

Guía de Seguridad 7.5 (Rev. 1)

Actuaciones a seguir en el caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico

Madrid, 26 de mayo de 2005

Índice

Prólogo	5
1 Introducción	6
1.1 Objeto	6
1.2 Ámbito de aplicación	6
1.3 Consideraciones generales	7
2 Primeras actuaciones en el lugar del accidente y durante el traslado del accidentado	8
2.1 Actuaciones en el lugar del suceso	8
2.2 Recogida de datos y registros	10
3 Evaluación y actuación en caso de irradiación	10
3.1 Irradiación global externa	13
3.2 Irradiación global parcial/irradiación parcial	15
4 Evaluación y actuación en caso de contaminación interna	18
4.1 Vías de contaminación interna	18
4.2 Tratamiento de la contaminación interna	20
5 Evaluación y actuación en caso de contaminación externa	29
6 Consejo médico después de un accidente radiológico .	30
Anexo 1	31
Anexo 2	37
Referencias	40
Definiciones	41

Prólogo

El vigente Reglamento sobre *Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes* Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, en su artículo 3^a establece “corresponde a la autoridad competente, en cada caso por razón de la materia, y al Consejo de Seguridad Nuclear, en el ámbito de sus funciones, asegurar el cumplimiento de lo dispuesto en este Reglamento”.

Con esta guía el Consejo de Seguridad Nuclear trata de normalizar las actuaciones a seguir en el caso de que se produzca una situación de accidente radiológico.

Las recomendaciones se han estructurado en una cadena lógica: actuaciones en el lugar del suceso, traslado de la persona y recogida de datos. Se ha considerado necesario añadir, sin perjuicio de las recomendaciones de otras autoridades competentes en el tema, aspectos estrictamente médicos que puedan ser de utilidad al personal involucrado, y minimizar así las consecuencias del accidente.

Madrid, 26 de mayo de 2005

1 Introducción

1.1 Objeto

Esta guía tiene por objeto recomendar las actuaciones relacionadas con la asistencia a personas involucradas en un accidente que pueda conducirles a una exposición anormal a la radiación y un daño para la salud.

De acuerdo con la definición del OIEA, se entiende por accidente “todo suceso involuntario, incluido un error de operación, fallo de equipo u otro contratiempo, cuyas consecuencias reales o potenciales no puedan ignorarse o desconocerse desde el punto de vista de la protección o seguridad, y que pudiera conducir a una exposición potencial o a condiciones de exposición anormales”.

Las consideraciones y las pautas de actuación de este documento forman parte del protocolo que se recomienda utilizar ante cualquier persona o grupo de personas que puedan verse afectadas por un accidente de irradiación y/o contaminación. No es objeto de esta guía abordar las medidas preventivas de protección y otras actuaciones a considerar ante accidentes graves en centrales nucleares, que pudieran afectar a grandes grupos de población y que pudieran originar situaciones de emergencia de las previstas en los planes de emergencia nuclear exterior a las centrales nucleares. Tampoco son objeto de esta guía las actuaciones a considerar en accidentes surgidos durante el tratamiento de pacientes con radiaciones ionizantes.

1.2 Ámbito de aplicación

Esta guía será de aplicación a todo el personal que intervenga en la atención a personas que hayan sufrido un accidente de irradiación y/o contaminación derivado del funcionamiento de las instalaciones radiactivas, nucleares, del transporte de material radiactivo y de la aparición de fuentes de radiación huérfanas (tabla 1) y su contenido se dirige fundamentalmente a los profesionales de la salud. No obstante, teniendo en cuenta la importancia que tiene la recogida de información sobre las circunstancias del accidente, se incluyen orientaciones y formatos de recogida de datos dirigidos a personal no sanitario, entre los que pueden encontrarse miembros de los equipos de rescate, bomberos, cuerpos de seguridad, etc.

Tabla 1. Esquema de los tipos de sobreexposición accidental

Tipo de accidente		Posible ubicación	Tipo de radiación
I R R A D I A C I Ó N E X T E R N A	• Exposición de todo el cuerpo	Instalación nuclear	Neutrones Radiación gamma
	• Exposición localizada	Instalación médica Radioterapia Radiodiagnóstico Instalación industrial Radiografía industrial Gammagrafía industrial	Radiación X Radiación gamma Radiación beta Radiación neutrónica
		Fuera de una instalación (fuentes huérfanas)	Radiación X Radiación gamma Radiación beta Radiación neutrónica
C O N T A M I N A C I Ó N	• Externa • Interna: heridas, ingestión, inhalación, inyección	Instalación nuclear Instalación médica: Laboratorio de isótopos Laboratorios de investigación Instalación industrial Laboratorios de investigación Universidades y Centros de Educación Fuera de una instalación (fuentes huérfanas)	Radiación gamma Radiación beta Radiación alfa

1.3 Consideraciones generales

En el ámbito laboral de las exposiciones a radiaciones, la intervención de los servicios médicos viene motivada, generalmente, aparte de por las revisiones periódicas de salud, por la detección de una superación del límite de dosis reglamentario en un registro rutinario. En estos casos, y según se establece en el art. 45 del *Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes*, es necesaria una revisión médica especial, si bien no suelen producirse efectos deterministas sobre la salud y es muy infrecuente que se detecten alteraciones en la exploración física o en las pruebas complementarias.

Esta revisión médica especial se llevará a cabo bajo el criterio del servicio de prevención que la realice, en función de las características de cada trabajador y del grado de superación del límite de dosis. En el *Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para los Trabajadores expuestos a Radiaciones Ionizantes*, publicado por el Ministerio de Sanidad y Consumo, se incluye el criterio médico a seguir en estos casos de superación de límites de dosis.

El concepto de accidente radiológico comprende sin embargo aquellas situaciones de exposición accidental, tanto de personas profesionalmente expuestas a radiaciones ionizantes como de miembros del público e independientemente de la dosis que hayan podido recibir. En estos casos, el tiempo transcurrido hasta la atención médica deberá ser el menor posible, teniendo en cuenta que las intervenciones médicas en casos de posible sobreexposición han de llevarse a cabo, a ser posible, en los denominados centros de asistencia a irradiados y contaminados.

Ante un accidente radiológico será prioritario el criterio clínico sobre el radiológico. Considerando además que en los primeros momentos la información dosimétrica puede ser incompleta, la evaluación médica inicial puede ser la que determine las primeras actuaciones terapéuticas.

2 Primeras actuaciones en el lugar del suceso y durante el traslado del accidentado

2.1 Actuaciones en el lugar del suceso

- Cuando el suceso se produzca dentro de una instalación y siempre y cuando sea de aplicación: activar el Plan de Emergencia Interior de la instalación por el responsable de la misma, poner en conocimiento inmediato del servicio de protección radiológica, del supervisor de la instalación o de la persona en quien se delegue las funciones de protección radiológica, del titular y del CSN la incidencia ocurrida, también se pondrá en conocimiento del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales.
- Independientemente de si el suceso se produce dentro o fuera de una instalación (por ejemplo un accidente de transporte de material radiactivo):
 - Proporcionar todos los cuidados médicos al accidentado sin tener en cuenta su situación de irradiado y/o contaminado, teniendo precaución en su manipulación con el fin de no extender una posible contaminación.

- Si la situación lo requiere, pedir asesoramiento al CSN o a la autoridad sanitaria competente para contactar con un servicio médico o un centro de asistencia a irradiados y contaminados.
- Acordonar la zona señalizando el riesgo existente, con el objeto de confinar en lo posible la fuente de radiación y/o contaminación e impedir el acceso a personas no autorizadas.
- Utilizar medidas de protección: batas, dobles guantes, calzas, máscara, gafas protectoras, etc., y guardarlos posteriormente en bolsas de plástico debidamente etiquetadas.
- Trasladar a la persona accidentada a una zona donde no exista posibilidad de irradiación y/o contaminación.
- En caso de que se sospeche contaminación, recoger muestras biológicas de los orificios nasales con precaución de no extender la contaminación, guardándolas en bolsas de plástico debidamente etiquetadas.
- En caso de vómitos –en el supuesto de haberse producido un accidente con contaminación interna– tratarlos como residuo radiactivo.
- Si la persona accidentada dispone de un dosímetro de lectura directa, leer y anotar el valor numérico que aparece en la pantalla y su unidad; si el dosímetro es termoluminiscente, enviarlo al servicio de dosimetría con carácter urgente para su inmediata lectura.
- Recoger testimonios del accidentado y de las personas cercanas al accidente para tratar de recomponer o reconstruir el suceso y obtener la mayor información posible. Se recomienda grabar los testimonios y tomar fotografías e imágenes de vídeo del escenario.
- Proceder, con la mayor brevedad posible, a la recopilación de datos sobre la persona irradiada y/o contaminada con objeto de facilitar la posterior actuación de los servicios médicos.
- Agrupar y reunir en un lugar seguro a todas aquellas personas que no están seriamente lesionadas pero pudieran estar contaminadas o haber sufrido exposición a la radiación, con objeto de realizar una evaluación radiológica o médica.
- El supervisor de la instalación (en el caso de que el suceso se produzca dentro de una instalación) o el personal con conocimientos en protección radiológica tratará de evaluar la situación radiológica:

- De forma cualitativa caracterizando el tipo de radiación (partículas alfa, beta o neutrones, y/o radiación electromagnética gamma o rayos X).
- Cuantitativamente, proporcionando al menos ordenes de magnitud de los niveles de radiación y/o contaminación, tasa de dosis, etc.
- Si hay que trasladar al accidentado y se sospecha que pueda tener una contaminación externa se envolverá en una manta o plástico que posteriormente se recogerá como posible residuo radiactivo.
- Una vez finalizado el traslado, verificar la posible presencia de contaminación tanto en el vehículo como en las personas que han intervenido con los equipos de detección y medida de contaminación.

