

# **PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL MANEJO DE FALLECIDOS TRAS UN TRATAMIENTO RECIENTE CON RADIONUCLEIDOS**

**FORO SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
EN EL MEDIO SANITARIO**

**Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)  
Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR)  
Sociedad Española de Física Médica (SEFM)**

# **PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL MANEJO DE FALLECIDOS TRAS UN TRATAMIENTO RECIENTE CON RADIONUCLEIDOS**

**FORO SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
EN EL MEDIO SANITARIO**

**Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)  
Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR)  
Sociedad Española de Física Médica (SEFM)**

SDB-04.11

© Copyright 2023  
Consejo de Seguridad Nuclear

Edita y distribuye:  
Consejo de Seguridad Nuclear  
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11  
28040 Madrid. España

[peticiones@csn.es](mailto:peticiones@csn.es)  
[www.csn.es](http://www.csn.es)

Diseño y maquetación: Ángel Merlo



## Nota aclaratoria

El Foro de protección radiológica en el medio sanitario, formado por el Consejo de Seguridad Nuclear, y las Sociedades Españolas de Protección Radiológica y de Física Médica (en adelante, "Foro"), tiene como misión facilitar un diálogo permanente que favorezca la mejora de la seguridad y la protección radiológica en las instalaciones del medio sanitario, y la eficacia del funcionamiento de las mismas. Como modo de actuación, en el Foro se proponen y acuerdan temas que resulten de interés común para las tres organizaciones que lo componen, que deberán ser debatidos en el seno de Grupos de Trabajo creados al efecto. Como consecuencia de este debate, se producirán documentos, de estructura y orientación variables, pero que contendrán, como mínimo, una descripción del tema analizado y de su situación actual, y unas conclusiones de eminente finalidad práctica, para su eventual aplicación directa por las instalaciones. Estos documentos pueden describir buenas prácticas de actuación y dar ejemplos y métodos operativos detallados, que puedan usarse para cumplir con la legislación y la normativa aplicables en cada caso.

El "Foro" quiere dejar constancia de que tales documentos no determinan una posición reguladora, ni establecen requisitos, por lo que no son de obligada adopción por las instalaciones o los profesionales implicados.

Autores del documento:

- Francisco Clemente Gutiérrez (SEFM). Hospital Universitario de Toledo
- Eva Corredoira Silva (SEPR). Hospital Universitario La Paz
- M<sup>a</sup> Asunción Díez Sacristán (Consejo de Seguridad Nuclear)
- Juan García Ruiz-Zorrilla (SEPR). HM Hospitales
- José Miguel Jiménez González (SEPR). Hospital Universitario Rey Juan Carlos
- David Masedo Martín (Consejo de Seguridad Nuclear)
- Marina Sánchez Sánchez (Consejo de Seguridad Nuclear)

## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>   | <b>6</b>  |
| <b>2. USOS DE MATERIAL RADIATIVO EN TERAPIA:<br/>MEDICINA NUCLEAR Y BRAQUITERAPIA</b>  | <b>9</b>  |
| MEDICINA NUCLEAR (TERAPIA METABÓLICA)  | 9         |
| BRAQUITERAPIA  | 10        |
| ALTA HOSPITALARIA DE PACIENTES TRATADOS CON MATERIAL RADIATIVO   | 10        |
| <b>3. CONCEPTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL MANEJO DE<br/>FALLECIDOS TRAS UN TRATAMIENTO RECIENTE CON RADIONUCLEIDOS</b>   | <b>12</b> |
| TIEMPO   | 12        |
| DISTANCIA  | 13        |
| BLINDAJE   | 13        |
| <b>4. PRECAUCIONES EN EL MANEJO DE FALLECIDOS DESPUÉS DE<br/>TRATAMIENTOS CON MATERIAL RADIATIVO</b>                           | <b>15</b> |
| <b>5. FICHAS DE RADIONUCLEIDOS DE TERAPIA DE MEDICINA NUCLEAR</b>  | <b>18</b> |
| ESTRONCIO-89 (Sr-89)   | 18        |
| YTRIO-90 (Y-90)  | 19        |
| SAMARIO-153 (Sm-153)   | 20        |
| LUTECIO-177 (Lu-177)   | 21        |
| RADIO-223 (Ra-223)   | 22        |
| HOLMIO-166 (Ho-166)  | 23        |
| FÓSFORO-32 (P-32)  | 24        |
| YODO-131 (I-131)   | 25        |
| <b>6. FICHA DE I-125 UTILIZADO EN IMPLANTES PERMANENTES<br/>DE PRÓSTATA (SEMILLAS DE I-125)</b>                                | <b>26</b> |
| <b>7. PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACIÓN DE RESIDUOS</b>   | <b>27</b> |
| <b>8. CONSIDERACIONES SOBRE ENTIERROS Y RITOS FUNERARIOS</b>   | <b>28</b> |
| <b>9. CONCLUSIONES</b>   | <b>29</b> |
| <b>10. ANEXOS</b>  | <b>31</b> |
| ANEXO 1: HIPÓTESIS DE CÁLCULO UTILIZADAS   | 31        |
| ANEXO 2: INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LA RADIACIÓN Y LOS EFECTOS<br>BIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LAS RADIACIONES IONIZANTES [11] [17] | 37        |
| ANEXO 3: GLOSARIO  | 43        |
| <b>11. BIBLIOGRAFÍA</b>  | <b>47</b> |

## 1. INTRODUCCIÓN

En el informe final del OIEA sobre la misión combinada del Servicio Integrado de Revisión Reguladora (IRRS) y Servicio Integrado de Revisión para Programas de Gestión de Residuos Radiactivos y Combustible Gastado, de Clausura y de Restauración (ARTEMIS) realizado en España del 14 a 26 de octubre de 2018 se concluye que *la legislación española vigente no contiene disposiciones relativas a las fuentes encapsuladas o no encapsuladas contenidas en personas fallecidas o en restos humanos, ya sea como consecuencia de procedimientos radiológicos para el tratamiento médico de pacientes o como resultado de una emergencia*. Dicha cuestión, reconocida por el CSN, lleva asociada una acción incluida en el plan de acción emitido tras la autoevaluación llevada a cabo antes de la misión IRRS.<sup>1</sup>

Por ello, dentro del Foro Sanitario de Protección Radiológica se crea un grupo de trabajo con el fin de elaborar un documento que analice las recomendaciones internacionales y basándose en este análisis y en la experiencia propia con tratamientos médicos con material radiactivo, proponga unas recomendaciones para nuestro país para el manejo, desde el punto de vista de la protección radiológica, de personas fallecidas tras haber recibido un tratamiento con radionucleidos.

Las sustancias radiactivas han sido empleadas en medicina desde comienzos del siglo XX. La terapia con yodo radiactivo (I-131), que se inició en los años 40, es el tratamiento en el que se acumula una mayor experiencia y sigue siendo el radiofármaco más utilizado en terapia. Desde entonces, ha habido un uso creciente de radioisótopos en medicina.

Los procedimientos que se llevan a cabo en medicina nuclear con sustancias radiactivas pueden ser para *diagnóstico* de enfermedades o para su *tratamiento*. Los tratamientos se realizan en muchas ocasiones de forma ambulatoria, en otras ocasiones se precisa el ingreso del paciente para su tratamiento con sustancias radiactivas. Una vez que se da de alta al paciente, éste se convierte temporalmente en una fuente de radiación que podría suponer un riesgo mínimo para sus familiares o las personas que le rodean. Lo mismo ocurre si estos pacientes fallecen

---

1. El informe completo, que puede ser consultado en la web del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN, [www.csn.es](http://www.csn.es)), recoge el análisis y los resultados obtenidos del examen efectuado al marco regulatorio español para la seguridad nuclear y radiológica llevado a cabo por los expertos del Servicio Integrado de Revisión Reguladora (IRRS, por sus siglas en inglés) así como de la evaluación del programa de gestión de residuos radiactivos de nuestro país ejecutada por el equipo del Servicio Integrado de Revisión para la Gestión, Desmantelamiento y Restauración de Residuos Radiactivos y Combustibles Gastados (ARTEMIS, por sus siglas en inglés).

poco tiempo después de recibir el tratamiento con sustancias radiactivas. Cuanto mayor es el tiempo transcurrido entre la administración de las sustancias radiactivas y el fallecimiento, menor es el riesgo de recibir alguna dosis de radiación. [1]

También se contemplan en este documento, los tratamientos con braquiterapia de tumores de próstata con implantes permanentes de I-125 (materiales radiactivos encapsulados).

Aunque es una situación poco frecuente, si se produce el fallecimiento por muerte accidental o esporádica, poco tiempo después del tratamiento y esta circunstancia no es conocida, y por lo tanto no se toman medidas, los familiares y personal del centro funerario podrían estar expuestos a una radiación extra. Si se realiza cremación del fallecido, el personal del crematorio principalmente y la población que habita en las proximidades, podrían estar expuestos a la radiación liberada durante el proceso de la cremación.

La "Guía de consenso sobre Sanidad Mortuoria" aprobada en la Comisión de Salud Pública clasifica los cadáveres, restos humanos y restos cadavéricos en tres grupos, dentro del *Grupo II* se encuadran aquellos que presenten riesgo radiológico por la presencia en los mismos de sustancias o productos radiactivos. Según esta guía "para su tratamiento se estará a lo dispuesto en la normativa sobre seguridad nuclear". [2]

Según la bibliografía consultada y lo expuesto en este documento, las personas que podrían recibir mayores dosis, familiares del fallecido y personal de la funeraria, recibirían dosis inferiores a los límites de dosis para el público recogidos en nuestra legislación. En el caso de que se realice una cremación, la exposición adicional de las personas de la vecindad del crematorio, sería menor a la radiación natural que cualquier persona recibe en dos días. Es improbable que el personal de la funeraria tenga que enfrentarse a esta situación más de una o dos veces al año. [3]

En este documento se contemplan los casos de fallecimientos o restos humanos posteriores a una terapia reciente con radionucleidos no encapsulados (Sr-89, Y-90, Sm-153, Lu-177, Ra-223, Ho-166, P-32, y I-131) y radionucleidos encapsulados, como son los implantes permanentes de semillas de I-125 para tratamientos de cáncer de próstata. En el futuro es probable que se desarrollen nuevos tratamientos con diferentes radioisótopos que podrían aconsejar una revisión de este documento, mientras tanto, para aquellos radioisótopos que no estén

contenidos en el documento, tanto los tiempos de seguridad como las medidas a adoptar, se podrían asemejar a las indicadas en el documento para isótopos del mismo tipo emisor y periodo de semidesintegración similar.

