, el hecho de que se midan concentraciones por encima de los Niveles de Cribado de Emergencia dados en la [Tabla A1](#) no significa necesariamente que se haya superado el NIA para un radionucleido específico (ver [Tabla 1.3](#)). Sin embargo, sí que debería suponerse que las concentraciones de actividad han superado los NIA hasta que se pueda llevar a cabo un análisis para el radionucleido específico más riguroso.

Algunos radionucleidos no se podrán detectar utilizando el equipo de monitorización que habitualmente usan las compañías gestoras del suministro de agua para medir la actividad total  $\alpha$  y  $\beta$ . De los que aparecen en la lista de la [Tabla 1.1](#), no serían detectados mediante análisis de actividad total  $\beta$  el  $^{75}\text{Se}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$  o el  $^{169}\text{Yb}$ . Algunos de estos radionucleidos no emiten partículas beta, mientras que en otros casos la energía de la emisión de la partícula beta es demasiado baja como para ser detectada por el método utilizado. Si se sospecha que estos radionucleidos pudieran estar presentes en el suministro de agua, sería necesario llevar a cabo más análisis para radionucleidos específicos. Los radionucleidos que emiten fotones se pueden medir fácilmente mediante técnicas no destructivas. Sin embargo, para otros es necesario utilizar métodos radioquímicos. Hay publicadas algunas orientaciones sobre el uso de métodos radioquímicos tras un incidente [Green, 1993].

**Tabla A1 Niveles de cribado de emergencia para concentraciones de actividad total alfa y beta en el agua potable establecidos para garantizar que no se superan los NIA para el consumo de agua**

Tipo de monitorización	Nivel de Cribado de Emergencia (Bq l <sup>-1</sup> )
Actividad total $\alpha$	5
Actividad total $\beta$	30

## A1 REFERENCIAS

- EA (2002). Review of alpha and beta blue book methods: Drinking water screening levels. National Compliance Assessment Service Technical Report, NCAS/TR/2002/003, UK.
- Green, N (1993). An evaluation of rapid methods of radionuclide analysis in the aftermath of an accident. Science of the Total Environment 130/131, pp 207-218.
- IAEA (2002). Safety requirements on preparedness and response for a nuclear or radiological emergency. Safety Standards Series No. GS-R-2, IAEA, Vienna.

[Ir a la sección siguiente](#)

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)



## APÉNDICE B

### Estimación de dosis tras la contaminación del agua

En esta sección se da cierta información que permite estimar las dosis que se podrían recibir tras la contaminación del agua utilizada para el suministro de agua potable.

Se recoge la siguiente información:

- dosis efectivas comprometidas por ingestión, debido el consumo de agua potable contaminada en los NIA durante una semana y un mes;
- dosis efectivas comprometidas por ingestión, debido al consumo de agua durante un año con un nivel de contaminación inicial de 1 Bq l<sup>-1</sup>, teniendo en cuenta el decaimiento durante ese año y sin que se añada más contaminación al agua;
- información sobre una metodología desarrollada para estimar dosis a los operarios que trabajen en las plantas de tratamiento de agua potable a través de las cuales haya pasado agua contaminada.

#### B1 DOSIS POR INGESTIÓN DEBIDAS AL CONSUMO DE AGUA POTABLE CONTAMINADA

Se han hecho estimaciones de las dosis que se podrían recibir debido al consumo de agua contaminada. Con fines ilustrativos, se han tomado las tasas de consumo de agua del NRPB, 1994, y se supone que aproximadamente la mitad de la ingesta total de agua de un individuo procede del agua del grifo<sup>a</sup>. El resto se consume en forma de leche, zumo o bebidas embotelladas, las cuales no se tratan en este Manual. Estas dosis son ilustrativas y deberían utilizarse solo como aproximación a los niveles de dosis que se podrían esperar debidos al consumo de agua del grifo. También se pueden utilizar para estimar el efecto que podría tener sobre las dosis la implementación de las opciones de gestión. Hay que señalar que todas las dosis estimadas se pueden escalar directamente para tener en cuenta diferentes tasas de consumo.