2.2 Datos finales y registro

En esta guía se propone la utilización de una ficha, que integraría la información médica y el conjunto de investigaciones con el objetivo de recabar datos y facilitar la asistencia. Estos datos tienen utilidad para el estudio del accidente y para valorar las actuaciones sanitarias posteriores sobre las personas afectadas. Esta ficha además es la que debe utilizarse en la notificación del accidente y en el posterior informe a remitir al Consejo de Seguridad Nuclear. Por tanto se recomienda recopilar y registrar como mínimo la información que se muestra en la ficha de la tabla 2.

3 Evaluación y actuación en caso de irradiación

La irradiación externa es aquella producida por fuentes radiactivas externas al organismo. Según el volumen corporal irradiado se habla de exposición global, parcial o localizada. (Ver anexo I “Efectos Biológico de las Radiaciones Ionizantes”).

Ante un accidente radiológico se han de considerar como principios básicos: la prioridad del tratamiento de la posible urgencia médico-quirúrgica y de la contaminación, la importancia de conocer lo más aproximadamente posible la dosis absorbida y la superficie irradiada y de tomar muestras de sangre y orina que sirvan posteriormente de referencia. Por último, se ha de tener en cuenta que un irradiado no supone ningún riesgo radiológico para el personal que lo atiende.

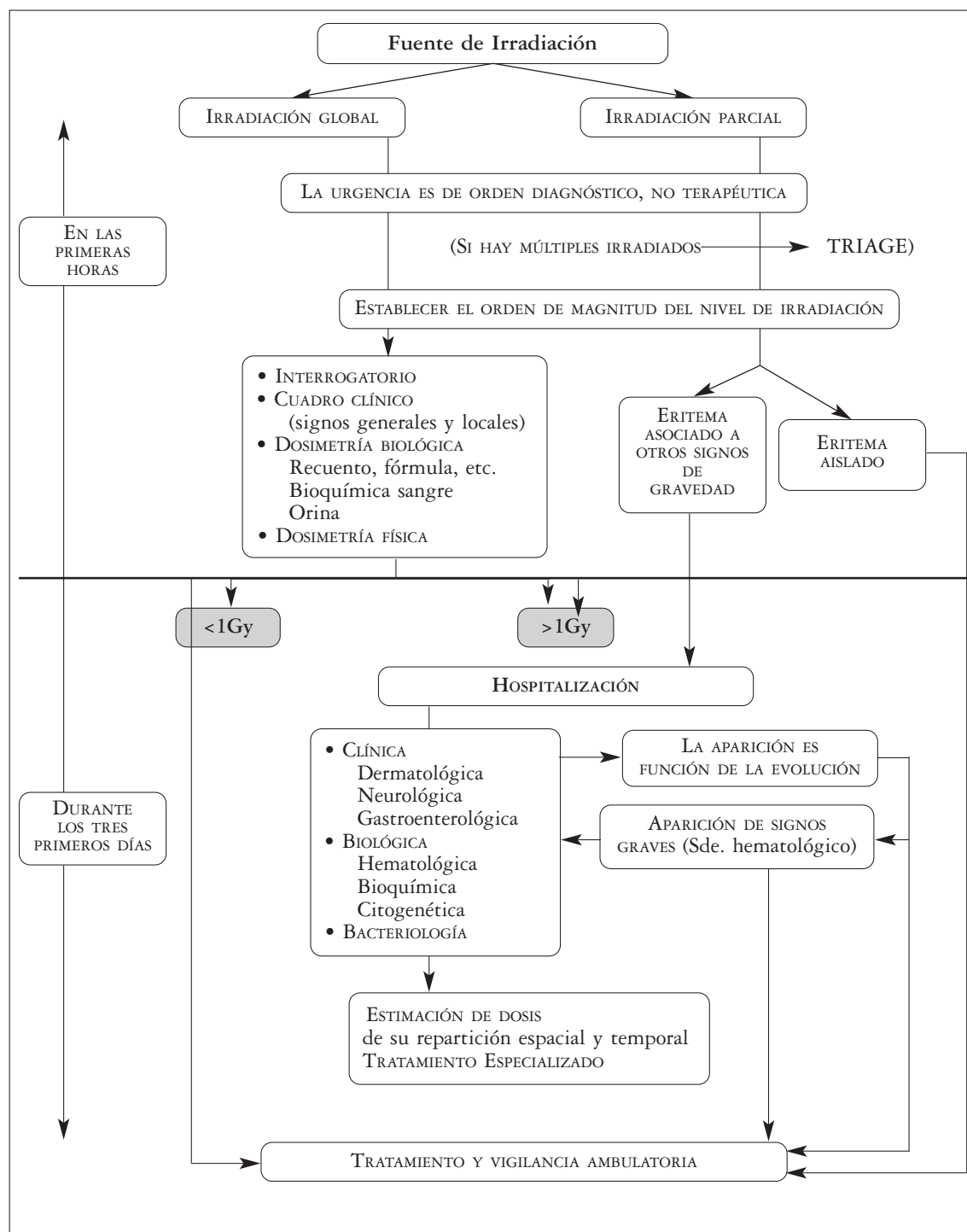
Tabla 2. Formato para la notificación al CSN de la irradiación y/o contaminación de personas en 24 horas en caso de accidente radiológico

Datos generales	
Fecha:	Nombre y apellidos del afectado:
Persona que recoge los datos, empresa y teléfono:	Nº DNI o Pasaporte
	Lugar y fecha de nacimiento:
	Domicilio:
	Teléfono:
	Hombre: Mujer:
Datos del accidente	
Hora y lugar del accidente	Nº IRA/RX
Tipo de instalación: Equipo y/o radionucleido involucrado/s	Descripción del accidente
Nuclear	
Sanitaria Laboratorio s/inv	
Radiodiagnóstico	
Medicina nuclear	
Radioterapia	
Industrial Gammógrafo	
Rayos X	
Fuera de una instalación	
Datos del afectado	
* ¿Dónde se encontraba?	
* Función que realiza en la instalación	
* ¿Llevaba dosímetro? SÍ NO nº de dosímetro	
* ¿Se ha recogido el dosímetro? SÍ NO	
* Identificar el radionucleido en caso de contaminación	
* Tipo de exposición Parcial Total	
* Tiempo estimado de exposición	
* ¿Ha resultado contaminado? SÍ NO	
* Dosis a cuerpo estimada SÍ NO	
menor de 0,5 Sv de 0,5 a 2 Sv mayor de 2 Sv	
* ¿Se ha adoptado alguna medida o procedimiento médico?	
Servicio médico que interviene	
* ¿A qué centro médico se ha remitido al afectado?	
* ¿A qué instituciones se ha notificado?	

La actuación médica inicial ante un irradiado se basará en las estimaciones dosimétricas efectuadas, si bien estas pueden ser muy complejas. Ello es debido a que en la exposición pueden intervenir diferentes tipos de radiación, con diferente grado de homogeneidad en la distribución de la dosis, diferentes grados de penetración y además con una diferente efectividad biológica en los distintos tejidos.

La figura 1 muestra un esquema sobre criterios de actuación médica en un accidente radiológico.

Figura 1. Criterios de intervención médica en el caso de sobre-exposición accidental



Fuente: Comisariado de la Energía Atómica CEA.

3.1 Irradiación global externa

Por exposición global se entiende una irradiación homogénea a cuerpo entero que da lugar a una respuesta combinada multiorgánica. En estos casos el accidentado deberá ser remitido a un centro de asistencia a irradiados y contaminados (ver anexo 2: “Planificación, organización y entrenamiento del servicio médico”).

En la anamnesis inicial, bien a través del propio accidentado o de testigos, se prestará especial atención a la posición del paciente respecto a la fuente radiactiva y a la naturaleza de la radiación, con el fin de saber si la irradiación ha sido homogénea o existen zonas más irradiadas, de lo cual dependerá la sintomatología dominante del cuadro clínico. Se insistirá sobre la existencia de síntomas generales y digestivos como fiebre, náuseas, vómitos y diarrea. La aparición de síntomas neurológicos como mareo, cefalea, ataxia, o desorientación se consideran signos de mal pronóstico y reflejan una dosis absorbida elevada (tabla 3).