No se contemplan en el documento los casos de fallecimientos de pacientes con material radiactivo incorporado para el diagnóstico, ya que, por lo general, no suponen una carga de radiactividad en la que haya que tomar precauciones especiales, incluso en el caso de que haya transcurrido un espacio corto de tiempo desde el fallecimiento. Esto es así en el caso de los isótopos usados con mayor frecuencia en el diagnóstico médico, como son el Tc-99m y el F-18. Tampoco se contemplan los casos de fallecidos que hayan incorporado material radiactivo a causa de una emergencia radiológica o nuclear.

Es importante aclarar que cuando un paciente fallece y ha sido sometido en fechas cercanas al fallecimiento a un estudio con rayos X (incluido TC) o ha sido sometido a un tratamiento de radioterapia externa o de braquiterapia de alta tasa, no emite ningún tipo de radiación y no supone ningún riesgo para sus familiares o trabajadores de la sanidad mortuoria.

El presente documento está dirigido al personal de sanidad mortuoria, personal de los servicios de Radioterapia, Medicina Nuclear, Servicios de Protección Radiológica, Unidades de Protección Radiológica y todos aquellos profesionales que, en mayor o menor medida, puedan verse involucrados en una situación de fallecimiento de una persona que ha sido tratada recientemente con material radiactivo con fines de terapia.

**Los objetivos principales** del presente documento son:

1. Describir cómo se deben aplicar los principios de protección radiológica para garantizar que las dosis recibidas por los profesionales de la sanidad mortuoria, familiares del fallecido y otros miembros del público sean lo más bajas posibles.
2. Establecer, para los distintos isótopos contemplados en este documento, el tiempo de seguridad, definido como el tiempo a partir del cual se considera que las prácticas mortuorias pueden llevarse a cabo de la forma habitual, es decir, sin ningún tipo de restricciones adicionales.



## **2. USOS DE MATERIAL RADIATIVO EN TERAPIA: MEDICINA NUCLEAR Y BRAQUITERAPIA**

Los procedimientos terapéuticos en medicina nuclear consisten en la administración de radioisótopos (por vía oral o intravenosa) para distintas terapias, con el objetivo de acabar con las células tumorales. Por ejemplo, el uso de yodo radiactivo para tratamiento de cáncer diferenciado de tiroides o hipertiroidismo. La administración del radioisótopo puede dar lugar a que diferentes fluidos, órganos o partes del cuerpo, puedan contener las sustancias radiactivas empleadas durante diferentes periodos de tiempo tras el tratamiento.

La braquiterapia de baja tasa de próstata (semillas de I-125) consiste en la implantación de semillas radiactivas en la glándula prostática para producir la muerte de las células tumorales, minimizando la dosis recibida por los tejidos sanos.

### **MEDICINA NUCLEAR (TERAPIA METABÓLICA)**

Consiste en la administración de un radiofármaco o sustancia radiactiva por vía oral o por vía intravenosa. El material radiactivo utilizado debe tener una alta afinidad por el órgano diana o tejido del cuerpo a tratar (por ejemplo; el I-131 se acumula en el tiroides, el Ra-223 en los huesos etc.) de esta manera la irradiación se producirá sobre las células tumorales mientras que las células del resto del organismo recibirán una irradiación mínima.

A pesar de que la mayor parte del material radiactivo se acumulará en el órgano diana, los fluidos corporales, órganos y otras partes del cuerpo pueden contener material radiactivo durante un tiempo tras la administración.

En estos tratamientos con sustancias radiactivas no encapsuladas, el riesgo radiológico para las personas que se relacionen con el paciente, ya sea por su actividad profesional o por ser familiares o cuidadores, es de irradiación externa y de contaminación radiactiva.

## **BRAQUITERAPIA**

En la braquiterapia de baja tasa, el material radiactivo se encuentra confinado en el interior de una cápsula metálica sellada, denominada comúnmente "semilla". Estas semillas tienen un tamaño similar a un grano de arroz, están fabricadas con titanio y se implantan en los tejidos tumorales de forma permanente para suministrar una dosis de radiación sobre las células tumorales. Se implantan después de un estudio de dosimetría para que la dosis recibida por las células sanas circundantes sea lo más baja posible. Este tipo de terapia se utiliza fundamentalmente en el tratamiento de cáncer de próstata mediante implantes permanentes, utilizando un rango de 50 o 100 semillas de I-125.

En estos tratamientos solo existiría riesgo de irradiación externa desde el paciente o fallecido, no de contaminación, ya que las fuentes radiactivas están encapsuladas. Esto sucederá siempre que las semillas no se rompan, si se pierde la integridad de las semillas (por rotura o quemado) puede haber también riesgo de contaminación.

## **ALTA HOSPITALARIA DE PACIENTES TRATADOS CON MATERIAL RADIATIVO**

Los tratamientos de terapia metabólica y la braquiterapia de baja tasa son en muchas ocasiones procedimientos ambulatorios.

Los pacientes sometidos a tratamientos con radiofármacos podrán abandonar el centro hospitalario cuando, en función de la tasa equivalente de dosis ambiental medida a un metro de distancia, las estimaciones de actividad que se eliminará por la orina y el análisis de las condiciones del entorno familiar y social específicas de cada paciente, se pueda asegurar que no se superarán los límites de dosis legalmente establecidos para cada grupo de personas de dicho entorno. [1]

Al abandonar el ámbito hospitalario, tanto al paciente como a sus familiares, se les proporcionan instrucciones escritas en las que consta el tipo de tratamiento y actividad suministrada, las precauciones a seguir en las circunstancias particulares de cada paciente para reducir los riesgos radiológicos, el tiempo que es necesario aplicar dichas precauciones y personal del centro hospitalario al que deberá dirigirse si tuviera necesidad de ello.

Se recomienda a los pacientes tratados con material radiactivo que porten dicha información (hoja escrita o tarjeta que les proporcione el centro hospitalario), en el que consten datos básicos sobre el tratamiento recibido (tipo, actividad, fecha de administración, etc.) y los datos de contacto del centro sanitario correspondiente.

El personal de la sanidad mortuoria debería recabar información de los familiares del fallecido sobre si este ha sido tratado con material radiactivo.

Adicionalmente, es importante que los familiares de un paciente tratado y fallecido faciliten al personal de sanidad mortuoria estos datos para poder tomar las precauciones adecuadas con el objetivo de reducir los riesgos radiológicos a los que podría estar expuesto.

Si fuese necesario, el personal de la sanidad mortuoria debería contactar preferentemente con el centro hospitalario en el que el fallecido recibió el tratamiento con material radiactivo, y dentro de este centro, con el Servicio de Protección Radiológica (SPR) o Servicio de Medicina Nuclear o de Radioterapia o si no fuera posible, con el Consejo de Seguridad Nuclear.

### **3. CONCEPTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL MANEJO DE FALLECIDOS TRAS UN TRATAMIENTO RECIENTE CON RADIONUCLEIDOS**

Los riesgos radiológicos derivados de la manipulación de fallecidos que contienen material radiactivo son el riesgo de irradiación y el de contaminación radiactiva.

Se entiende por irradiación externa la radiación que recibe una persona u objeto emitida desde una fuente radiactiva, situada en el exterior de éstos. En este caso la fuente radiactiva sería el fallecido.

El riesgo por irradiación se produce por la capacidad que tiene la radiación emitida de atravesar el cuerpo del difunto e irradiar al personal que se encuentre en sus proximidades. El riesgo de irradiación, vendrá determinado por la naturaleza de esa radiación emitida, ya que no todos los tipos de radiación son capaces de traspasar el cuerpo del difunto.

Se entiende por contaminación radiactiva la presencia indeseada de sustancias radiactivas en el interior (contaminación interna) o en la superficie (contaminación externa) de un cuerpo u organismo.

El riesgo por contaminación viene determinado por el contacto o exposición a los fluidos corporales de una persona que haya sido tratada con material radiactivo (por ejemplo, en el transcurso de una autopsia). La contaminación puede ser externa si la sustancia radiactiva permanece en la ropa o piel de la persona afectada o interna si se produce ingestión, inhalación o absorción a través de las mucosas o una herida de la piel.

Los riesgos radiológicos a los que están sometidos los individuos se reducen aplicando las medidas básicas de protección radiológica; tiempo, distancia y blindaje.

#### **TIEMPO**

La cantidad de dosis de radiación recibida por una persona es proporcional al tiempo de exposición a la radiación, por lo tanto, disminuyendo el tiempo de exposición se reduce la dosis de radiación recibida.

Para minimizar el tiempo de exposición al material radiactivo es recomendable:

- Permanecer en presencia del material radiactivo (persona fallecida o sus fluidos) el tiempo que sea estrictamente necesario. De igual forma, el número de personas en contacto con el fallecido será el mínimo necesario para la acción requerida.
- Que el personal que vaya a realizar el trabajo esté familiarizado con la tarea y secuencia de trabajo a realizar. El buen conocimiento del trabajo a realizar minimiza la confusión y pérdida de tiempo en la zona de riesgo de radiación.
- Disponer, antes de la práctica mortuoria a realizar, de todo el material, herramientas y equipos necesarios para realizar el trabajo.
- Realizar todo el trabajo que sea posible en zonas limpias (sin presencia de material radiactivo).
- Si existen tiempos muertos entre distintas fases del trabajo, se deberá permanecer fuera de la zona de radiación (lejos del fallecido o sus fluidos).