La dosis de ingestión se puede calcular de la siguiente manera:

Dosis efectiva comprometida por ingestión, mSv =

Concentración de actividad en el agua potable (Bq l<sup>-1</sup>) x tasa de consumo (l año<sup>-1</sup>) x dosis de ingestión por unidad de actividad ingerida (Sv Bq<sup>-1</sup>) x 1000 (mSv por Sv)

La [Tabla B1](#) y la [Tabla B2](#) muestran la dosis efectiva comprometida por ingestión en mSv que recibirían niños de 1 año de edad, de 10 años y adultos si consumieran a una tasa normal agua del grifo contaminada con los radionucleidos incluidos en el manual. La [Tabla B1](#) recoge las dosis debidas al consumo de agua potable contaminada según los NIA durante 1 semana y 1 mes. Hay que señalar que las estimaciones de dosis

---

<sup>A</sup> SEÑALAR QUE LAS DOSIS SE PUEDEN ESCALAR DIRECTAMENTE PARA REFLEJAR DIFERENTES TASAS DE CONSUMO.

debidas al consumo durante más de un mes serían prudentes para muchos tipos de incidente ya que es altamente improbable que las concentraciones de actividad en el agua permanezcan en el nivel considerado durante todo el tiempo. Sin embargo, para algunos radionucleidos como el  $^{226}\text{Ra}$ , la persistencia de las concentraciones de actividad en los NIA sería motivo de preocupación. La [Tabla B2](#) muestra las dosis debidas al consumo de agua durante un año con un nivel de contaminación inicial de  $\text{Bq l}^{-1}$ , teniendo en cuenta el decaimiento radiactivo durante a lo largo del año y sin que se añada contaminación adicional al agua.

**Tabla B1 Dosis efectivas comprometidas debidas al consumo de agua del grifo contaminada según los NIA para agua potable**

Radionucleido	Dosis efectiva comprometida <sup>a</sup> , mSv, tras el consumo durante:							
	NIA $\text{Bq l}^{-1}$	1 semana			1 mes			
		edad	1 año	10 años	Adultos	1 año	10 años	Adultos
$^{60}\text{Co}$	1000		$9 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{75}\text{Se}$	1000		$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$
$^{90}\text{Sr}$	125		$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{95}\text{Zr}$	1000		$2 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
$^{95}\text{Nb}$	1000		$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$^{99}\text{Mo}^b$	1000		$1 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$^{103}\text{Ru}$	1000		$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$^{106}\text{Ru}$	1000		$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
$^{131}\text{I}^c$	500		$3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$	1	$4 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
$^{132}\text{Te}^b$	1000		$1 \cdot 10^{-1}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{134}\text{Cs}$	1000		$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-1}$
$^{136}\text{Cs}^b$	1000		$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{137}\text{Cs}$	1000		$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
$^{140}\text{Ba}^b$	1000		$6 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$
$^{140}\text{La}^b$	1000		$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$
$^{144}\text{Ce}$	1000		$1 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$
$^{169}\text{Yb}^b$	1000		$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$^{192}\text{Ir}$	1000		$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
$^{226}\text{Ra}$	1000		3	3	2	$1 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^1$	9
$^{235}\text{U}^c$	No se aplica							
$^{238}\text{Pu}$	20		$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$
$^{239}\text{Pu}$	20		$3 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-1}$
$^{241}\text{Am}$	20		$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$

Notas:

(a) Tasas de consumo de agua del grifo (litros por año): 1 año de edad = 172 l/año, 10 años de edad = 197 l/año, Adultos = 391 l/año [NRPB, 1994]. Si hubiera disponibles datos específicos del lugar sobre tasas de consumo de agua del grifo, se podrían escalar directamente los valores de la tabla para reflejar tasas de consumo diferentes.

(b) Para radionucleidos de vida corta (periodo de semidesintegración < 3 semanas) la dosis efectiva comprometida después de un año de ingestión se ha calculado para un periodo equivalente a 8 periodos de semidesintegración radiactiva.

(c) Para el  $^{235}\text{U}$ , se tomarían medidas debido a la toxicidad química del Uranio, ya que esta es más preocupante que el propio contenido radiactivo del agua (ver [Tabla 1.3](#)).