Tabla 3. Esquema de síntomas clínicos precoces según la dosis

50-200 mSv	Ausencia de sintomatología
Dosis > 1 Gy	Náuseas, vómitos Astenia intensa
Dosis > 5 Gy	Trastornos digestivos: dolor abdominal, diarrea
Dosis > 15 Gy	En las primeras horas: Signos cutáneos (eritema, decoloración) Hipertermia
Dosis > 15 Gy	En los primeros minutos: Shock, signos neurológicos

Fuente: “Conduite pratique en cas d’s accident”. Pharmaciens et Nucleair.

La exploración física deberá incluir un examen dermatológico, neurológico, cardiovascular y digestivo. Se realizará una exploración oftalmológica en caso de exposición global o cefálica y siempre que se sospeche irradiación neutrónica.

Se deberán recoger muestras de sangre y orina (según la norma UNE 73-702). Las muestras de sangre se utilizarán para el estudio de parámetros hematológicos, bioquímicos (incluida amilasa) y posterior análisis citogenético. En orina se llevará a cabo el análisis bioquímico y si procede también radioquímico. Cuando se sospeche irradiación neutrónica se harán determinaciones en sangre de sodio 24 para valoración de la posible activación. Se valorará la

conveniencia de tomar muestras (diente o esmalte dental, ropa) para dosimetría física mediante resonancia electrónica paramagnética.

En función de las dosis estimadas, las determinaciones analíticas se repetirán en las siguientes horas y días con la frecuencia adecuada para detectar las fluctuaciones de las 3 líneas celulares sanguíneas, siendo de especial interés los recuentos de linfocitos para valorar la severidad de la exposición (tabla 4).

Tabla 4. Variaciones de los recuentos linfocitarios en los primeros días después de una irradiación aguda en función de la dosis absorbida

Severidad del SIA	Dosis (Gy)	Linfocitos (C/L)*
Asintomática	0,1-1,0	1,5-2,5
Leve	1,0-2,0	0,7-1,5
Moderado	2,0-4,0	0,5-0,8
Severo	4,0-6,0	0,3-0,5
Muy severo	6,0-8,0	0,1-0,3
Letal	>8,0	0,0-0,05

* Expresado como 10^9 cel/L.

Fuente: Adaptado de Safety Report Series N° 2, Vienna 1998.

El tratamiento estará condicionado por la duración del periodo crítico o sintomático, la severidad de la deplección medular expresada como anemia, leucopenia y trombopenia y sus complicaciones, especialmente las infecciosas. Con dosis inferiores a 1 Gy el paciente puede estar asintomático y ser suficiente una vigilancia médica de carácter ambulatorio. Cuando se estime que la dosis absorbida a cuerpo entero es superior a 2 Gy el tratamiento debe realizarse en régimen de hospitalización y aislamiento en condiciones de asepsia.

El tratamiento de las complicaciones gastrointestinales incluirá el tratamiento sintomático de las náuseas, vómitos y diarrea, el restablecimiento del equilibrio hidroelectrolítico y medidas encaminadas a estimular la regeneración intestinal. Para la prevención y tratamiento de las complicaciones infecciosas se administrarán antibióticos de amplio espectro, antifúngicos y antivíricos.

La depresión de la medula ósea requerirá transfusiones de plaquetas y hematíes. Cuando se prevea que no es posible la recuperación espontánea, se valorarán medidas más especí-

ficas como el trasplante de médula ósea, de células madres o de cordón umbilical, o el uso de citoquinas.

La tabla 5 representa un esquema general del cuadro clínico y su cronología tras la exposición a radiaciones ionizantes, en función de las dosis absorbidas.

3.2 Irradiación global parcial/irradiación parcial

La irradiación localizada en alguna parte del cuerpo es mucho más frecuente que la global en un accidente radiológico. Por otra parte, en mas de la mitad de los casos de irradiación global la distribución de la dosis no es uniforme, asociándose un síndrome cutáneo por irradiación (SCI), en general compatible con la vida, pero de tratamiento difícil y prolongado. No entramos a considerar el posible daño directo letal a órganos internos, mas frecuentemente observado en accidentes de radioterapia (ej.: mielitis, neumonitis, etc.).

Las lesiones locales por radiación suele evolucionar según una secuencia típica, a través de la que se puede clasificar su grado de severidad de I a IV (tablas 6 y 7).

El primer síntoma suele ser un eritema, que aparece en los primeros minutos y que generalmente persiste durante uno o dos días, seguido de una fase de latencia inversamente proporcional a la dosis recibida. En esta fase pueden ser de utilidad en el diagnostico de un SCI algunas técnicas como los estudios gammagráficos , los ultrasonidos, la capilaroscopia, la profilometría, la resonancia magnética y los estudios histológicos.

El periodo de latencia termina con la aparición del “eritema secundario” que puede acompañarse de descamación, ampollas o úlceras necrotizantes. Las lesiones crónicas se caracterizan por fibrosis, hiper e hipopigmentación, atrofia epidérmica, queratosis, y telangiectasias, pudiéndose desarrollar, con un periodo de latencia de años o décadas (15-35 años) carcinomas cutáneos.

En cada caso, el curso clínico específico dependerá de diversos factores como el tipo de radiación, de fuente, dosis de radiación, sensibilidad individual a la radiación, duración de la exposición, distribución de la dosis en el tejido y parte del cuerpo expuesta. Las localizaciones más habituales son las manos y el muslo. En este ultimo caso es frecuente que se asocien lesiones de órganos internos como el recto, la vejiga y genitales.

Tabla 5. Resumen de datos útiles tras irradiación a cuerpo entero (Dosis Gy)

Los valores de dosis de esta tabla son aproximados, pudiendo oscilar en un 25%

Clasificación OIEA en grados según dosis (Gy)	0 (0,25-0,75)	I (0,76-2)	II (2,1-4)	III (4,1-6)	IV (6,1-15)	V (16,1-50)	VI (>50)
Período de latencia	—	20-30 días	15-25 días	8-17 días	6-8 días	0-2 días	0
Duración de la fase crítica	—	3-6 semanas	12-15 semanas	1-26 semanas	prolongada	—	—
Tiempo de recuperación	3-6 semanas	6-10 semanas	6-12 meses	0,5-15 meses	15-24 meses	—	—
Pronóstico	excelente	excelente	reservada	reservada	grave	—	—
Mortalidad	0	0	0-50%	probable	muy probable	100%	100%
Tiempo hasta la muerte	—	—	1-3 meses	2-8 semanas	10-50 días	0,5-14 días	1-2 días
Causa de muerte	—	—	hemorragia, infección	hemorragia, infección	fracaso hematológico y gastroentérico	colapso circulatorio y edema cerebral	infarto cerebral (?)
Tiempo de instauración de prodromos	0	2-24 horas	1-48 horas	0,5-1 horas	0,5 horas	0-0,5 horas	inmediato
Frecuencia (%) de náuseas y vómitos	0	20-70	10-80	90-100	100	100	100
Hallazgos importantes	no	linfopenia leve	deplección celular leve, infección	depresión grave de la médula ósea y alteración gastrointestinal precoz, infección, hemorragia	evolución rápida, alteración gastrointestinal graves >8Gy	evolución fulminante, con insuficiencia cardíaca	
Linfocitos totales/mL (1-3 días)	1.500-3.000	600-1.000	300-600	100-500	<100	—	—
Granulocitos totales/mL valores inferiores	—	1.500-2.000	>600-1.500	<1.000 (8-20 días)	<500 (7-9 días)	—	—
Plaquetas totales/MI valores inferiores	—	40.000-60.000 (25-28 días)	40.000 (17-24 días)	< 40.000 (10-16 días)	< 40.000 (8-10 días)		

Fuente: Medical Handling of Accidentally Exposed Individuals. Safety Series n° 88.