## **DISTANCIA**

La cantidad de dosis de radiación recibida por una persona es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el foco emisor de radiación y la persona. Por lo tanto, aumentando la distancia al cuerpo se reduce la dosis de radiación recibida.

Para maximizar la distancia al material radiactivo es recomendable utilizar, en la medida de lo posible, herramientas que permitan manipular órganos y tejidos que pudieran contener material radiactivo, sin necesidad de mantener contacto directo (por ejemplo, pinzas u otros instrumentos).

## **BLINDAJE**

La cantidad de dosis de radiación recibida por una persona disminuye conforme aumenta el material interpuesto (blindaje) entre la fuente y la persona, es decir, al aumentar el blindaje, se reduce la dosis de radiación recibida.

Las recomendaciones para protegerse frente a una posible contaminación radiactiva pueden asimilarse a las emitidas para la protección frente a enfermedades por patógenos infecciosos, ejemplo:

- Utilizar Equipos de Protección Individual (EPI) que proporcionen una barrera efectiva contra la contaminación externa de la piel o ropa (cubrecalzados, gorros, batas, doble guante de protección, etc.) y contra la contaminación interna por ingestión o aspiración (gafas protectoras y mascarillas contra salpicaduras). Una vez finalizada la práctica llevada a cabo es importante desprenderse de las prendas protectoras tomando las precauciones necesarias para no contaminarse durante el proceso.
- Limitar la dispersión de la contaminación mediante la limpieza de superficies y materiales utilizados, lavado posterior de manos, utilización de empapadores de un solo uso, no comer ni beber en las zonas de trabajo...

Como medio de protección frente al riesgo de irradiación externa, no se recomienda de forma general la utilización de mandiles plomados, protectores de tiroides, guantes plomados, gafas plomadas y demás equipos de protección blindados, ya que pueden dificultar e incrementar ostensiblemente el tiempo de trabajo y por tanto el tiempo de exposición. Su uso, en determinados casos, debe ser indicado por un experto en protección radiológica.

## 4. PRECAUCIONES EN EL MANEJO DE FALLECIDOS DESPUÉS DE TRATAMIENTOS CON MATERIAL RADIATIVO

Si la muerte del paciente tratado con material radiactivo se produce antes de que haya pasado un determinado tiempo desde la administración de la fuente radiactiva, será necesario realizar la práctica correspondiente (autopsia, embalsamamiento o incineración) adoptando unas precauciones adicionales con objeto de reducir el riesgo debido a la radiación. Si la muerte se produce pasado este tiempo (al que se ha denominado tiempo de seguridad y que se describe más adelante), la práctica se podrá realizar de la forma habitual, es decir, sin precauciones adicionales a las utilizadas en la práctica mortuoria correspondiente.

A pesar de que actualmente no se está realizando en nuestro país, se incluye la hidrólisis alcalina dentro de las prácticas consideradas, al ser una técnica utilizada en otros países y que pudiera ser utilizada en España en un futuro. En las tablas de este documento, las precauciones para esta práctica son las mismas que las descritas para el destino final de las cenizas.

Las diversas sustancias radiactivas utilizadas en la medicina nuclear terapéutica difieren en su aplicación y propiedades. A continuación, se indican las precauciones recomendadas para el manejo de los fallecidos para los isótopos o sustancias radiactivas más utilizadas en nuestro país.

En las fichas elaboradas en este documento se ha utilizado el concepto de tiempo de seguridad, que señala el momento a partir del cual, las prácticas pueden llevarse a cabo sin ningún tipo de restricciones adicionales. Para la aplicación del tiempo de seguridad, se debe contabilizar el periodo desde la administración del material radiactivo hasta que se realizan las distintas manipulaciones (autopsia, embalsamamiento etc.).

Si no hubiera transcurrido el tiempo de seguridad, se indican en las fichas las precauciones adicionales que se deberían seguir. Por ejemplo, en un fallecido al que se realizó implante de semillas de I-125 cinco meses antes de su fallecimiento, en caso de que se realizase una cremación, esta debería realizarse con precauciones adicionales debido a la radiactividad remanente, ya que el tiempo de seguridad para esta práctica es de 21 meses, pero podrá realizarse sin restricciones un embalsamamiento, ya que el tiempo de seguridad para embalsamamiento en el caso de fallecidos con semillas de I-125 es nulo.

En algunas ocasiones, si no hubiera transcurrido este tiempo de seguridad, que es diferente para cada radionucleido, y por diversas razones, se tuviera que manipular el cuerpo sin restricciones, se deberá proceder a la resección de los tejidos con mayor captación del isótopo administrado (tiroides con I-131, próstata con I-125, hígado tratado con radioembolización con Y-90 u Ho-166...) y a su almacenamiento en condiciones de seguridad hasta que decaiga su radiactividad.

En la Tabla 1, para cada isótopo y práctica considerada, se recogen los tiempos de seguridad establecidos y el material en que debería estar fabricada la urna que contenga las cenizas.

Tal y como se puede observar en las fichas del epígrafe V, en caso de que las cenizas no se depositen en el cementerio y se guarden en un domicilio, en algunos isótopos es recomendable almacenar durante un período determinado la urna en un lugar de la casa de baja ocupación, es decir, no guardarlas cerca de la cama o del sillón donde se pasa mucho tiempo sentado. Sería más recomendable almacenarlas en un almacén o una habitación donde no duerma nadie. Pasado ese tiempo, se podrán guardar las cenizas en el lugar que se desee. Como medida de protección radiológica adicional, en el caso de que se vayan a almacenar las cenizas en el domicilio, se recomienda el material con el que debería estar fabricada la urna. En caso de que las cenizas se guarden en el domicilio por un corto periodo de tiempo, por ejemplo, el tiempo transcurrido entre la entrega de las cenizas por parte del crematorio y el depósito final en el cementerio, las recomendaciones anteriores son menos relevantes (en la medida de lo posible se aplicarán, pero no es imprescindible).

En la Tabla 1, la columna "destino final cenizas" hace referencia al tiempo que habría que esperar para dar a las cenizas un fin diferente al de estar contenidas en una urna u otro recipiente cerrado. Es decir, en caso de que se desee esparcir las cenizas, o cualquier otra manipulación, es necesario esperar un tiempo como protección al medio ambiente y a las personas debido a la radiación, antes de realizar la práctica deseada. Este tiempo de espera no aplica si las cenizas se van a mantener en una urna cerrada y se van a depositar por ejemplo en un nicho.

Tal y como se puede observar en la Tabla 1, no son necesarios tiempos de seguridad para los profesionales que intervienen en el proceso de incineración ni medi-



das adicionales a las genéricas con las que se debe llevar a cabo la incineración y que son las que se citan a continuación:

- Usar equipo de protección personal estándar durante la incineración y manipulación de los restos incinerados.
- Limpiar la cámara de cremación a fondo para evitar la contaminación de las siguientes cremaciones.
- Mantener funcionando el extractor hasta que los restos cremados sean depositados en su contenedor final y se haya limpiado la zona.
- Evitar pulverizar los restos para evitar la contaminación del equipo de protección personal.
- Minimizar el tiempo de manipulación de los restos incinerados.

**Tabla 1. Resumen de los tiempos de seguridad obtenidos siguiendo las hipótesis de cálculo expuestas en el anexo I**

| <b>TIEMPOS DESDE LA ADMINISTRACIÓN DEL ISÓTOPO EN LOS QUE SON NECESARIAS LAS PRECAUCIONES</b> |                 |           |               |                               |                       |               |
|---|-----------------|-----------|---------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| ISÓTOPO   | Embalsamamiento | Autopsia  | Cremación     |                               |                       |               |
|   |                 |           | Profesionales | Guardado cenizas en domicilio | Destino final cenizas | Material urna |
| <b>Sr-89</b>  | 5 semanas       | 5 meses   | -             | -                             | 1 año                 | a             |
| <b>Y-90</b>   | 3 semanas       | 1 mes     | -             | -                             | 6 semanas             | a             |
| <b>Sm-153</b>   | -               | 2 días    | -             | 10 días                       | 3 semanas             | b             |
| <b>Lu-177</b>   | -               | 2 semanas | -             | 7 semanas                     | 2 meses               | b             |
| <b>Ra-223</b>   | -               | -         | -             | 3 días                        | 9 semanas             | a/b           |
| <b>Ho-166</b>   | -               | 1 día     | -             | 5 días                        | 3 semanas             | b             |
| <b>P-32</b>   | -               | 1 mes     | -             |                               | 4 meses               | a             |
| <b>I-131</b>  | 3 semanas       | 6 semanas | -             | 3 meses                       | 4 meses               | b             |
| <b>I-125</b>  | -               | 3 meses   | -             | 21 meses                      | 21 meses              | b             |

a: madera, plástico o vidrio b: Acero inoxidable, u otro metal.