**Tabla B2 Dosis efectivas comprometidas debido al consumo durante un año de agua potable contaminada inicialmente con  $1 \text{ Bq l}^{-1}$  a,b**

Radionucleido	Dosis efectiva comprometida, mSv		
	1 año de edad	10 años de edad	Adultos
$^{60}\text{Co}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$^{75}\text{Se}$	$9 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
$^{90}\text{Sr}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
$^{95}\text{Zr}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
$^{95}\text{Nb}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
$^{99}\text{Mo}$	$7 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-6}$
$^{103}\text{Ru}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
$^{106}\text{Ru}$	$6 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
$^{131}\text{I}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
$^{132}\text{Te}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
$^{134}\text{Cs}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
$^{136}\text{Cs}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
$^{137}\text{Cs}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
$^{140}\text{Ba}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
$^{140}\text{La}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
$^{144}\text{Ce}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$
$^{169}\text{Yb}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
$^{192}\text{Ir}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
$^{226}\text{Ra}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{235}\text{U}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
$^{238}\text{Pu}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$9 \cdot 10^{-2}$
$^{239}\text{Pu}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$
$^{241}\text{Am}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$

Nota:

a) Tasas de consumo de agua del grifo (litros por año): 1 año de edad = 172 l/año, 10 años de edad = 197 l/año, Adultos = 391 l/año [NRPB, 1994]. Si hubiera disponibles datos específicos del lugar sobre tasas de consumo de agua del grifo, se podrían escalar directamente los valores de la tabla para reflejar tasas de consumo diferentes.

b) Solo se tiene en cuenta el decaimiento radiactivo durante el año; no se suponen otros tipos de dilución de los niveles de contaminación en el agua. En la mayoría de los casos, se trata de un supuesto muy conservador.

## B2 EVALUACIÓN DE DOSIS A LOS OPERARIOS QUE TRABAJAN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Si un incidente radiactivo tuviera como consecuencia la contaminación de un suministro de agua potable, probablemente el agua pasaría a través de una planta de tratamiento antes de ser suministrada al consumidor. Por lo tanto, cualquier incidente de este tipo podría conllevar la exposición a la radiación de los operarios que trabajaran en cualquier planta de tratamiento afectada. Si el tratamiento del agua elimina radionucleidos de la misma, estos quedarán o bien concentrados en los residuos resultantes del tratamiento efectuado, o bien retenidos en la planta de tratamiento sobre distintas superficies o en los materiales filtrantes. Por eso es importante que haya información e indicaciones de manera que se pueda cuantificar el impacto radiológico sobre los operarios de las plantas de tratamiento.

Se ha editado un Manual [Brown *et al*, 2008a] en el Reino Unido para ayudar a las empresas gestoras del suministro de agua a evaluar el impacto que cualquier incidente radiológico pudiera tener sobre las personas encargadas de llevar a cabo las operaciones en una planta de tratamiento afectada. Se proporciona una herramienta de cálculo que permite a los usuarios evaluar las posibles dosis a los trabajadores de la planta. Se puede utilizar para ayudar a las empresas gestoras del suministro de agua a tomar decisiones sobre cómo operar las plantas de tratamiento en caso de que se produzca un incidente radiológico y a gestionar las posibles exposiciones a la radiación de los operarios. También se espera que el Manual se utilice como herramienta de entrenamiento. Se incluyen ejemplos prácticos para ayudar a los usuarios tanto en la planificación para un incidente radiológico, como en la gestión de uno. Se han tenido en cuenta las actividades normalmente realizadas en una planta de tratamiento de agua y se han agrupado en actividades "genéricas" para reflejar grupos de las mismas para las cuales las exposiciones a la radiación probablemente sean muy similares. Las actividades genéricas y las vías de exposición consideradas se recogen en la [Tabla B3](#). Se ha adoptado este enfoque para que las exposiciones a la radiación puedan ser estimadas para los operarios de cualquier planta de tratamiento de agua potable. Obviamente, estas estimaciones solo se pueden utilizar como aproximación a las dosis que pudieran recibir los operarios ya que se han hecho suposiciones muy generales en cada escenario de exposición. Los detalles sobre los supuestos considerados para la estimación de dosis de cada una de las actividades generales se recogen en Brown *et al* [2008b].

## B3 REFERENCIAS

- Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008a) Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. HPA-RPD-040 disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).
- Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008b) Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. Supporting scientific report. HPA-RPD-041 disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).
- NRPB (1994). Guidance on restrictions on food and water following a radiological accident. Chilton, Docs NRPB 5.