Tabla 6. Estadios clínicos del síndrome de irradiación cutánea

Estadio	Latencia	Duración	Síntomas
Fase prodrómica	minutos-horas	0,5-36 horas	eritema, prurito
Fase aguda	3 semanas	1-2 horas	eritema, prurito, ampollas, úlceras
Fase subaguda	16 semanas	meses	eritema, úlcera
Fase crónica	años	ilimitada	keratosis, fibrosis, úlcera, atrofia epidérmica, telangiectasias, hiper e hipopigmentación, angioma
Fase tardía	>10 años	ilimitada	igual que en el angioma de la fase crónica, carcinomas basales y escamosos

Tabla 7. Grado de severidad de las lesiones cutáneas por irradiación localizada

Síntomas	Grado I	Grado II	Grado III	Grado IV
Eritema	mínimo, transitorio	moderado, parcheado <10% SC*	marcado parcheado 10-40% DC	severo, >40% SC
Picor	ninguno o ligero	ligero e intermitente	moderado y persistente	severo y persistente
Dolor	no	leve	tolerable	severo
Inflamación edema	presente, asintomático	sintomático, tensión	disfunción secundaria	disfunción total
Descamación	ausente	parcheada, seca	parcheada, húmeda	confluente
Ampollas	infrecuentes, serosas	frecuente, serosa	bullas, serosas	bullas con hemorragias
Úlceras, necrosis	epidérmicas	dérmicas	subcutáneas	afectación de músculo/hueso
Pérdida de pelo	leve	parcheado, visible	completa, reversible	completa, irreversible
Onicosis	ausente	parcial	parcial	completa

*SC.: Superficie corporal

El SCI se deberá sospechar ante una lesión cutánea no atribuible a ningún agente físico ni químico o picadura de insectos en un paciente que pudiera haber estado expuesto a radiaciones ionizantes, o si el cuadro se acompaña de náuseas, vómitos, diarrea u otra sintomatología sistémica no explicada por otras causas, o si existe el antecedente de sintomatología cutánea en la zona (eritema, descamación, depilación) o sistémica en las cuatro semanas anteriores.

En el tratamiento de las lesiones por irradiación local se consideran dos principales aproximaciones, frecuentemente combinadas: el tratamiento conservador, únicamente posible en casos de lesiones superficiales y el quirúrgico.

El tratamiento conservador incluye la utilización de cremas anti-inflamatorias, por ejemplo el ácido linoleico, esteroides locales o sistémicos en casos severos, analgésicos y antibióticos como profilaxis de infecciones bacterianas. En fases mas crónicas pueden ser útiles los ungüentos de ácido linoleico para el tratamiento de la xerosis y crema de tretinoina al 0,005% o incluso retinoides orales para la queratosis. En el tratamiento de la fibrosis por radiación se han empleado entre otros agentes la superoxidodismutasa, pentoxifilina, inhibidores de proteinasas y el interferón gamma. El tratamiento quirúrgico se deberá realizar lo antes posible, con resecciones amplias y buenos márgenes quirúrgicos. El siguiente paso consiste en la aplicación de injertos mediante diversas técnicas, suficientemente vascularizados.

4 Evaluación y actuaciones en caso de contaminación interna

En este apartado se aborda el caso de sobreexposición debida a la incorporación de radionucleidos al organismo.

4.1 Vías de contaminación interna

Las vías de contaminación interna por radionucleidos varían dependiendo del tipo de accidente. Las vías más probables de contaminación interna son la inhalación y la incorporación por herida contaminada, la ingestión suele ser secundaria a la producida por inhalación.

La inhalación se considera la vía más probable de contaminación accidental. El comportamiento de los diferentes radionucleidos que penetran por la vía respiratoria va a depender de las características anatómicas y fisiológicas del sistema respiratorio, del tamaño de las par-

tículas, de las características físicas de los radionucleidos y del grado de solubilidad de cada uno de los compuestos.

Las partículas muy insolubles permanecen en el pulmón durante mucho tiempo y una pequeña fracción de ellas es transportada lentamente a través de los macrófagos alveolares a los nodulos linfáticos pulmonares. En el caso de radionucleidos con período de semidesintegración relativamente largo, este proceso puede comportar una dosis significativa para los ganglios linfáticos. Una fracción importante de las partículas es eliminada también a través de las vías aéreas, ingerida posteriormente y excretada en heces. Las partículas que son relativamente solubles se trasladarán a la sangre y desde allí a los órganos de depósito. La tasa de distribución entre los órganos y los fluidos sistémicos como la sangre estará influenciada por la biocinética y las propiedades bioquímicas del compuesto radiactivo. La excreción del radionucleido del organismo se realizará por las heces y orina y dependerá de su forma química.

La contaminación por la vía de ingestión suele ser secundaria a la contaminación por inhalación, produciéndose de forma directa solo circunstancialmente por consumo de alimentos o líquidos contaminados. El comportamiento de los radionucleidos en el tracto gastrointestinal va a depender de las características propias de cada elemento, pudiendo localizarse a distintas concentraciones en los diferentes tejidos y órganos en relación con su grado de solubilidad. En general la absorción desde el tracto gastrointestinal al sistema circulatorio de muchos radionúclidos es baja, por ejemplo alrededor de un 10% para radioisótopos como americio o plutonio, sin embargo otros como el tritio, yodo o cesio son completamente absorbidos.

En cuanto a las heridas y quemaduras hay que señalar que la pérdida de la integridad de la piel incrementa la absorción interna del radionucleido ya que ésta es una barrera natural, salvo para el tritio y ciertos compuestos de carbono-14 en los que se puede producir absorción a través de la piel intacta. En los accidentes en los que se produzcan heridas o quemaduras contaminadas, la naturaleza físico/química de los radionucleidos en la herida determinará su destino en el organismo. Los materiales insolubles permanecerán fundamentalmente en el lugar de la herida, pero una fracción, aproximadamente un 1%, será transportada a los nodulos linfáticos regionales. También influye el tipo de lesión, así, de manera general se puede considerar que las quemaduras, tanto las térmicas como las químicas, se comportan en cuanto a absorción como la piel integra. De menor a mayor en cuanto al grado de absorción, se encuentran las microabrasiones y escoriaciones, laceraciones y heridas inciso-contusas. Por último en las heridas abiertas debe considerarse la posibilidad de una absorción casi completa.

4.2 Tratamiento de la contaminación interna

Las reglas básicas a tener en cuenta a la hora de aplicar un tratamiento de descontaminación deben ser: valorar el estado general del paciente, tratar la urgencia médica o quirúrgica antes que la descontaminación, ya que los niveles de contaminación casi nunca representan un peligro para el personal que atiende al accidentado, estimar el riesgo/beneficio del tratamiento y seleccionar el fármaco más adecuado para el radionucleido implicado.

La descontaminación interna tendrá como objetivo la eliminación o reducción de sustancias radiactivas del interior del organismo para reducir las dosis absorbidas de radiación. La decisión sobre el tratamiento de la contaminación interna dependerá del servicio médico con la colaboración del Servicio de Protección Radiológica y/o unidad técnica de protección radiológica autorizados. La norma básica para cualquier tratamiento es que deberá beneficiar a la persona tratada, por tanto debe ser evaluado el riesgo potencial de la contaminación interna, fundamentalmente la aparición de futuros efectos biológicos, ya que es raro que las dosis por contaminación de órganos internos produzcan efectos agudos de radiación. También habrá que tener en cuenta la posible reducción del riesgo por el tratamiento y el riesgo inherente al propio tratamiento, que se considera muy bajo. La decisión será a criterio médico y no se basa únicamente en la dosis de radiación, se tendrán en cuenta otros factores como la edad, estado de salud previo y las características del accidentado.

La eficacia del tratamiento de descontaminación por regla general será mayor cuanto menor haya sido el período de tiempo transcurrido entre la incorporación del radionucleido y la instauración de la terapéutica, la máxima efectividad se encuentra dentro de las tres primeras horas disminuyendo posteriormente en muchos casos. Será necesario en primer lugar identificar al radionucleido, la vía de contaminación y por tanto el nivel potencial de exposición. Hay que considerar que una de las dificultades en la toma de decisión del médico para realizar o no un tratamiento, reside precisamente en los pocos datos disponibles en los primeros momentos del accidente. El nivel de contaminación externa en piel y ropa así como el análisis radiotoxicológico de muestras biológicas (nasales, orina) según se establece en la norma UNE 73-702, puede proporcionar una idea grosera de la cantidad de material radiactivo presente. La concentración en orina a menudo se correlaciona con la concentración presente en sangre del radionucleido. Por último señalar que, dada la limitación de tiempo, la realización de dosimetría interna en equipos de contador de cuerpo entero no debe retrasar la decisión del tratamiento.

Con un tratamiento adecuado es posible reducir la dosis de radiación en un factor entre 2 y 10. El tratamiento se llevará a cabo fundamentalmente por dos medios: reduciendo la absorción y el depósito interno del radionucleido y estimulando la eliminación o excreción del radionucleido absorbido. Para ello habrá que conocer el comportamiento metabólico del compuesto dentro del organismo.

La reducción de la absorción gastrointestinal se puede conseguir mediante lavados de estómago, eméticos o purgativos, o mediante el empleo de sustancias que bloqueen la absorción como el azul de Prusia o sulfato de bario o antiácidos que contengan aluminio.

Se pueden emplear sustancias que bloquean el depósito del radionúclido en el órgano de riesgo, como por ejemplo yodo estable para bloqueo de la captación de yodo radiactivo por el tiroides, sustancias que favorecen la dilución, sustancias inmovilizantes o quelantes, etc.

Se recomienda aplicar los criterios de la norma UNE 73-705 sobre descontaminación interna de personas que se muestran en las tablas 8.1 y 8.2, en las que se reflejan estimaciones del riesgo en función del radionucleido incorporado y consideraciones sobre el tratamiento.