## 5. FICHAS DE RADIONUCLEIDOS DE TERAPIA DE MEDICINA NUCLEAR

### Estroncio-89 (Sr-89)

El Sr-89 se utiliza para disminuir el dolor óseo asociado con varios tipos de cáncer, en particular el cáncer de próstata avanzado con diseminación ósea. El Sr-89 se concentra en los huesos y tras la cremación su presencia se hallará en los restos cremados.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Sr-89:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 5 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal adecuado, se utilizará durante la manipulación doble guante desechable para evitar la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• No manipular directamente huesos con lesiones. Utilizar herramientas y pinzas para evitar el contacto directo con los huesos.</li> <li>• Si se retiraran del cuerpo los huesos con lesiones, se almacenarán en un área de baja ocupación, en un contenedor sellado etiquetado como "radiactivo", con la fecha a partir de la cual las precauciones dejan de ser necesarias. Los trabajadores más próximos a dicho contenedor deben estar informados de su presencia.</li> <li>• Minimizar el tiempo pasado en la proximidad del cuerpo.</li> </ul> |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: 5 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar el contacto directo con el tubo de drenaje venoso y utilizar herramientas de manejo adecuadas para manipularlo.</li> </ul>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p> <p>Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de plástico, de madera o vidrio.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 1 año</b></p> <p>Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul>                                       |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 1 año</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>  |

## Ytrio-90 (Y-90)

El Y-90 se utiliza para el tratamiento articular (introducción del Y-90 en la cavidad articular) o radiosinovioresis; para tratamiento paliativo de dolor óseo metastásico por varios tipos de cáncer; y para tratamientos de tumores hepáticos mediante radioembolización con microesferas de Y-90.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Y-90:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <b>Tiempo de seguridad: 1 mes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal adecuado, se utilizará durante la manipulación doble guante desechable para evitar la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• Evitar el contacto directo con el cuerpo mediante el uso adecuado de herramientas y pinzas durante la manipulación.</li> <li>• Minimizar el tiempo pasado en la proximidad del cuerpo.</li> </ul>  |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Minimizar el contacto directo con el tubo de drenaje venoso y utilizar herramientas de manejo adecuadas para manipularlo.</li> </ul>  |
| <b>Creación</b>            | <b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b><br><b>Tiempo de seguridad: NO</b><br>Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de plástico, de madera o vidrio.</li> </ul><br><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b><br><b>Tiempo de seguridad: 6 semanas</b><br>Precauciones durante la manipulación de los restos cremados: <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <b>Tiempo de seguridad: 6 semanas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>  |

### Samario-153 (Sm-153)

El Sm-153 se utiliza para tratamiento paliativo de dolor óseo metastásico principalmente de cáncer de próstata y mama.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Sm-153:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 2 días</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal apropiado, utilizar doble capa de guantes desechables cuando se manipula el cuerpo para evitar la presencia y diseminación de la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• No manipular directamente huesos con lesiones. Utilizar pinzas para evitar el contacto directo con los huesos.</li> <li>• Si se extirpan los huesos del cuerpo, se almacenarán adecuadamente protegidos y custodiados en un recipiente señalado como "radiactivo" y con la fecha de evacuación. El personal debe ser informado adecuadamente.</li> <li>• Minimizar el tiempo de permanencia en las inmediaciones del cuerpo.</li> </ul>   |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 10 días</b></p> <p>Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de acero inoxidable u otro metal.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b></p> <p>Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>   |

## Lutecio-177 (Lu-177)

El Lu-177 se utiliza para tratar tumores neuroendocrinos y tumores prostáticos.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Lu-177:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 2 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal apropiado, utilizar doble capa de guantes desechables cuando se manipula el cuerpo para evitar la presencia y diseminación de la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• No manipular directamente tejidos. Utilizar pinzas.</li> <li>• Minimizar el tiempo de permanencia en las inmediaciones del cuerpo.</li> </ul>  |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 7 semanas</b></p> <p>Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de acero inoxidable u otro metal.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 2 meses</b></p> <p>Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 2 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>   |

## Radio-223 (Ra-223)

El Radio-223 se utiliza para tratar metástasis óseas producidas por el cáncer de próstata.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Ra-223:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Autopsia</b>            | <b>Tiempo de seguridad: NO</b>  |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <b>Tiempo de seguridad: NO</b>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 3 días</b><br/>                     Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de acero inoxidable u otro metal.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 9 semanas</b><br/>                     Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 9 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo la hidrólisis alcalina</li> </ul>  |

## Holmio-166 (Ho-166)

El Ho-166 se suministra en forma de microesferas para tratamiento de tumores primarios tales como el carcinoma hepatocelular y el colangiocarcinoma intra-hepático entre otros, así como metástasis hepáticas de varios tipos de tumores.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con Ho-166:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 1 día</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal adecuado, se utilizará durante la manipulación doble guante desechable para evitar la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• Evitar el contacto directo con el cuerpo mediante el uso adecuado de herramientas y pinzas durante la manipulación.</li> <li>• Minimizar el tiempo pasado en la proximidad del cuerpo.</li> </ul>   |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 5 días</b><br/>                 Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de plástico, de madera o vidrio.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b><br/>                 Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>   |

## Fósforo-32 (P-32)

El P-32 actualmente se usa para tratamiento de tumores de páncreas en forma de suspensión de microesferas inyectadas directamente en el tumor pancreático.

El P-32 se puede utilizar para tratamiento paliativo de la *polycitemia vera*, enfermedad hematológica caracterizada por un aumento de la producción de glóbulos rojos en sangre. En España este tratamiento está en desuso.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con P-32:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 1 mes</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal adecuado, se utilizará durante la manipulación doble guante desechable para evitar la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• Evitar el contacto directo con el cuerpo mediante el uso adecuado de herramientas y pinzas durante la manipulación.</li> <li>• Minimizar el tiempo pasado en la proximidad del cuerpo.</li> </ul>  |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p>   |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: NO</b><br/>                 Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de plástico, de madera o vidrio.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 4 meses</b><br/>                 Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 4 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>  |



## Yodo-131 (I-131)

El I-131 es el isótopo más utilizado para terapia, se utiliza para tratar patologías de la glándula tiroides, bien sean benignas como el hipertiroidismo o malignas como cáncer de tiroides.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con I-131:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 6 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Además del equipamiento de protección personal adecuado, se utilizará durante la manipulación doble guante desechable para evitar la contaminación.</li> <li>• Utilizar gafas o máscaras protectoras frente a salpicaduras.</li> <li>• Evitar el contacto directo con el cuerpo mediante el uso adecuado de herramientas y pinzas durante la manipulación.</li> <li>• Minimizar el tiempo pasado en la proximidad del cuerpo.</li> </ul>   |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: 3 semanas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durante el embalsamamiento, minimizar el contacto directo con el tubo de drenaje arterial y utilizar pinzas para manipularlo.</li> </ul>   |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 3 meses</b><br/>                 Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de acero inoxidable u otro metal.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b><br/> <b>Tiempo de seguridad: 4 meses</b><br/>                 Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul> |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 4 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>   |

## 6. FICHA DE I-125 UTILIZADO EN IMPLANTES PERMANENTES DE PRÓSTATA (SEMILLAS DE I-125)

Usados normalmente en braquiterapia de baja tasa de dosis para los tratamientos de cáncer de próstata.

Siempre que sea posible, si por diversas razones se tuviera que manipular el cuerpo sin restricciones y no hubiera transcurrido el tiempo de seguridad indicado a continuación, se recomienda la extirpación de la próstata con las semillas y su almacenamiento en el hospital en el que se haya realizado el implante. Las precauciones indicadas en este apartado solamente son de aplicación si la próstata no es extirpada.

Si no ha transcurrido el tiempo de seguridad, se recomiendan las siguientes precauciones durante el manejo de fallecidos tratados con semillas de I-125:

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Autopsia</b>            | <p><b>Tiempo de seguridad: 3 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurarse de que el tejido alrededor del implante permanece intacto durante la autopsia. En el caso de implantes de próstata, por ejemplo, esta debe permanecer intacta. Esto proporcionará protección del material radiactivo y evitará la diseminación de las semillas.</li> <li>• Evitar el contacto directo con el tejido alrededor del implante, para ello usar herramientas (pinzas, etc.).</li> <li>• Los tejidos/órganos con semillas no deben ser retirados de la persona fallecida. En caso de que esto sea necesario, se almacenarán adecuadamente protegidos y custodiados en un recipiente señalado como "radiactivo" y con la fecha de evacuación. El personal debe ser informado adecuadamente.</li> <li>• Limitar la duración de la autopsia a un máximo de dos horas cuando el implante se haya realizado un mes antes del fallecimiento.</li> </ul> |
| <b>Embalsamamiento</b>     | <p><b>Tiempo de seguridad: NO</b></p>  |
| <b>Cremación</b>           | <p><b>ALMACENAMIENTO DE LAS CENIZAS EN EL DOMICILIO</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 21 meses</b></p> <p>Precauciones durante el almacenamiento de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacenar los restos cremados en un recipiente cerrado hecho de acero inoxidable u otro metal.</li> <li>• Almacenar los restos en una zona de baja ocupación.</li> </ul> <p><b>DESTINO FINAL DE LAS CENIZAS</b></p> <p><b>Tiempo de seguridad: 21 meses</b></p> <p>Precauciones durante la manipulación de los restos cremados:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No diseminar los restos cremados.</li> <li>• Etiquetar el contenedor con la fecha en la que se pueden diseminar los restos cremados.</li> <li>• No utilizar los restos incinerados para la fabricación de joyas de recuerdo o tatuajes.</li> <li>• No manipular directamente los restos cremados.</li> </ul>   |
| <b>Hidrólisis alcalina</b> | <p><b>Tiempo de seguridad: 21 meses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se debe llevar a cabo antes de este tiempo la hidrólisis alcalina.</li> </ul>  |

## 7. PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACIÓN DE RESIDUOS

Deberán aplicarse las siguientes medidas durante la realización de una autopsia, embalsamamiento o cremación de fallecidos con material radiactivo:

- Desechar los fluidos corporales de la forma habitual.
- Reintegrar al cuerpo cualquier tejido extraído durante la autopsia para su entierro o cremación, salvo que la normativa local prohíba explícitamente la cremación del cadáver con implantes radiactivos.
- Cuando los tejidos no puedan ser reintegrados al cuerpo, se guardarán en bolsas o contenedores sellados en condiciones de seguridad para decaimiento durante los períodos de tiempo especificados en la ficha correspondiente para su autopsia o cremación. Las bolsas o recipientes deberán etiquetarse como "radiactivos" y deberá constar la fecha en que pueden tratarse como residuos convencionales. Los trabajadores de la zona deben ser informados de la presencia de tejidos almacenados con actividad residual.
- Almacenar cualquier equipo de protección personal desechable usado en bolsas o recipientes por los períodos de tiempo especificados en la ficha correspondiente para autopsia o cremación. Las bolsas y los contenedores deben estar etiquetados como "radiactivos" con la fecha en que se pueden desechar. Los trabajadores de la zona deben ser informados de la presencia de tejidos almacenados con actividad residual.
- Si fuese necesario, el personal de la sanidad mortuoria debería contactar con el centro hospitalario en el que el fallecido recibió el tratamiento con material radiactivo, y dentro de este centro, con el Servicio de Protección Radiológica (SPR) o Servicio de Medicina Nuclear o de Radioterapia que, si es necesario, se pondrán en contacto con el Consejo de Seguridad Nuclear.