**Tabla B3 Actividades genéricas y posibles vías de exposición**

Nombre de la actividad genérica	Posibles vías de exposición	Tareas típicas incluidas
Mantenimiento/inspección general	Gamma externa	<p>Comprobación de la calidad del agua</p> <hr/> <p>Inspección de la planta de sedimentación por gravedad</p> <hr/> <p>Mantenimiento general de la planta no especificado</p> <hr/> <p>Inspección de unidades de floculación/clarificación (no flotación por aire disuelto -DAF-)</p>
	Gamma externa, beta externa, inhalación de aerosoles resuspendidos y materiales filtrantes	
Mantenimiento de unidades de flotación por aire disuelto (DAF)	Gamma + beta externas	Inspección de plantas de flotación por aire disuelto (DAF)
Mantenimiento de lechos filtrantes	Gamma/beta externas, inhalación de material resuspendido tanto en condiciones secas, como exteriores con viento, o si se riega	<p>Reposición de filtros rápidos por gravedad (en el interior/en el exterior)</p> <hr/> <p>Limpieza de filtros rápidos por gravedad (en el interior/en el exterior)</p> <hr/> <p>Vaciado y sustitución de materiales de filtrado rápido por gravedad (en el interior/en el exterior)</p> <hr/> <p>Eliminación/reposición de los primeros 10 cm del material de filtrado lento por arena</p> <hr/> <p>Vaciado y sustitución de los materiales de filtrado lento por arena</p>
Limpieza de tanques de sedimentación	Gamma/beta externas, inhalación de material resuspendido en condiciones secas, exteriores con viento, o si se riega	<p>Limpieza de láminas (en el interior/en el exterior)</p> <hr/> <p>Limpieza de tanques de sedimentación/clarificadores</p>
Transporte de lodos	Gamma externa (en un vehículo en el exterior)	Transporte de lodos hasta búnkeres/vertederos/lagunas/plantas de aguas residuales, etc.
Trabajo con lodos procesados	Gamma/beta externas, ingestión a través de las manos, inhalación de material resuspendido si los lodos se secan al aire en búnkeres o lagunas	<p>Vaciado de búnkeres de almacenamiento de lodos en el emplazamiento</p> <hr/> <p>Vaciado de lagunas de lodos</p> <hr/> <p>Trabajo con lodos almacenados</p>
Operación del prensado de lodos	Gamma/beta externas, ingestión a través de las manos, inhalación de material resuspendido si se seca o se utiliza una manguera a presión	<p>Vaciado de la prensa de lodos</p> <hr/> <p>Mantenimiento, servicio y limpieza de la prensa de lodos</p> <hr/> <p>Mantenimiento, servicio y limpieza de centrifugadoras</p>
Mantenimiento de unidades de membrana/ósmosis inversa/intercambio iónico	Gamma/beta externas	<p>Reparación/comprobación de filtros de membrana</p> <hr/> <p>Sustitución de medios de intercambio iónico</p> <hr/> <p>Sustitución de membranas de ósmosis inversa</p>
a) También importante en otras plantas en las que durante la fase de floculación/clarificación se forma una capa sobre la superficie del agua.		

<a href="#"><u>Ir a la sección siguiente</u></a>
<a href="#"><u>Volver al inicio de esta sección</u></a>
<a href="#"><u>Volver al índice del Manual</u></a>

## APÉNDICE C

### Estimación de concentraciones de actividad en los lodos residuales y materiales filtrantes tras el tratamiento del agua

La contaminación radiactiva eliminada mediante floculación y clarificación se acumulará en los lodos residuales generados. La masa de lodos producida variará en función de la cantidad de color y turbidez en el agua sin tratar, de manera que para un determinado nivel de caudal de agua, mayores niveles de turbidez darán lugar a más lodos por unidad de volumen de agua producida. Por consiguiente, para una concentración de actividad dada en el agua de entrada sin tratar, las concentraciones de actividad en los lodos procedentes de agua con poca turbidez serán mayores que los procedentes de agua con una turbidez elevada.