Cuando existan heridas o quemaduras contaminadas, el tratamiento médico de urgencia será prioritario sobre la descontaminación. Sin embargo, es fundamental la rapidez, ya que la efectividad de las medidas disminuye con el tiempo. En el caso de contaminación por compuestos solubles y en heridas abiertas, dada la alta probabilidad de contaminación interna se deben aplicar los criterios de la norma UNE previamente mencionada. Cuando la contaminación de la herida sea por compuestos insolubles de radionucleidos, la mayor parte de éstos pueden eliminarse mediante lavados con abundante agua o suero fisiológico o excisión quirúrgica. En el caso de las quemaduras, si se observa pérdida de la integridad de la epidermis y de la dermis, se debe realizar, en el lugar del accidente, un lavado con antisépticos como método de descontaminación primaria antes de aplicar un vendaje estéril.

Tabla 8.1. Datos para la estimación inicial de riesgo después de la incorporación de los radionucleidos seleccionados y consideraciones para el tratamiento

Radionucleidos	Datos físicos		Datos biocinéticos	Métodos de tratamiento e indicaciones			
	Radiaciones	Período semidesintegración 3)		Reducción de la absorción intestinal		Estimulación de la excreción	
				Métodos 5)	Indicación 6)	Métodos 7)	Indicación 8)
1)	2)	3)	4)				
Americio-241	a, g	432,2 A	45 A	Antiac. Adsorb.	±	DTPA (EDTA)	+ + +
Antimonio-124	b, g	60,2 d	38 d	Adsorbentes	+	BAL, DMPS, PA	+
Arsénico-72	b, g	26 h	1 d	Adsorbentes	±	BAL, DMPS, PA	±
Bario-133	G	10,74 A	65 d	Sulfatos	+	Cloruro amónico	(+)
Bismuto-210	A	5,012 d	2,5 d	Adsorbentes	±	BAL, DMPS, PA	+ +
Cadmio-109	g, D	464 d	1,2 A	Adsorbentes	+ +	DTPA, BAL	+ +
Calcio-45	B	163 d	161 d	Fosfato-Ca	+	Ca, (Na-EDTA)	+
Californio-252	A	2,638 A	2,5 A	Antiac. Adsorb.	±	DTPA (EDTA)	+ + +
Carbono-14	B	5730 A	40 d	—	(+)	—	(+)
Cerio-144	b, g, D	284,3 d	263 d	Antiácidos	±	DTPA (EDTA)	+ +
Cesio-137	b, g, D	30 A	109 d	Azul de Prusia	+ +	Azul de Prusia	+ +
Cromo-51	G	27,704 d	21 d	Adsorbentes	+	DTPA (DFOA)	±
Cobalto-60	b, g	5,271 A	1,6 A	Sales Co	+ +	DTPA, Co-EDTA, Co	+ +
Cobre-64	b, g	12,701 h	12 h	Adsorbentes	±	PA, (BAL, DMPS)	±
Curio-244	A	18,11 A	13,2 A	Antiác. Adsorb.	+	DTPA (EDTA)	+ + +

Fuente: Adaptada UNE 73705: 1997 IN.

Tabla 8.1. Datos para la estimación inicial de riesgo después de la incorporación de los radionucleidos seleccionados y consideraciones para el tratamiento (*continuación*)

Radionucleidos	Datos físicos		Datos biocinéticos	Métodos de tratamiento e indicaciones			
	Radiaciones	Período semidesintegración 3)		Reducción de la absorción intestinal		Estimulación de la excreción	
				Métodos 5)	Indicación 6)	Métodos 7)	Indicación 8)
1)	2)	3)	4)				
Europio-152	b, g	13,33 A	5,6 A	Antiácidos	±	DTPA (EDTA)	+ +
Fluor-18	B	109,77 m	2 h	Adsorbentes	±	-	(±)
Oro-198	b, g	2,696, d	1,4 d	Adsorb., Lax.	+	BAL, PA	±
Indio-115m	b, g	4,486 h	4,5 h	Azul de Prusia	±	DTPA (EDTA)	±
Yodo-131	b, g	8,04 d	7,5 d	Yodo	+ +	Yodo, Perclorato	+ +
Hierro-59	b, g	44,529 d	44 d	Adsorbentes	+ +	DFOA, DTPA	
Lantano-140	b, g	40,272 h	40 h	Antiácidos	±	DTPA (EDTA)	+
Plomo-210	b, g	22,3 A	12 A	Sulfatos	+	DTPA, PA, EDTA	+
Manganeso-54	X, g	312,5 d	35 d	Adsorbentes	±	DTPA (DFOA)	±
Mercurio-203	b, g	46,6 d	46 d	Adsorbentes	+	DMPS, (BAL)	+
Neprunio-237	a, D	2,14x10 ⁶ A	50 A	Antiac. Adsorb.	±	DTPA (EDTA)	(+ + +)
Níquel-63	b	96 A	3,2 A	Adsorbentes	+	BAL, DMPS, PA	+
Fósforo-32	b	14,29 d	8 d	Fosfato-Al	+	Fosfato-Na	+ +
Plutonio-239	a, g	24065 A	50 A	Antiác.,Adsorb.	±	DTPA(+DFOA),(EDTA)	+ + +
Polonio-210	a	138,38 d	37 d	Antiác.,Adsorb.	±	BAL, (DMPS)	+ + +

Fuente: Adaptada UNE 73705: 1997 IN.

Tabla 8.1. Datos para la estimación inicial de riesgo después de la incorporación de los radionucleidos seleccionados y consideraciones para el tratamiento (*continuación*)

Radionucleidos	Datos físicos		Datos biocinéticos	Métodos de tratamiento e indicaciones			
	Radiaciones	Período semidesintegración		Reducción de la absorción intestinal		Estimulación de la excreción	
				Métodos 5)	Indicación 6)	Métodos 7)	Indicación 8)
1)	2)	3)	4)				
Porasio-42	b, g	12,36 h	12 h	Adsorbentes	±	K, Duréticos	±
Prometio-147	b, g	2,6234 A	2 A	Antiácidos	±	DTPA (EDTA)	+ +
Radio-226	a, g, D	1600 A	44 A	Sulfatos	+ + +	Ca, Cloruro amónico	(+ + +)
Rubidio-86	b, g	18,66 d	13 d	Azul de Prusia	+	K, Duréticos	+
Rutenio-106	b, D	368,2 d	268 d	Adsorbentes	+ +	DTPA (EDTA)	(+ +)
Escandio-46	b, g	83,83 d	83 d	Adsorbentes	+	DTPA (EDTA)	+ +
Plata-110m	b, g, D	249,9 d	42 d	Adsorbentes	+ +	-	(+ +)
Sodio-24	b, g	15 h	14 h	Na	±	Na, Diuréticos	±
Estroncio-90	b, D	29,12 A	18 A	Sulf. Fosf. Alginato	+ +	Ca, (Sr) Cloruro amónico	(+ + +)
Azufre-35	b	88 d	84 d	Sulfaros	+	Tiosulfaro	+
Tecnecio-99m	g	6 h	6 h	Adsorbentes	±	Perclorato	±
Talio-204	b	3,8 A	10 d	Azul de Prusia	+ +	Azul de Prusia	+ +
Torio-228	a, g, D	1,9 A	1,7 A	Adsorbentes	+ +	DTPA (EDTA)	+ + +
Tritio	b	12, 3 A	10 d	Líquidos abundant.	±	Líquidos, diuréticos	±

Fuente: Adaptada UNE 73705: 1997 IN.

Tabla 8.1. Datos para la estimación inicial de riesgo después de la incorporación de los radionucleidos seleccionados y consideraciones para el tratamiento (*continuación*)

Radionucleidos	Datos físicos		Datos biocinéticos	Métodos de tratamiento e indicaciones			
	Radiaciones	Período semidesintegración 3)		Reducción de la absorción intestinal		Estimulación de la excreción	
				Métodos 5)	Indicación 6)	Métodos 7)	Indicación 8)
1)	2)		4)				
Uranio-233	a	1,6x105 A	14 d	Adsorbentes	+ +	Bicarbonato	(+ + +)
Uranio-235	a, g	7,04x108 A	14 d	Adsorbentes	+ +	Bicarbonato	(+ + +)
Uranio-238	a	4,51x109 A	14 d	Adsorbentes	+ +	Bicarbonato	(+ + +)
Itrio-88	b, g	107 d	107 d	Adsorbentes	±	DTPA (EDTA)	+ +
Zinc-65	b, g	152 d	152 d	Adsorbentes	+ +	Zn-DTPA (EDTA)	+ +
Zirconio-95	b, g, D	64 d	64 d	Adsorbentes	+	DTPA (EDTA)	+ +

1) Radionucleidos. Los nombres de los elementos están listados alfabéticamente. En general, se han listado los elementos con un riesgo esperado más alto.
2) Radiaciones. Se listan las radiaciones más importantes. La letra D se refiere a la presencia de productos de desintegración.
3) Período semidesintegración. Tiempo necesario para la reducción de la radiactividad a la mitad. Los valores se han tomado del Seelman-Eggbert et al. (1981)
4) Período efectivo. Tiempo necesario para reducir la radiactividad incorporada a la mitad de la cantidad original retenida en los órganos del cuerpo mediante procesos físicos y biológicos. Los valores se calcularon como los incluidos en la columna (3) y con los tiempos medios biológicos de la ICRP-30 (1979).
5) y 6) Tratamiento e indicaciones para reducir la absorción intestinal.
7) y 8) Tratamiento e indicaciones para estimular la excreción. Los símbolos se interpretan como sigue: ± Se espera un beneficio escaso o nulo de tratamiento; + El tratamiento puede producir un ligero beneficio; + + Se prevé que el tratamiento sea beneficioso; + + + El tratamiento es necesario e importante.