## **8. CONSIDERACIONES SOBRE ENTIERROS Y RITOS FUNERARIOS**

- No son necesarias precauciones especiales ni restricciones durante el velatorio de personas fallecidas tratadas con material radiactivo ni durante su transporte.
- El entierro o sepultura de cadáveres con actividad residual puede realizarse en cualquier momento. El blindaje proporcionado por el ataúd y la tierra o las paredes de la cripta garantizan la seguridad.
- No existe riesgo para el medio ambiente tras el enterramiento. El material radiactivo decaerá antes de que pueda contaminar cualquier parte del ambiente circundante.
- Según la reglamentación española sobre el transporte de material radiactivo, los materiales radiactivos implantados o incorporados en una persona o ser vivo para el diagnóstico o tratamiento se consideran exentos (en lo que respecta a la aplicación de la reglamentación de transporte).

## 9. CONCLUSIONES

- Las pautas mostradas en este documento tienen como objetivo garantizar la protección frente a la radiación de los profesionales que intervienen en cada una de las fases de atención al fallecido, de los familiares y del medio ambiente, a la vez que permiten que se cumplan, en la medida de lo posible, los deseos de los fallecidos y de sus seres queridos.
- En este documento se han calculado para los isótopos más usados en nuestro país, los tiempos de seguridad, a partir de los cuales no son necesarias precauciones adicionales a las medidas que ya se toman en las distintas prácticas de la sanidad mortuoria. Así mismo, se dan las recomendaciones de protección radiológica en los casos en los que no haya transcurrido el tiempo de seguridad calculado.
- Así pues, los tiempos de seguridad calculados son periodos de tiempos en los que es necesario tomar precauciones sencillas con motivo de la protección radiológica, no períodos en los que no se pueda realizar la práctica (ej.: incineración).
- Siguiendo las recomendaciones descritas en este documento, los riesgos radiológicos asociados al manejo de pacientes fallecidos con actividad residual son mínimos, tanto para los profesionales que intervienen en cada una de las fases de atención al fallecido, como para los familiares y el medio ambiente.
- No se recomienda de forma general la utilización de mandiles plomados, protectores de tiroides, guantes plomados y demás equipos de protección blindados, ya que pueden dificultar e incrementar ostensiblemente el tiempo de trabajo y por tanto el tiempo de exposición. Su uso, en determinados casos, debe ser prescrito por un experto en protección radiológica.
- En el peor escenario que podría darse, las dosis recibidas serían muy inferiores a los límites de dosis de radiación establecidos en la reglamentación vigente. En cualquier caso, la dosis recibida sería inferior a la recibida durante un corto período de tiempo por fuentes naturales de radiación o por exposición a varias radiografías médicas convencionales.
- Es muy improbable que los profesionales, el grupo de mayor riesgo, se enfrenten más de una vez al año a situaciones de fallecidos con material radiactivo incorporado.
- No son necesarias precauciones especiales ni restricciones durante el velatorio de personas fallecidas con actividad residual ni durante su transporte.
- El entierro o sepultura de cadáveres con actividad residual puede realizarse en cualquier momento. El blindaje proporcionado por el ataúd y la tierra o las

paredes de la cripta garantizan la seguridad. No existe riesgo para el medio ambiente tras el enterramiento ya que el material radiactivo decaerá antes de que pueda contaminar cualquier parte del ambiente circundante.

- El personal de la sanidad mortuoria debe disponer de la información sobre si el fallecido ha sido tratado con material radiactivo, bien porque el paciente la lleve consigo o porque sea proporcionada por los familiares.
- Si fuese necesario, el personal de la sanidad mortuoria debería contactar con el centro hospitalario en el que el fallecido recibió el tratamiento con material radiactivo, y dentro de este centro, con el Servicio de Protección Radiológica o Servicio de Medicina Nuclear o de Radioterapia que, si es necesario, se pondrán en contacto con el Consejo de Seguridad Nuclear.

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1: HIPÓTESIS DE CÁLCULO UTILIZADAS

#### 1. Supuestos de cálculo

Se utilizan los siguientes supuestos de cálculo:

- 1.1. Consideraciones para el embalsamamiento: se considera la dosis en piel Hp (0,07) por contacto directo con una jeringuilla sin blindaje: 10 % de la actividad total administrada y 20 minutos de tiempo de exposición.
- 1.2. Consideraciones para la autopsia: se consideran dos casos eligiendo el más desfavorable:
  - a. Dosis efectiva Hp (10) de una fuente puntual que contiene el 100 % de la actividad, distancia de 30 cm, 2 horas de tiempo de exposición.
  - b. Dosis en piel Hp (0,07) de una fuente puntual que contiene el 100 % de la actividad, distancia de 1 cm, 10 minutos de tiempo de exposición.
- 1.3. Consideraciones para la incineración: se distinguen tres partes diferentes:
  - a. Dosis al personal del crematorio por barrer las cenizas: se considera una fuente puntual que contiene el 100 % de la actividad, distancia de 1 m, 2 horas de tiempo de exposición. Se considera la dosis a 1 m, Hp (10) o Hp (0,07), eligiendo el supuesto más desfavorable con su respectivo límite de dosis.
  - b. Dosis efectiva a un familiar por estar cerca de la urna: se considera una fuente puntual que contiene el 100 % de la actividad, distancia de 30 cm y tiempo de exposición infinito.
  - c. Tiempo necesario para dispersar el material radiactivo al medio ambiente: esparcir las cenizas, hidrólisis alcalina y realización de tatuajes o joyas de recuerdo con las cenizas. Para este caso, se considera el tiempo necesario para que el material radiactivo esté exento.

## 2. Límites de dosis considerados

Para los familiares que estén cerca de la urna: se establece como límite de dosis el del público, en dosis efectiva Hp (10) = 1 mSv. Este es un valor conservador debido a la improbabilidad de que le ocurriese a una persona más de una vez en la vida.

Para los profesionales (embalsamamiento, autopsia, incineración): se considera también el límite de dosis del público, esto es, dosis efectiva Hp (10) = 1 mSv y dosis equivalente en piel Hp (0,07) = 50 mSv. No se elige una fracción del límite de dosis del público debido a la baja probabilidad de que ocurra esta situación. Utilizar el límite de dosis del público, equivaldría a que cada profesional no debería tener que manipular más de un fallecido portador de fuentes radiactivas al año.

## 3. Justificación del número de fallecidos al año

En España la probabilidad de que una persona muera al año es:

Según la publicación de Unsear 2008, el número de tratamientos con material radiactivo en España por millón de habitantes es:

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| Tiroides maligno              | 611  |
| Hipertiroidismo               | 1267 |
| Enfermedad Mieloproliferativa | 21,8 |
| Metástasis Hueso              | 72,3 |
| Sinovitis                     | 63,3 |
| Otros                         | 5,6  |
| Braquiterapia I-125           | 21,2 |
| Total                         | 2061 |



Según esto, el número de fallecidos portadores de fuentes radiactivas al año en España sería en torno a 875 por millón de habitantes.

| Tipo Profesional afectado | Nº instalaciones España                   | Probabilidad                                | Nº fallecidos con fuentes radiactivas por año e instalación |
|---------------------------|---|---|---|
| Embalsamamiento           | 2429 tanatorios                           | -   | ~ 0,4   |
| Autopsia                  | 74 institutos de medicina legal y forense | 5%-10% muertes se realiza autopsia judicial | ~ 0,6 – 1,2   |
| Crematorio                | 442 Crematorios                           | -   | ~ 2   |

Aunque el número de tratamientos con fuentes radiactivas haya aumentado a día de hoy, el número de fallecidos con dichas fuentes indicado es una estimación conservadora, ya que, habitualmente, el fallecimiento se produce mucho más tarde de la administración del radioisótopo y en la mayoría de los casos no existe ningún problema radiológico [4]. Adicionalmente, se puede afirmar que es muy improbable que una única persona realice todas las prácticas de la instalación. Por lo tanto, parece razonable considerar que un mismo trabajador no esté expuesto a más de un caso al año.

#### 4. Valores de tasa de dosis utilizados

Uno de los aspectos más conflictivos al calcular la tasa de dosis de fuentes radiactivas es qué valores de conversión utilizar, ya que estas fuentes tienen emisión beta, que es difícil de extrapolar con la distancia. Se han utilizado valores tabulados a las distancias de cálculo indicadas y se ha reconvertido de 0,3 m a 1 m por el inverso del cuadrado de la distancia.

|                | Tasa de equivalente de dosis personal por unidad de actividad (mSv/(h×MBq)) |                 |                      |                |                   |                |
|----------------|---|-----------------|----------------------|----------------|-------------------|----------------|
|                | Período (días)  | Actividad (MBq) | Hp(0,07) contacto#   | Hp(10) a 0,3 m | Hp(10) a 1 m      | Hp(0,07) a 1 m |
| <b>Sr-89</b>   | 50,5  | 150             | 16,40[5]             | 2,27E-07[5]    | 2,04E-08*         | -              |
| <b>Y-90</b>    | 2,7   | 5000            | 43,50[5]             | 0[5]           | 0[5]              | 7,11E-05[5]    |
| <b>Sm-153</b>  | 1,9   | 2600            | 0,24[5]              | 1,86E-04[5]    | 1,67E-05*         | -              |
| <b>Lu-177</b>  | 6,7   | 7400            | 0,15 <sup>β</sup>    | 8,48E-05*      | 7,64E-06[7], [8]  | -              |
| <b>Ra-223+</b> | 11,43   | 6               | 0,454*               | 5,04E-04*      | 4,54E-05[6]       |                |
| <b>Ho-166</b>  | 1,1   | 8000            | 3,50E-3 <sup>α</sup> | 6,95E-05*      | 6,26E-06 [7], [8] | -              |
| <b>P-32</b>    | 14,29   | 60              | 23,90[5]             | 0[5]           | 0[5]              | 1,31E-06[5]    |
| <b>I-131</b>   | 8   | 7400            | 1,13[5]              | 7,29E-04[5]    | 6,56E-05*         | -              |
| <b>I-125</b>   | 60,1  | 1500            | 0,62[5]              | 3,90E-04[5]    | 3,51E-05*         | -              |

#En los casos que está tabulado, se utiliza la tasa de equivalente de dosis personal en contacto para la dosis a 1 cm.