La filtración de agua que contenga radionucleidos dará lugar a la contaminación de los materiales filtrantes. Los lechos filtrantes acumularán contaminación radiactiva mientras el agua contaminada pasa a través de ellos. Los niveles de contaminación en dichos lechos disminuirán si se sustituyen los materiales filtrantes o como resultado de la reducción de las concentraciones de actividad debida al decaimiento radiactivo. Normalmente, la contaminación se irá asociando a una gran masa de materiales filtrantes a través de una serie de filtros. Por ello, las concentraciones de actividad en los materiales filtrantes por unidad de masa es probable que sean significativamente menores que las que se podría esperar en los lodos para la misma concentración de actividad en el agua de entrada. Se puede encontrar información adicional sobre la acumulación de radionucleidos en los lodos residuales y en los materiales filtrantes en Brown *et al* [2008a, 2008b].

#### C1 CONCENTRACIONES DE ACTIVIDAD EN MATERIALES FILTRANTES

También se describe en Brown *et al*, [2008b] una metodología para estimar las concentraciones de actividad en los materiales filtrantes para una planta de tratamiento específica. En la [Tabla C1](#) se recogen los datos por defecto que se pueden utilizar para aproximar las concentraciones de actividad que se podrían esperar en los materiales de los lechos filtrantes. Se da un rango estimado de concentraciones de actividad para dos combinaciones de procesos (floculación/clarificación seguida de filtrado rápido por gravedad con arena, y floculación/clarificación seguida de filtrado rápido por gravedad con arena y de filtrado lento con arena) en una planta de tratamiento típica. Las concentraciones de actividad se dan en función del radionucleido para una concentración de actividad en el agua de entrada sin tratar de  $1 \text{ Bq l}^{-1}$ . Los supuestos que se han hecho se enumeran en la tabla y se pueden encontrar más detalles en Brown *et al* [2008b].

Hay muchas incertidumbres asociadas a las concentraciones estimadas recogidas en la [Tabla C1](#), ya que se han hecho suposiciones sobre las combinaciones de procesos utilizadas, el tamaño de los lechos filtrantes y el caudal de agua. Sin embargo, las

concentraciones de actividad estimadas son útiles para aproximar los niveles que se podrían esperar en los materiales filtrantes que haya que eliminar. También se pueden utilizar para estimar dosis a los operarios que trabajen con los materiales de los lechos filtrantes (ver [Apéndice B](#)). Se puede encontrar información sobre cómo estimar las concentraciones de actividad en los materiales de los lechos filtrantes para una determinada planta de tratamiento de agua en Brown *et al* [2008b]. Cabe señalar que siempre deberían utilizarse medidas de concentraciones de actividad en caso de incidente para confirmar los niveles reales en los materiales filtrantes.



**Tabla C1 Concentraciones de actividad estimadas en los materiales de los lechos filtrantes por cada 1 Bq l<sup>-1</sup> en el agua de entrada (obtenido de Brown *et al*, 2008b)**

Radionucleido	Rango de concentración de actividad estimada en el material del lecho filtrante <sup>b</sup> , Bq kg <sup>-1</sup> en el material filtrante por Bq l <sup>-1</sup> en el agua de entrada <sup>a,c</sup>	
	Floc/clar + FRG <sup>d</sup>	Floc/clar + FRG + FLA <sup>d</sup>
<sup>60</sup> Co	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>75</sup> Se	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>89</sup> Sr	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>90</sup> Sr	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>95</sup> Zr	0.0 - 1.7 10 <sup>1</sup>	0.0 - 3.8 10 <sup>-2</sup>
<sup>95</sup> Nb	0.0 - 1.7 10 <sup>1</sup>	0.0 - 3.8 10 <sup>-2</sup>
<sup>99</sup> Mo	1.7 10 <sup>1</sup> - 5.8 10 <sup>1</sup>	2.6 10 <sup>-1</sup> - 5.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>103</sup> Ru	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>106</sup> Ru	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>132</sup> Te	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>131</sup> I	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>134</sup> Cs	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>136</sup> Cs	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>137</sup> Cs	8.3 - 5.0 10 <sup>1</sup>	7.5 10 <sup>-2</sup> - 1.1 10 <sup>-1</sup>
<sup>140</sup> Ba	3.3 10 <sup>1</sup> - 8.8 10 <sup>1e</sup>	5.3 10 <sup>-1</sup> - 7.9 10 <sup>-1e</sup>
<sup>140</sup> La	3.3 10 <sup>1</sup> - 8.8 10 <sup>1e</sup>	5.3 10 <sup>-1</sup> - 7.9 10 <sup>-1e</sup>
<sup>144</sup> Ce	0.0 - 4.2 10 <sup>1</sup>	0.0 - 6.6 10 <sup>-1</sup>
<sup>169</sup> Yb	1.7 10 <sup>1</sup> - 5.8 10 <sup>1</sup>	2.6 10 <sup>-1</sup> - 5.3 10 <sup>-1</sup>
<sup>192</sup> Ir	4.2 - 3.3 10 <sup>1</sup>	3.8 10 <sup>-2</sup> - 7.5 10 <sup>-2</sup>
<sup>226</sup> Ra	3.3 10 <sup>1</sup> - 8.8 10 <sup>1</sup>	5.3 10 <sup>-1</sup> - 7.9 10 <sup>-1</sup>
<sup>235</sup> U	0.0 - 4.2 10 <sup>1</sup>	0.0
<sup>238</sup> Pu	0.0 - 1.7 10 <sup>1</sup>	0.0 - 3.8 10 <sup>-2</sup>
<sup>239</sup> Pu	0.0 - 1.7 10 <sup>1</sup>	0.0 - 3.8 10 <sup>-2</sup>
<sup>241</sup> Am	0.0 - 1.7 10 <sup>1</sup>	0.0 - 3.8 10 <sup>-2</sup>