Fuente: Adaptada UNE 75705: 1997 IN.

Tabla 8.2. Sustancias recomendadas para el tratamiento de decorporación

Sustancia efectiva (1)	Elemento sobre el que actúa (2)	Modo de acción	Efecto de corporación		Vía de administración y dosis en adultos (4)	Preparados aprobados para uso humano
			Reduce la absorción (3)	Aumenta la excreción (3)		
Alginato Adsorbentes Antiácidos	Ba, Ra, Sr	Adsorción	+		Oral: 2x5 g después 4x1 g d ⁻¹	Gavison (Manceau Labs)
Hidróxido de aluminio	F, Hg, K, P, Po	Adsorción, Neutralización	+		Oral: 100 ml (gel) (6 g)	Aludrox Susp. (Wyeth)
Fosfato de aluminio	Ba, P, Ra, Sr	Adsorción Neutralización	+		Oral 100 ml (gel) (13 g)	Phosphalugel (Biotherax)
BAL ¹⁾	As, Au, Bi, Ni, Pb, Po, Sb	Quelación		+	Inyección: 6x2 mg por kg o menos (primeros 2 d. después mitad de dosis)	Sulfacin (Homburg)
Bicarbonato sódico	U	Formando complejos		+	Infusión: 250 ml (1,4%)	Natriumhydrogen-carbonat
(Ca) Gluconato cálcico	Ca, Sr	Dilución		+	Infusión (Ingestión): 2 ampollas (20%) en 500 ml	Calcium – Sandoz
Clortalidona	Cl, ³ H, K, Na, Ru	Diuresis		+	Oral: 1x10 mg (3 por semana)	Hygroton (Geigy)
(Co) Gluconato Cobalto	Co	Dilución	+	+	Inyección (o sublingual): 2 ampollas (450 mg cada una)	Cobalt Oligosol (Labcat Labs)
(Co-EDTA) Diuréticos ²⁾	Co	Quelación		+	Inyección: 1-2 ampollas (300 mg cada una)	Kelocyanor (Laroche, Navarron)
DFOA ³⁾	Fe, Np, Pu	Quelación		+	Inyección: 1x1 g después 0,5 g cada 4-12 h	Desferal (Ciba)
DMPS ⁴⁾	Hg, Pb, Po	Quelación		+	Oral: 3x100 mg cada 3-5 h (días siguientes cada 8-12 h)	Dimaval (Heyl)

Tabla 8.2. Sustancias recomendadas para el tratamiento de decorporación (continuación)

Sustancia efectiva (1)	Elemento sobre el que actúa (2)	Modo de acción	Efecto de corporación		Vía de administración y dosis en adultos (4)	Preparados aprobados para uso humano
			Reduce la absorción (3)	Aumenta la excreción (3)		
DTPA-Ca DTPA-Zn ⁵⁾	Ac, Am, Bk, Cd, Cf, Ce, Co, Cr, Cm, Es, Eu, Fe, In, La, Mn, Ni, (Np), Pb, Pu, Pm, Sc, (Th), (U), Zn, Zr/Nb	Quelación		+	Inyección: más de 1 ampolla (1 g) por d Infusión: 1 ampolla en 250 ml 5% glucosa	Ditripentat (Heyl) Zinknatrium
EDTA ⁶⁾ Calcio	Ver DTPA	Quelación		+	Inyección: 1-2 amp. (0,4-0,8 g) Infusión: 1-2 amp. en 250 ml 5% glucosa	Calciumedetat (Heyl)
EDTA ⁶⁾ Sodio	Ca	Quelación		+	Infusión lenta: 2,5 g por 500 ml	ETA-Lösung (Hameln)
Furosemida	Ca, Cl, K, Na	Diuresis		+	Oral 1-2 x 40 mg, después de 6 h 1x40 mg	Lasix (Hoechst)
(Y) Yoduro potásico o sódico	I, At	Dilución	+	+	Oral: 1-2x130 mg, después 130 mg.d ⁻¹	Kalium iodatum Compretren
PA ⁷⁾	Au, Cu, Co, Ga, Hg, Pb, Po	Quelación		+	Oral: 1-3x300 mg cada 8 h.	Trolovol (Bayer)
(K) Bicarbonato potásico	K, (Rb, Cs)	Dilución	+	+	Oral: 1-3 Comp. (de 1,6 g K cada una) por d	Kalinor (Nordmark)
Perclorato	I, At	Antitiroideo	+	+	Oral: 1x200 mg, después 100 mg cada 5 h	Irenat (Tropon)
Fosfato sódico	P	Dilución	+	+	Oral: 20x0,5 g de P, después media dosis por d	Natriummonohydrogen phosphate

Tabla 8.2. Sustancias recomendadas para el tratamiento de decorporación (*continuación*)

Sustancia efectiva (1)	Elemento sobre el que actúa (2)	Modo de acción	Efecto de decorporación		Vía de administración y dosis en adultos (4)	Preparados aprobados para uso humano
			Reduce la absorción (3)	Aumenta la excreción (3)		
Fosfato cálcico	Ba, P, Ra, Sr	Adsorción	+		Oral: 1x10 g	Tri-calcium phosphate (Merck)
Azul de Prusia ⁸⁾	Cs, Rb, Tl	Adsorción	+	+	Oral: 6x0,5 g d ⁻¹	Radiogardase (Heyl)
(Sr) Lactato de estroncio	Sr	Dilución	+	+	Infusión (oral): 0,5 g en 500 ml	Strontolac (Wyeth)
Sulfato de Ba	Ba, Ra, Sr	Adsorción	+		Oral: 1x100 ml (100 g)	Micropaque (Nicholas)
Sulfato de Mg	Ba, Pb, Po, Ra, Sr	Laxante	+	±	Oral: 1x10 g d ⁻¹	Bittersalz
Sulfato de Na		Insolubilización				Glaubersalz
Tiosulfato	S	Dilución	+	+	Inyección: 1x1 g (10% solución) (Oral) (1x1 g)	Natriumthiosulphate (Jöller)
Aspartato de zinc	Zn	Dilución	+	+	Inyección: 1x30 mg (Oral) (3-5 x 50 mg)	Zinc-aspartate (Köhler)

(1) Las sustancias efectivas están listadas en orden alfabético.

(2) Se exponen los símbolos de los elementos para los cuales se utilizan cada una de las sustancias indicadas para la decorporación. El efecto del tratamiento es en general independiente del radioisotopo de un determinado elemento, pero puede depender de su forma química.

(3) La subcolumna de la izquierda está relacionada principalmente con la reducción de la absorción intestinal después de la ingestión de elementos radiactivos. La subcolumna de la derecha está relacionada principalmente con las vías de eliminación renal e intestinal. Los símbolos + y ± tienen el mismo significado que en la tabla 8.1.

(4) La dosis recomendada no difiere de la utilizada para otros usos clínicos. Con antidotos de metales una dosis baja puede ser suficiente debido a pequeña cantidad de radionucleido incorporado.

¹⁾ British Anti-Lewisite, dimercatopropanol. ²⁾ Véase Clortalidona, furosemida. ³⁾ Desferrioxamina. ⁴⁾ Dimercaptopropanosulfonato. ⁵⁾ Ácido Dietilentiainopentaacetico (cálcico o zinc). ⁶⁾ Ácido Etilentiainopentaacetico (cálcico o zinc). ⁷⁾ Penicilamina. ⁸⁾ Azul de Prusia (Hexaferrocianuro férrico).

Fuente: UNE 73705: 1997 IN.

5 Evaluación y actuación en caso de contaminación externa

Las reglas básicas a tener en cuenta a la hora de aplicar un tratamiento de descontaminación deben ser las que se han ido repitiendo a lo largo de esta guía: valorar el estado general del paciente y tratar la urgencia médica o quirúrgica antes que la descontaminación. En cuanto a la propia contaminación, es fundamental su tratamiento en un accidentado radiológico, siendo el objetivo no generalizar ni dispersar la contaminación y evitar que se produzca una contaminación interna.