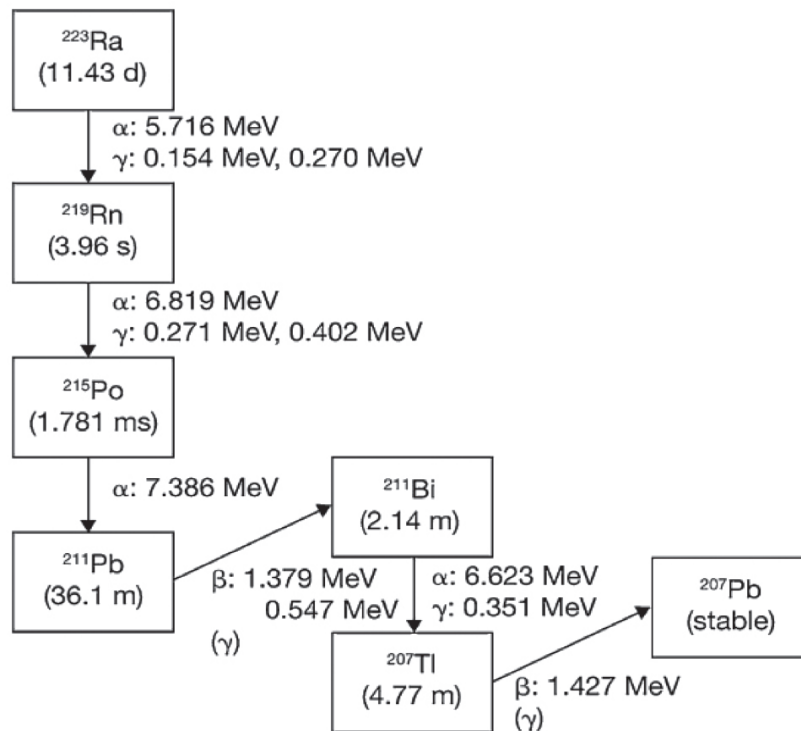
\*Reconvertido por 1/d<sup>2</sup>

<sup>α</sup>Referencia del fabricante.

<sup>β</sup>En el caso del Lu-177, el valor de dosis en contacto reconvertido por 1/d<sup>2</sup> solo tiene en consideración la dosis por la contribución de fotones. Si se tiene en cuenta la contribución de los electrones que podrían atravesar la jeringa (rango=1.8 mm), la dosis en piel podría ser, quizá, el doble: Hp(0,07)~0.15 (mSv/(h×MBq)), usando la comparación de un isótopo cercano en energía y emisión, como el Ce-141. Este valor del Lu-177 en contacto está estimado, no obtenido de tablas. Adicionalmente, se ha considerado la actividad de una administración, a pesar de que el tratamiento total está constituido por 4 administraciones. Esto es debido a que el Lu-177 se elimina muy rápidamente de forma biológica [9] (a las 24 horas solo queda un 30% de la actividad y a las 48 horas un 20% de la actividad total), por lo que, si al paciente se le llegan a administrar las 4 dosis, se puede considerar que la actividad de las anteriores administraciones es despreciable, puesto que la eliminación biológica es muy rápida.

+ Para el Ra-223 se dan los valores en equilibrio con sus descendientes, que difieren considerablemente de los del Ra-223 únicamente.

En el Ra-223, la tasa de equivalente de dosis personal en contacto Hp (0,07) se puede considerar como la dosis debida a los fotones, ya que las partículas alfa van a tener un rango de pocos cm en aire e inferior a 0.07 mm en tejido blando y los núcleos hijos (Pb-211), que emiten partículas beta, van a tener una actividad varios órdenes de magnitud inferiores al Ra-223. A continuación, se muestra el esquema de decaimiento:



## 5. Tiempo necesario para seguir las recomendaciones

La protección radiológica no debería ser un motivo para no cumplir la voluntad de la familia del fallecido en cuanto a inhumación o incineración.

Si no ha transcurrido el tiempo indicado en la tabla siguiente, será necesario llevar a cabo la práctica con una serie de precauciones, pero no evitar la realización de la misma o retrasarla. Sí que existirá un período en el que haya que retrasar el destino final de las cenizas o que no pueda realizarse la hidrólisis alcalina.

**Tabla 2. Resumen de los tiempos de seguridad obtenidos siguiendo las hipótesis de cálculo expuestas en el anexo I**

| Tiempo en el que las precauciones son necesarias desde la administración del isótopo |                 |           |               |                               |                       |               |
|--|-----------------|-----------|---------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| Isótopo  | Embalsamamiento | Autopsia  | Cremación     |                               |                       |               |
|  |                 |           | Profesionales | Guardado cenizas en domicilio | Destino final cenizas | Material urna |
| Sr-89  | 5 semanas       | 5 meses   | -             | -                             | 1 año                 | a             |
| Y-90   | 3 semanas       | 1 mes     | -             | -                             | 6 semanas             | a             |
| Sm-153   | -               | 2 días    | -             | 10 días                       | 3 semanas             | b             |
| Lu-177   | -               | 2 semanas | -             | 7 semanas                     | 2 meses               | b             |
| Ra-223   | -               | -         | -             | 3 días                        | 9 semanas             | a/b           |
| Ho-166   | -               | 1 día     | -             | 5 días                        | 3 semanas             | b             |
| P-32   | -               | 1 mes     | -             | -                             | 4 meses               | a             |
| I-131  | 3 semanas       | 6 semanas | -             | 3 meses                       | 4 meses               | b             |
| I-125  | -               | 3 meses   | -             | 21 meses                      | 21 meses              | b             |

a: madera, plástico o vidrio

b: acero inoxidable, u otro metal.

## 6. Discusión de resultados

En el caso de la incineración, se han considerado las distintas fases por separado, ya que el tiempo para reducir el riesgo del profesional es muy bajo frente al tiempo que hay que almacenar las cenizas antes de esparcirlas en el medio ambiente.

Los tiempos calculados en este documento están sobreestimados, ya que se ha considerado el período físico y no el efectivo, que será más conservador que el peor escenario, tampoco se ha tenido en cuenta la autoabsorción, que en los emisores beta puede ser muy importante.

Es importante recalcar que los tiempos calculados son tiempos en los que es necesario tomar precauciones sencillas con motivo de la protección radiológica, no períodos en los que no se pueda realizar la práctica (i.e. incineración).

## ANEXO 2: INFORMACIÓN BÁSICA SOBRE LA RADIACIÓN Y LOS EFECTOS BIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LAS RADIACIONES IONIZANTES [11] [17]

### INTRODUCCIÓN

La radiactividad es el fenómeno por el cual los átomos inestables experimentan desintegraciones espontáneas y va generalmente acompañada de la emisión de radiación. La radiación transmite su energía a través del medio y puede ser de dos tipos: ionizante y no ionizante.

Dependiendo del rango en el espectro de energía electromagnética, las radiaciones pueden ser *no ionizantes* como calor, microondas, luz visible u otros, y radiaciones *ionizantes* como rayos X y rayos gamma. Las ondas electromagnéticas se caracterizan esencialmente por su energía, que varía inversamente a la longitud de onda, las radiaciones ionizantes son las de más energía y menor longitud de onda.

Se puede emitir radiación ionizante en el proceso de desintegración de núcleos inestables o por desexcitación de los átomos y sus núcleos desde *fuentes naturales* como el sol, las estrellas o la radiación cósmica. También puede ser producida *artificialmente* por equipos de rayos X, reactores nucleares, ciclotrones y otros dispositivos. Durante la desintegración radiactiva, los rayos gamma ( $\gamma$ ) a menudo se producen junto con otros tipos de radiación, como partículas alfa ( $\alpha$ ) o beta ( $\beta$ ).

Cuando un núcleo emite una partícula alfa o beta, el núcleo resultante o núcleo hijo queda a veces en un estado excitado que, después de la desexcitación, vuelve a un nivel de energía más bajo al emitir un rayo gamma; de la misma manera un electrón atómico puede, en la mayoría de los casos, saltar a un nivel de energía más bajo emitiendo luz visible. Posteriormente la radiación ionizante que se produce puede arrancar electrones de los átomos de la materia que atraviesa o en la que se deposita y romper los enlaces entre los átomos de una molécula.

Las características de los cuatro tipos principales de radiación emitida por material radiactivo, a saber, radiación alfa, beta, gamma y neutrones, son las siguientes:

- La *radiación alfa* tiene un alcance relativamente corto, atravesando solo unos pocos centímetros en aire. Puede detenerse con una hoja de papel y no puede penetrar las capas exteriores de la piel humana. Por esta razón, la

radiación alfa se convierte en un peligro solo si un radionucleido emisor alfa entra en el cuerpo. Ejemplos de los emisores de partículas alfa son el americio-241 y el polonio-210.

- La *radiación beta* puede viajar varios metros en el aire y penetrar a través de la piel inadecuadamente protegida. Los emisores de radiación beta se consideran principalmente un peligro si hay contaminación interna, pero la deposición en la piel de radionucleidos que emiten partículas beta de suficiente energía (como cesio-137) puede dar lugar a "quemaduras cutáneas".
- La *radiación gamma* es muy penetrante y puede atravesar la mayoría de los materiales, incluido el cuerpo humano. Por esta razón, la radiación gamma se considera que tiene riesgo por irradiación externa, aunque también puede haber riesgo de contaminación interna si el isótopo se ingiere o se inhala. Ejemplos de emisores de radiación gamma son el iridio-192 y el cobalto-60.
- Los *neutrones* se emiten en los procesos de fisión y reacción nucleares, o cuando algún material radiactivo sufre desintegración espontánea.