- a) El valor máximo del rango supone una eliminación mínima de radionucleidos en cada paso previo del proceso y una eliminación máxima en el paso final de filtrado; el valor mínimo del rango presupone una eliminación máxima de radionucleidos en cada paso previo del proceso y una eliminación mínima en el paso final de filtrado (ver [Tabla 3.4](#) en la [Hoja de Datos 4](#) para los factores de eficiencia de la eliminación).
- b) Se ha supuesto una masa total de material filtrante por Megalitro (MI) de caudal. Para FRG se suponen 7200 kg; para FLA se suponen 320.000 kg. Se supone un caudal de agua de 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup> (100 MI). Si el caudal continúa durante un período de tiempo, las concentraciones de actividad en los materiales filtrantes aumentarán proporcionalmente a dicho caudal, suponiendo que la concentración de actividad en el agua de entrada permanece constante y que no hay decaimiento radiactivo.
- c) La estimación de 0.0 Bq kg<sup>-1</sup> en el agua procede de la suposición de que el 100% de la radiactividad se ha eliminado del agua debido a los procesos de tratamiento (valor máximo en el rango >70% en la [Tabla 3.4](#)). En realidad, es muy improbable que algún tratamiento sea 100% eficaz eliminando la radiactividad, aunque dicha eliminación podría ser muy elevada.
- d) FRG = filtrado rápido por gravedad con arena; FLA = filtrado lento con arena.
- e) Valores actualizados debido a la revisión de las eficiencias de eliminación para el Bario y el Lantano de la floculación.

## C2 CONCENTRACIONES DE ACTIVIDAD EN LOS LODOS RESIDUALES

Suponiendo que los lodos residuales se forman a partir de los procesos de floculación y clarificación, se pueden estimar las concentraciones de actividad en dichos lodos para el agua contaminada que entra en la planta de tratamiento. Se describe una

metodología para estimar las concentraciones de actividad en los lodos residuales para una planta de tratamiento específica en Brown *et al*, [2008b].

En la [Tabla C2](#) se describen los datos por defecto que se pueden utilizar para aproximar las concentraciones de actividad que se podrían esperar en los lodos en una planta de tratamiento. Se da un rango estimado de concentraciones de actividad para lodos desecados por unidad de concentración de actividad en el agua de entrada sin tratar para todos los radionucleidos incluidos en el Manual. También en la tabla se recogen las suposiciones que se han hecho. Se pueden encontrar más detalles sobre las mismas en Brown *et al* [2008b].