Los principios generales del tratamiento de descontaminación externa se encuentran en la norma UNE 73 701. Tendrán prioridad en el tratamiento de descontaminación los orificios naturales seguidos de las zonas donde el nivel de contaminación sea más alto. El tratamiento de descontaminación se iniciará mediante lavados en la zona con agua tibia y/o jabón líquido. Sólo cuando el lavado no consiga la descontaminación se usarán técnicas especiales de descontaminación y empezando siempre por las menos agresivas. En el caso de los orificios naturales el lavado se realizará con suero fisiológico o agua. Por último, tras los lavados se deberá realizar un control de contaminación de la zona mediante monitorización. En la tabla 9 se presenta información sobre la actuación a seguir ante contaminaciones externas.

Tabla 9. Accidente radiológico. Actuación sobre personas contaminadas externas

Contaminación externa				
	I	II	III	IV
Contaminación externa en kBq/cm ²	0,4-4	4-40	40-400	>400
Procedimientos de descontaminación	A considerar	Recomendados	Necesarios	Urgentes
Tasa de dosis gamma a 1 metro μ Sv/h	≤ 1	1 – 10	10 – 100	> 100
Observaciones				
Dosis piel probable Sv/24h	$\leq 0,1$	0,1 – 1	1 – 10	> 10
Dosis efectiva a cuerpo entero mSv/24h	$\leq 0,3$	0,3 – 3	3 - 30	> 30

6 Consejo médico después de un accidente radiológico

Después de recibir una elevada dosis de radiación pueden producirse efectos a largo plazo, por lo que se deberán realizar controles médicos para detectar la aparición de posibles secuelas físicas, como obstrucciones intestinales, úlceras cutáneas o hipotiroidismo. Lo más razonable será diseñar un programa individualizado en función de las dosis recibidas estimadas.

Cuando la dosis a la que se ha estado expuesto es inferior a 1 Sv, los posibles efectos a considerar a largo plazo son la aparición de neoplasias y los efectos psicológicos. En estos casos se acepta en general que un programa médico de seguimiento específico no está justificado. La decisión de llevarlo a cabo en una situación concreta deberá basarse en una serie de factores incluyendo un riguroso análisis costo-beneficio, y en su diseño se deberá tener en cuenta el periodo de latencia entre la exposición a la radiación y la aparición clínica de una posible neoplasia radioinducida.

Cuando la persona que ha sufrido el accidente esté embarazada habrá que hacer una estimación de la dosis que ha podido recibir el embrión o feto y tener en cuenta el momento de la gestación.

Según la evidencia actual, no hay justificación médica para la interrupción del embarazo cuando la dosis recibida por el feto sea inferior a 100 mGy. En el rango entre 100 y 500 mGy deberá hacerse un cálculo lo más aproximado posible de la dosis recibida y tener en cuenta la edad gestacional, así como los factores sociales y familiares. Cuando la dosis absorbida sea superior a 500 mGy y la edad de gestación entre la 3ª y la 16ª semana, aunque es posible que el feto sobreviva, el riesgo de retraso mental y daño del sistema nervioso central es elevado, por lo que los padres deberán ser adecuadamente informados sobre el alto riesgo de llevar a término la gestación.

En cuanto a la reincorporación a la actividad laboral de un trabajador profesionalmente expuesto, el servicio de prevención correspondiente y los responsables de protección radiológica deberán valorar conjuntamente la idoneidad del puesto de trabajo, teniendo en cuenta factores como la edad, el sexo, las circunstancias laborales y los factores psicológicos. Por otra parte, el trabajador deberá ser adecuadamente informado sobre los posibles efectos a largo plazo de futuras exposiciones o contaminaciones radiactivas. Para la valoración de la aptitud médica del trabajador se podrán utilizar las recomendaciones del *Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para los Trabajadores expuestos a Radiaciones Ionizantes*.

Anexo 1 Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

Cuando las radiaciones ionizantes interaccionan con la materia biológica se produce un proceso de ionización que da lugar a modificaciones en átomos y moléculas. Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes derivan del daño que éstas causan en la estructura química de las células, fundamentalmente en el ácido desoxirribonucleico (ADN) existente en los núcleos, encargado de transmitir la información de la célula a su descendencia

En caso de no funcionar adecuadamente los mecanismos reparadores de este daño se puede producir la muerte de la célula mutada. Con bajas dosis de radiación la muerte celular es rara y la repercusión clínica, en general, escasa, debido a la redundancia de las funciones celulares, los mecanismos de reparación y el reemplazo celular. Sin embargo, dosis altas de radiación pueden provocar la muerte de un determinado número de células en un órgano o tejido específico, ser letal para dicho tejido y de tratarse de un órgano vital, para el individuo expuesto. Este tipo de efecto se denomina “efecto no estocástico o determinista” ya que aparecerá únicamente cuando la dosis supere un determinado nivel umbral. Por el contrario, se habla de “efectos estocásticos” para referirse a aquellos de carácter probabilista y que a efectos de protección radiológica se consideran que no tienen una dosis umbral.

Los principales efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. No estocásticos (deterministas).

- Síndrome de irradiación aguda (SIA)
- Exposición parcial.
- Exposición localizada.

2. Efectos estocásticos.

- Carcinogénesis.
- Efectos hereditarios.

3. Efectos sobre embrión y feto.

1 Efectos no estocásticos (deterministas)

Los efectos no estocásticos se caracterizan por una relación de causalidad determinista entre la dosis y el efecto, manifestándose únicamente cuando se supera una dosis umbral.

Esta dosis umbral es muy superior a la recibida durante el funcionamiento normal de una instalación radiactiva o nuclear, por lo que solamente aparecen en casos de exposición accidental, pudiendo afectar: a todo el organismo (síndrome de irradiación aguda (SIA), gran parte del organismo (exposición parcial) o a una pequeña parte del mismo (exposición localizada).

1.1 Síndrome de irradiación aguda (SIA)

El SIA se produce por una única exposición de todo ó casi todo el organismo a una alta tasa de dosis, pudiéndose distinguir en función de la dosis absorbida tres tipos de presentación:

1. *Hematopoyético*: dosis en el rango 1-10Gy.
2. *Gastrointestinal*: dosis en el rango de 10-20Gy.
3. *Sistema nervioso*: dosis en el rango de >50 Gy.

Se estima que sin tratamiento, tras una dosis a cuerpo entero de 3,5 Gy, la mortalidad a los dos meses es del 50%, lo que se denomina dosis letal 50.

El SIA suele manifestarse clínicamente en tres fases: una fase de pródromos caracterizada por náuseas, vómitos y fatiga, una segunda fase, latente, de días a semanas de duración, asintomática, pero durante la que es posible detectar cambios significativos en la analítica de sangre periférica y la tercera fase, de enfermedad manifiesta, que generalmente comienza de forma aguda con vómitos, diarrea y hemorragia intestinal.

Los síntomas iniciales del SIA pueden servir para evaluar la severidad de la exposición, asimismo la duración del intervalo entre la exposición y el inicio de los síntomas y la severidad de estos determina el pronóstico. La aparición temprana de síntomas neurológicos tales como apatía, ataxia o convulsiones indica una exposición a dosis altas.

1.1.1. Síndrome hematopoyético

Por debajo de 1 Gy se pueden encontrar los siguientes hallazgos analíticos y clínicos:

- De 0 a 0,25 Gy: no hay sintomatología, pero puede detectarse en sangre periférica un ligero incremento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas de los linfocitos.
- De 0,25 a 1 Gy: pueden presentarse náuseas de forma transitoria. Los tests biológicos pueden revelar linfopenia y en algunos casos ligera trombopenia.

El síndrome hematopoyético puede graduarse, en función de la severidad de los síntomas de la siguiente forma:

- De 1 a 2 Gy: grado leve. Pueden aparecer náuseas y vómitos en las primeras horas después de la exposición. Entre la 4^a-6^a semana se detecta neutropenia y trombopenia. No suele complicarse con hemorragia o infección y la mayoría de los pacientes se recuperan sin tratamiento.
- De 2 a 4 Gy: grado moderado. Entre 1-2 horas tras la exposición aparecen náuseas y vómitos y en 3-4 semanas, neutropenia y trombocitopenia. Se acompaña de fiebre y hemorragia y con tratamiento la recuperación es probable.
- De 4 a 6 Gy: síndrome severo. Entre media y una hora tras la irradiación aparecen náuseas y vómitos. También pueden presentarse fiebre y eritema de piel y mucosas y en las siguientes 2-3 semanas, neutropenia y trombocitopenia. Sin terapia los pacientes mueren por infección o hemorragia. Es probable la recuperación si se instaura la terapia adecuada.
- De 6 a 10 Gy: síndrome extremadamente severo. En menos de 30 minutos tras la exposición aparecen náuseas y vómitos y en 1-3 horas diarrea en un alto porcentaje de pacientes. Entre 6 y 8 días aparece estomatitis y ocasionalmente enteritis a los 8-10 días. La máxima citopenia se detecta a los 10-14 días, siendo la mortalidad sin tratamiento del 100%. Únicamente con un tratamiento adecuado e instaurado en los primeros momentos algunos pacientes se recuperarán.