Tipos de emisión de los isótopos de este documento: El radio-223 ( $^{223}\text{Ra}$ ) es emisor alfa. El estroncio-89 ( $^{89}\text{Sr}$ ), fósforo-32 ( $^{32}\text{P}$ ) y el itrio-90 ( $^{90}\text{Y}$ ) son ejemplos de emisión beta. El lutecio-177 ( $^{177}\text{Lu}$ ), holmio-166 ( $^{166}\text{Ho}$ ), samario-153 ( $^{153}\text{Sm}$ ) y yodo-131 ( $^{131}\text{I}$ ) emiten principalmente partículas beta y también un porcentaje de radiación gamma. Las semillas de yodo-125 ( $^{125}\text{I}$ ) emiten principalmente radiación gamma.

## CONCEPTOS, DOSIS Y UNIDADES DE RADIACIÓN

La exposición a la radiación, en términos físicos, es una medida basada en la capacidad de esta para producir ionización en el aire a temperatura y presión estándar. Esta cantidad se puede determinar con muchos detectores de radiación. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de exposición son culombios/kg en el aire (o röntgen, R, en unidades "antiguas":  $1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg de aire}$ ). La unidad de exposición solo se define para aire y no se puede utilizar para describir la dosis al tejido. Sin embargo, las cámaras de ionización se utilizan ampliamente para calibrar dispositivos de radiación médica y se han documentado cuidadosamente factores de conversión para calcular la dosis absorbida de la exposición para diferentes energías de radiación y tejidos.

La actividad (A) de una cantidad de un radionucleido en un determinado estado energético en un momento dado es el cociente entre  $dN$  y  $dt$ , donde  $dN$  es el valor esperado del número de transformaciones nucleares espontáneas que se producen desde dicho estado energético en el intervalo de tiempo  $dt$ .

$$A = \frac{dN}{dt}$$

La antigua unidad para medir la actividad era el curio (Ci), en un principio se definió como la actividad que corresponde a de 1 g de  $^{226}\text{Ra}$ , y se definen más recientemente como:

1 Ci =  $3.70 \times 10^{10}$  desintegraciones radiactivas por segundo

La unidad del SI que reemplaza al curio es el becquerelio (Bq):

1 Bq = 1 desintegración radiactiva por segundo =  $2.703 \times 10^{-11}$  Ci

Cuando la radiación ionizante interactúa con el cuerpo humano, deposita su energía en órganos y tejidos. La cantidad de energía absorbida por unidad de peso del órgano o tejido se denomina dosis absorbida y se expresa en unidades denominadas gray (Gy). Un Gy de dosis absorbida equivale a un julio de energía de radiación absorbida por kilogramo de masa de órganos o tejidos. La misma dosis absorbida de *diferentes tipos de radiación ionizante*, produce un daño también diferente. Así, las partículas alfa producen un mayor daño que las partículas beta, los rayos gamma y los rayos X para una dosis absorbida determinada.

Para tener en cuenta esta diferencia, la dosis de radiación se expresa como dosis equivalente en unidades de sievert (Sv).

La dosis equivalente en Sv es igual a la dosis absorbida multiplicada por un factor de ponderación de la radiación.

La suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas se define como dosis efectiva.

## RADIACIÓN DE FONDO

El fondo de radiación natural normalmente se refiere a tasas de dosis o a concentraciones de actividad asociadas con fuentes naturales.

La mayoría de las dosis de radiación absorbidas por el ser humano provienen de *fuentes naturales* tales como fuentes cósmicas y terrestres, y por inhalación o ingesta de isótopos radiactivos que hay en la naturaleza. La radiación gamma emitida por fuentes naturales es en gran parte debida a radionucleidos primordiales, principalmente las series  $^{232}\text{Th}$  y  $^{238}\text{U}$ , y sus productos de desintegración, así como  $^{40}\text{K}$ , que existen en niveles traza en la corteza terrestre. Sus concentraciones en el suelo, las arenas y las rocas dependen de la geología local de cada región del mundo. Debido a esto último es por lo que los habitantes de ciertas zonas terrestres reciben una dosis de radiación mucho mayor que la mayoría de la población.

La dosis promedio que reciben las personas de la radiación de fondo natural es alrededor de 2,4 mSv/año. Esto varía dependiendo de la geología y altitud donde habiten; generalmente varía entre 1 y 10 mSv/año, pero puede ser en algunas zonas del planeta de más de 50 mSv/año. El nivel más alto conocido de radiación de fondo que afecta a una población sustancial se encuentra en los estados de Kerala y Tamil Nadu en la India.

### Dosis promedio anual y rangos de dosis de radiación ionizante por fuente natural de exposición

| Tipo de fuente                    | Dosis media anual mundial (mSv) | Rango típico para radiación individual (mSv) | Comentarios   |
|-----------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Inhalación (gas radón)            | 1,26                            | 0,2-1  | La dosis es mucho mayor en algunas viviendas                  |
| Radiación externa terrestre       | 0,48                            | 0,3-1  | La dosis es mayor en algunas localizaciones                   |
| Ingestión                         | 0,29                            | 0,2-1  |   |
| Radiación cósmica                 | 0,39                            | 0,3-1  | La dosis se incrementa con la altitud                         |
| <b>Total de radiación natural</b> | <b>2,4</b>                      | <b>1-13</b>                                  | <b>Grupos de población considerables reciben de 10-20 mSv</b> |



## EFFECTOS DETERMINISTAS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Los efectos sobre la salud resultantes de los importantes cambios en la función celular provocados por altas dosis de radiación se denominan "efectos deterministas" o "efectos tisulares", porque están predeterminados para ocurrir *por encima de un nivel umbral de dosis equivalente*. Los efectos deterministas, por lo tanto, no se dan si se reciben niveles bajos de dosis de radiación.

Los efectos deterministas de la radiación ionizante (también llamados reacciones tisulares) son producidos por destrucción extensa de células, tienen un *umbral de dosis típicamente de varios Gy*, son específicos de tejidos particulares y se caracterizan porque *la gravedad del efecto depende de la dosis* (cuanto mayor sea la dosis, una vez superado el umbral, más severo es el efecto). Ejemplos de efectos deterministas incluyen: síndrome agudo de irradiación (ARS), síndrome de irradiación localizada (LRI), cataratas inducidas por radiación, hipotiroidismo, infertilidad y efectos en el embrión y feto (abortos y teratogénesis). Todos ellos, por lo tanto, producidos cuando se reciben dosis altas de radiación.

## EFFECTOS ESTOCÁSTICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Se supone que los efectos estocásticos no tienen umbral de dosis y dependen del daño producido en el ADN, no por la muerte celular. En contraste con los efectos deterministas en los que la severidad del daño depende de la dosis, *la probabilidad de un efecto estocástico aumenta a medida que la dosis efectiva aumenta*.

Estos efectos se deben a que el daño no reparado del ADN puede producir células modificadas pero viables que pueden iniciar un largo y complejo proceso que puede conducir al cáncer. Se denominan "estocásticos" porque su expresión es de naturaleza aleatoria, es decir, es su probabilidad lo que aumenta a medida que la dosis efectiva aumenta.

Aunque la causa exacta de la mayoría de los cánceres sigue siendo desconocida o poco entendida, la exposición a agentes como el humo del tabaco, el asbesto y los rayos ultravioleta, así como la radiación ionizante, desempeñan un papel en la inducción de ciertos tipos de cáncer. El desarrollo del cáncer es un proceso complejo de varias etapas que suele tardar muchos años en producirse. La radiación

parece actuar principalmente al inicio mediante la introducción de ciertas mutaciones en el ADN de las células normales de los tejidos.

Estas mutaciones permiten que una célula entre en una vía de crecimiento anormal que puede solo en algunas ocasiones conducir al desarrollo de una neoplasia maligna.

Estudios epidemiológicos y de otro tipo, como los estudios de supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, son las principales fuentes para la asociación de la irradiación y el desarrollo de cánceres. También se registró un aumento significativo en el cáncer de tiroides papilar observado en niños y adolescentes expuestos al yodo radiactivo después del accidente de Chernobyl en 1986.

El sistema de protección radiológica tiene por objetivo evitar los efectos deterministas y limitar al máximo los efectos estocásticos, para ello se fijan unos límites de dosis *que se recogen en el título II del RD 1029/2022 por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes.*

### ANEXO 3: GLOSARIO

- **Actividad.** La actividad (A) de una cantidad de un radionucleido en un determinado estado energético en un momento dado es el cociente entre dN y dt, donde dN es el valor esperado del número de transformaciones nucleares espontáneas que se producen desde dicho estado energético en el intervalo de tiempo dt.

$$A = \frac{dN}{dt}$$

La unidad de actividad es el bequerelio (Bq). Un bequerelio es igual a una transformación por segundo.

- **Autopsia.** También llamada examen *post mortem* o necropsia, son procedimientos médicos que emplean la disección, con el fin de obtener información sobre la causa, naturaleza, extensión y complicaciones de la enfermedad que sufrió en vida el sujeto y que permite formular un diagnóstico médico final para dar una explicación de las observaciones clínicas dudosas y evaluar un tratamiento dado. También se realiza por razones médico legales.
- **Braquiterapia.** También llamada curiterapia, es un tipo de radioterapia interna en la cual se colocan semillas, hilos o cápsulas que contienen una fuente de radiación en el cuerpo, dentro o cerca del tumor. La braquiterapia es un tratamiento local y trata solo una parte específica del cuerpo. Hay tres tipos de braquiterapia: Implantes con tasa de dosis baja (LDR); Implantes con tasa de dosis alta (HDR) e Implantes permanentes. En los dos primeros tipos las fuentes se retiran en cada sesión o al terminar el tratamiento.
- **Cenizas.** Resultante del proceso de cremación de un cadáver, restos humanos, restos cadavéricos o restos óseos, ya sea en forma de polvo o restos quemados.
- **Contaminación interna y externa.** Presencia indeseable de sustancias radiactivas en una materia, una superficie, un medio cualquiera o una persona. En el caso particular del organismo humano, esta contaminación puede ser externa o cutánea, cuando se ha depositado en la superficie exterior, o interna cuando los radionucleidos han penetrado en el organismo por cualquier vía (inhala-ción, ingestión, percutánea, etc.).