**Tabla C2 Concentraciones de actividad estimadas en los lodos por cada 1 Bq l<sup>-1</sup> en el agua de entrada (obtenido de Brown *et al*, 2008b)**

Radionucleido	Rango <sup>a</sup> concentración de actividad estimada en los lodos <sup>b,c</sup> , Bq kg <sup>-1</sup> en lodos por Bq l <sup>-1</sup> en el agua de entrada
<sup>60</sup> Co	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>75</sup> Se	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>89</sup> Sr	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>90</sup> Sr	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>95</sup> Zr	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>95</sup> Nb	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>99</sup> Mo	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>103</sup> Ru	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>106</sup> Ru	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>132</sup> Te	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>131</sup> I	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>134</sup> Cs	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>136</sup> Cs	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>137</sup> Cs	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>140</sup> Ba	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3d</sup>
<sup>140</sup> La	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3d</sup>
<sup>144</sup> Ce	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>169</sup> Yb	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>192</sup> Ir	5.7 10 <sup>3</sup> - 1.0 10 <sup>4</sup>
<sup>226</sup> Ra	1.4 10 <sup>3</sup> - 5.7 10 <sup>3</sup>
<sup>235</sup> U	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>238</sup> Pu	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>239</sup> Pu	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>
<sup>241</sup> Am	1.0 10 <sup>4</sup> - 1.4 10 <sup>4</sup>

- El máximo valor del rango supone una eliminación máxima de radionucleidos en el paso de floculación/ clarificación; el valor mínimo del rango presupone una eliminación mínima en el paso de floculación/clarificación (ver [Tabla 3.4](#) en la [Hoja de Datos 4](#) para los factores de eficiencia de eliminación)
- Se supone un valor por defecto de 7000 kg de lodos desecados por cada 100 MI de caudal. Se supone un caudal de 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup> (100 MI).
- Se considera que los lodos pueden continuar secándose si se almacenan antes de su eliminación. Sin embargo, cualquier pérdida adicional de agua es improbable que influya de manera significativa en las concentraciones de actividad estimadas.
- Valores actualizados debido a la revisión de las eficiencias de eliminación para el Bario y el Lantano de la floculación

Hay menos incertidumbres asociadas a las concentraciones estimadas en los lodos que a las estimadas para materiales filtrantes ya que solo se tiene en cuenta un proceso de eliminación y no es necesario hacer suposiciones sobre las combinaciones de procesos utilizadas en una planta de tratamiento. Sin embargo, los valores se han calculado para una tasa de producción de lodos específica, tal y como se recoge en la tabla. Se pueden utilizar los valores de la [Tabla C2](#) para proporcionar una estimación consistente de las concentraciones de actividad que se podrían esperar en los lodos que tengan que ser eliminados si el agua que entra en la planta presenta concentraciones de actividad del orden de  $1 \text{ Bq l}^{-1}$ . Las concentraciones de actividad en los lodos se pueden escalar directamente para cualquier valor diferente en el agua de entrada sin tratar.

También se pueden utilizar las concentraciones de actividad para estimar las dosis a los operarios que trabajen con los lodos contaminados (ver [Apéndice B](#)). Se puede encontrar información sobre cómo estimar las concentraciones de actividad en los lodos para una determinada planta de tratamiento de agua en Brown *et al* [2008b]. Cabe señalar que siempre deberían utilizarse medidas de concentraciones de actividad en caso de incidente para confirmar los niveles reales en los lodos.

### C3 REFERENCIAS

Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008a) Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives. HPA-RPD-040 disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).

Brown J, Hammond D and Wilkins BT (2008b) Handbook for assessing the impact of a radiological incident on levels of radioactivity in drinking water and risks to water treatment plant operatives: Supporting Report HPA-RPD-041 disponible en [www.hpa.org.uk](http://www.hpa.org.uk).

[Volver al inicio de esta sección](#)

[Volver al índice del Manual](#)

## Historia del documento

Título del documento:	Generic Handbook For Assisting In The Management Of Contaminated Drinking Water In Europe Following A Radiological Emergency  <i>(Manual genérico para la ayuda en la gestión de agua potable contaminada después de una emergencia radiológica en Europa).</i>
Número EURANOS:	EURANOS(CAT1)-TN(09)-02
Versión y estado:	Versión 2.1
Editado por:	Joanne Brown (HPA-RPD)
Historia:	Versión final 1.0 publicada en Mayo de 2007 con las aportaciones finales de las partes interesadas.  Borrador publicado en Enero de 2009 para el Grupo de Usuarios del Manual (HUG) para la realización de comentarios.  Aprobado por el HPA en Julio de 2009.  Versión final 2.0 publicada en Julio de 2009.  Versión actualizada 2.1 publicada en Enero de 2010.
Fecha de edición:	31 de Julio de 2009
Circulación:	Pública
Nombre del fichero:	Manual para Suministro de Agua Potable