- **Destino final cenizas.** A efecto de este documento, cualquier uso legal que se pretenda dar a las cenizas diferente a estar confinadas en una urna u otro recipiente cerrado.
- **Dosis absorbida.** Es la energía absorbida por unidad de masa, indica la dosis promediada sobre un tejido u órgano. La unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy).
- **Dosis equivalente.** Dosis absorbida, en un tejido u órgano, ponderada en función del tipo y la calidad de la radiación.
- **Dosis efectiva.** Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas. Los factores de ponderación adecuados se especifican en el anexo II del RD 1029/2022 por el que se aprueba el *Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes*. La unidad para dosis efectiva es el Sievert (Sv).
- **Embalsamamiento.** Técnicas usadas para impedir la aparición de los fenómenos de putrefacción.
- **Enterrar o inhumar.** Acción de depositar en los cementerios cadáveres, restos u órganos y/o partes humanas, mediante el enterramiento.
- **Equivalente de dosis ambiental  $H^*(10)$ .** El equivalente de dosis ambiental en un punto de un campo de radiación que se produciría por el correspondiente campo alineado y expandido en la esfera ICRU a una profundidad de 10 mm y sobre el radio opuesto a la dirección del campo alineado. La unidad del equivalente de dosis ambiental es el J kg<sup>-1</sup> y su nombre especial es sievert (Sv).
- **Equivalente de dosis personal  $H_p(d)$ .** Es una magnitud operacional: el equivalente de dosis en tejido blando (comúnmente interpretado como "la esfera ICRU") a una profundidad apropiada, d, por debajo de un punto especificado del cuerpo humano. La unidad del equivalente de dosis personal es el julio por kilogramo (J kg<sup>-1</sup>) y su unidad especial es el sievert (Sv). El punto especificado está usualmente determinado por la posición en la que se porta el dosímetro individual.
- **Exposición.** Acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

- **Fuente radiactiva encapsulada.** Aquella constituida por sustancias radiactivas firmemente incorporadas en materias sólidas y efectivamente inactivas, o encerradas en una envoltura inactiva que presenta una resistencia suficiente para evitar cualquier dispersión de dichas sustancias radiactivas, en las condiciones normales de uso.
- **Incineración o cremación.** Es la práctica de deshacer un cuerpo humano muerto, quemándolo, lo que frecuentemente se lleva a cabo en un lugar denominado crematorio. Es una alternativa cada vez más utilizada para la disposición final de un cadáver.
- **Irradiación externa.** Acción de someter un material o un ser vivo a la acción de las radiaciones ionizantes emitidas desde una fuente radiactiva situada en el exterior de éstos.
- **Isótopos.** Son los átomos de un elemento con el mismo número atómico pero con distinta masa atómica, es decir, con el mismo número de protones y por tanto idénticas propiedades químicas, pero distinto número de neutrones y diferentes propiedades físicas.
- **Límites de dosis.** Valores máximos fijados en el título II del RD 1029/2022 por el que se aprueba el *Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes*, para las dosis resultantes de la exposición de los trabajadores, personas en formación, estudiantes y miembros del público, a las radiaciones ionizantes consideradas por el Reglamento. Estos valores no tienen en cuenta las dosis resultantes del fondo radiactivo natural ni de las exposiciones sufridas como consecuencia de exámenes o tratamientos médicos. Los límites de dosis se aplican a la suma de la dosis recibida por exposición externa y de la dosis interna integrada resultante de la incorporación de radionucleidos que haya podido tener lugar.
- **Miembros del público.** Personas de la población, con excepción de los trabajadores expuestos, las personas en formación y los estudiantes durante sus horas de trabajo.
- **Órgano diana.** Órgano del cuerpo humano que recibe una dosis terapéutica de irradiación para el tratamiento o eliminación de una enfermedad concreta.
- **Radiación natural, fuentes naturales de radiación.** Fuentes de radiación ionizante de origen natural, terrestre o cósmico (ver en anexo II de este documento).

- **Radiofármaco.** Radioisótopos adheridos a moléculas biológicas que tienen capacidad de actuar en órganos, tejidos o células concretas del cuerpo humano con fines terapéuticos o de diagnóstico.
- **Radionucleido.** También: radioisótopo, radionúclido, isótopo radiactivo o nucleido radiactivo. Es un isótopo inestable de un elemento químico, cuyos núcleos son capaces de emitir energía en forma de radiación ionizante para buscar una configuración más estable.
- **Sepultura.** Cavidad excavada en la tierra, construcción u otro lugar en que se entierra uno o varios cadáveres.
- **Servicio/Unidad Técnica de Protección Radiológica.** Entidad expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones establecidas en el RD 1029/2022 por el que se aprueba el *Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes*. El Servicio de Protección Radiológica es una entidad propia de un titular o mancomunada por varios titulares, mientras que la Unidad Técnica de Protección Radiológica es una entidad ajena contratada por el titular.
- **Sustancia radiactiva.** Sustancia que contiene uno o más radionucleidos, y cuya actividad o concentración no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica.
- **Tasa de dosis.** Relación entre el incremento que experimenta la dosis y el intervalo de tiempo en que se ha producido dicho incremento. La tasa de dosis absorbida se da en gray por hora; la de dosis equivalente y dosis efectiva en sievert por hora (Sv/h) o sievert por año (Sv/a).
- **Tiempo de seguridad.** Para los efectos de esta guía, es el tiempo a partir del cual se considera que las prácticas mortuorias pueden llevarse a cabo de la forma habitual, es decir, sin ningún tipo de restricciones adicionales.
- **Velatorio.** Establecimiento funerario habilitado como lugar de etapa intermedia del cadáver entre el lugar del fallecimiento y el destino final, debidamente acondicionado para la realización de prácticas de tanatoestética y para la exposición y vela de los cadáveres.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Foro Sanitario. "Criterios de alta de pacientes y medidas para la protección radiológica del público después de tratamientos metabólicos con I-131", octubre 2011.
2. "Guía de consenso sobre Sanidad Mortuoria" (Aprobado en Comisión de Salud Pública. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar social. Consejo Interterritorial, Sistema Nacional de Salud. 24 de julio de 2018).
3. RIVM Briefrapport 2019-0165. D. Siegersma et al. "Potentiële stralingsbelasting na het overlijden van patiënten behandeld met radioactieve stoffen".
4. Satoh Y, Yamanaka H, Yamashita T, Akoi M, Egawa S, et al. Deaths within 12 months after I-125 implantation for brachytherapy of prostata cáncer: an investigation of radiation safety issues in Japan (2003-2010). *Brachytherapy* 2012; 11: 192-6.
5. D. Delacroix, J. P. Guerre, P. Leblanc, C. Hickman, and B. C. Penney, "Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook," *Radiat. Prot. Dosimetry*, vol. 98, no. 1, pp. 1–168, Feb. 2002.
6. M. Hosono, H. Ikebuchi, Y. Nakamura, S. Yanagida, and S. Kinuya, "Introduction of the targeted alpha therapy (with Radium-223) into clinical practice in Japan: learnings and implementation," *Ann. Nucl. Med.*, vol. 33, no. 3, pp. 211–221, 2019.
7. B. Shleien, L. Slaback, and B. Birky, *Handbook of health physics and radiological health*, 3rd ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins, 1998.
8. L. Unger and D. Trubey, "Specific gamma-ray dose constants for nuclides important to dosimetry and radiological assessment (No. ORNL/RSIC-45/Rev. 1.)," Oak Ridge, TN (United States), May 1982.
9. M. Hosono *et al.*, "Manual on the proper use of lutetium-177-labeled somatostatin analogue (Lu-177-DOTA-TATE) injectable in radionuclide therapy (2nd ed.)," *Ann. Nucl. Med.*, vol. 32, no. 3, pp. 217–235, Apr. 2018.

10. Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). REGDOC-2.7.3, "Radiation Protection Guidelines for Safe Handling of Decedents". June 2018.
11. IAEA, Safety Report Series nº 101, 2020. "Medical Management of Radiation Injuries".
12. IAEA, Safety Report Series nº 63, 2009. "Release of Patients After Radionuclide Therapy".
13. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. "Statement on Safe Handling of Deceased persons Recently Treated with Radioactive Material", July 2012.
14. William Que. "Radiation safety issues regarding the cremation of the body of a I-125 prostate implant patient". *Journal of applied clinical medical physics*, volume 2, number 3, summer 2001.
15. United States Nuclear Regulatory Commission. NUREG-1556, Vol.9 Rev.2 Appendix N. "Consolidated Guidance about Materials Licenses". January 2008.
16. United States Nuclear Regulatory Commission. Draft Regulatory Guide DG-8057. Proposed Revision 1 to Regulatory Guide 8.39. "Release of patients administered radioactive material". July 2019.
17. Radiación y protección radiológica. Guía didáctica para centros de enseñanza secundaria CSN, MEC, 2010 (192 págs.) (<https://www.csn.es/documents/10182/914813/OFC-04-06+Radiaci%C3%B3n+y+protecci%C3%B3n+radiol%C3%B3gica+%28Gu%C3%ADa+did%C3%A1ctica+para+Educaci%C3%B3n+Secundaria%29>).



**PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
EN EL MANEJO DE FALLECIDOS  
TRAS UN TRATAMIENTO RECIENTE  
CON RADIONUCLEIDOS**

**FORO SOBRE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA  
EN EL MEDIO SANITARIO**

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)  
Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR)  
Sociedad Española de Física Médica (SEFM)