1.1.2 Síndrome gastrointestinal

Este síndrome es debido principalmente a la pérdida del epitelio gastrointestinal asociado a agranulocitosis. Dependiendo del grado de exposición aparecen síntomas como

anorexia, náuseas, vómitos, diarrea y fiebre, que comienzan a los pocos días o semanas de la fase de pródromos. Las condiciones del paciente pueden deteriorarse posteriormente con distensión abdominal, pérdida de peristaltismo, deshidratación, colapso circulatorio y muerte. Las complicaciones clínicas más importantes están relacionadas con la infección sistémica por gérmenes entéricos, alteraciones electrolíticas y shock hipovolémico.

1.1.3 Síndrome del sistema nervioso central

La experiencia clínica de este síndrome en humanos es escasa, aunque la evidencia experimental sugiere que el síndrome es de origen neurovascular y las complicaciones del sistema nervioso central secundarias a lesiones vasculares. El cuadro clínico está caracterizado por la rápida aparición de apatía, letargia y postración, frecuentemente seguidos de convulsiones y muerte.

1.2 Síndrome de irradiación aguda y exposición parcial

Se produce por irradiación de una parte significativa del organismo (tórax, abdomen, cabeza) y puede conducir a un SIA más o menos importante de acuerdo con la proporción de médula ósea afectada.

1.3 Exposición localizada

Aparece cuando la irradiación se localiza en una pequeña zona del organismo, generalmente manos, piernas, pies y tórax. Este tipo de exposiciones no provoca un SIA, y son las responsables, a partir de cierto nivel de dosis, de las denominadas “quemaduras radiológicas”, que afectan a piel y tejidos subyacentes.

Los síntomas iniciales más frecuentes son: sensación de calor, dolor y parestesias. La escala de severidad de los síntomas es igual que en las quemaduras comunes: eritema, edema, ampolla, ulceración, necrosis y esclerosis, aunque el desarrollo de la lesión es mucho más lento, a menudo severo y el dolor es prácticamente constante, muy intenso y resistente a la mayoría de los analgésicos habituales. El umbral de aparición depende de la magnitud del campo; en el caso de una exposición aguda y un campo de 3 cm de diámetro aparece eritema con dosis de 3-10 Gy, epidermitis seca con dosis de 10-15 Gy, epidermitis exudativa con dosis de 15-25 Gy y necrosis con dosis superiores 25 Gy.

1.4 Exposición en cristalino

La irradiación del cristalino puede originar opacidades (catarata) con posible pérdida de visión. El umbral de dosis en exposiciones agudas se sitúa entre 2 y 10 Gy para radiaciones de baja transferencia lineal de energía (LET) siendo 2 o 3 veces inferiores en caso de alta LET. En exposiciones crónicas la incertidumbre es mayor, pareciendo estar el umbral de tasa dosis por encima de $0,15 \text{ Gy año}^{-1}$.

2 Efectos estocásticos

Los efectos estocásticos se caracterizan por una relación dosis-efecto de naturaleza probabilista. La gravedad no depende de la dosis recibida y como se ha mencionado anteriormente, a efectos de protección radiológica se consideran que carecen de dosis umbral.

En el caso de los “efectos estocásticos” las células sobreviven pero, a pesar de la existencia de mecanismos de defensa muy efectivos quedan modificadas. La clonación de estas células puede originar, después de un variable pero prolongado período de latencia, la aparición de un cáncer.

Si el daño inducido por radiación se produce en una célula cuya función es la transmisión de información genética, es probable que se exprese algún tipo de daño de diferente tipo y severidad en los descendientes de la persona expuesta. Este tipo de efecto estocástico es hereditario.

La probabilidad de aparición de efectos estocásticos por la radiación natural de fondo es muy baja. Es por ello difícil determinar si los cánceres observados en una población irradiada son causados por la exposición a la radiación o por el contrario están relacionados con otros factores etiológicos, o simplemente representan la incidencia espontánea de la enfermedad. Por esta razón los efectos estocásticos son solo detectables mediante grandes estudios epidemiológicos con suficiente poder estadístico. Aun así y hasta la fecha, los estudios llevados a cabo sobre poblaciones extensas expuestas a niveles elevados de radiación, únicamente han podido demostrar un pequeño incremento en la incidencia de cánceres respecto a la incidencia de ese mismo tipo de cáncer en una población similar no expuesta a radiaciones ionizantes.

Es difícil por tanto, de forma individual, atribuir una relación causal de la radiación sobre un determinado efecto estocástico, siendo únicamente posible atribuirlos esta-

dísticamente a un grupo de población. Los datos epidemiológicos necesitan una metódica interpretación y no todos los estudios proporcionan una información realmente útil, particularmente si las dosis son bajas, ya que tanto el cáncer como las enfermedades hereditarias tienen una elevada prevalencia en la población.

3 Efectos sobre el embrión y el feto

La irradiación fetal durante la primera mitad del embarazo puede conducir a una mayor incidencia de retraso mental en el recién nacido, siendo el período de mayor sensibilidad entre la 8ª-15ª semana de gestación. La dosis por encima del umbral para que se produzca un retraso mental severo no se recibe durante la exposición ocupacional habitual si se respetan los límites de dosis establecidos, de tal forma que únicamente se pueden recibir en exposiciones accidentales o en tratamientos de radioterapia durante el embarazo. En cuanto a la aparición de cánceres en niños, los estudios de exposiciones en útero indican una incidencia de cáncer infantil de 1/1700 para 10 mSv. Es decir 1 niño de 0 a 15 años de cada mil setecientos que reciban una dosis de 10 mSv podría morir de cáncer.

Anexo 2 Planificación, organización y entrenamiento del servicio médico

El manejo eficiente de los accidentes radiológicos depende de la organización y planificación existente y del establecimiento de un programa de simulacros o entrenamiento periódico, principalmente en las personas que vayan a asistir al accidentado en el mismo lugar en que ocurre el accidente. La planificación de la asistencia sanitaria a los accidentes radiológicos debe estar organizada de acuerdo con los recursos de cada país. Este tipo de accidentes se da con escasa frecuencia, por lo cual es muy difícil mantener un buen nivel de conocimientos y eficacia, de ahí la importancia de comprobar periódicamente mediante ejercicios o simulacros la organización general de las distintas etapas en su manejo.

1 Niveles de asistencia

Se definen cuatro niveles de asistencia y organización dependiendo de la gravedad del accidente.

1.1 Asistencia en el lugar del accidente

Lo más destacable se ha mencionado en el apartado 2.1. Sin embargo, hay que hacer hincapié en que esta asistencia puede ser imprescindible en los casos de contaminación con objeto de reducir el tiempo entre el accidente y las medidas de descontaminación a tomar. Es menos relevante en los casos de irradiación externa, ya que en principio estos casos no requieren un tratamiento de emergencia.

En este punto la ayuda consistirá en tener preparado un botiquín sencillo con productos no tóxicos dirigidos a la descontaminación. Para un buen uso de ellos es necesario el conocimiento previo y el entrenamiento por parte de los trabajadores de la instalación. Independientemente el médico responsable deberá tener conocimiento del accidente y de las actuaciones que se han llevado a cabo.

1.2 Asistencia en los servicios médicos de la instalación

La persona accidentada, si es un trabajador de una instalación, podrá ser atendida en los servicios de prevención ó en los servicios médicos especializados (SME) debidamente autorizados para la vigilancia de la salud. Estos servicios pueden realizar las tareas mas específicas de descontaminación y tratamientos de urgencia que se han venido reseñando a lo largo de esta guía.

1.3 Centros de asistencia a los lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes

Los servicios de prevención/médicos de la instalación que atiendan al accidentado deberán tener a su alcance los datos necesarios para contactar en caso de que sea necesario, con el centro de asistencia de nivel superior como son los centros de asistencia a los lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes.

Los requisitos de estos centros se encuentra regulados y deberán ser autorizados por la autoridad sanitaria competente de la correspondiente comunidad autónoma.

Los centros de asistencia de nivel I se localizan únicamente en las instalaciones nucleares.

El nivel II se corresponde con lo que la Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) denomina hospital central. En este nivel de asistencia hay que tener en cuenta que por razones económicas y dada la baja frecuencia de accidentes radiológicos que se producen en nuestro medio, los recursos deben poder ser utilizados en la práctica rutinaria del hospital y a su vez, deben estar disponibles inmediatamente en caso de accidente.

Actualmente el único centro autorizado de nivel II para asistencia a lesionados y contaminados en nuestro país es el Hospital General Universitario “Gregorio Marañón” de Madrid. En cualquier caso los centros sanitarios que más se adaptan en situaciones de emergencia radiológica por irradiación externa, son los hospitales que disponen de unidades de quemados, hematología y cuidados intensivos.

En ocasiones, por la gravedad del accidente, el médico responsable deberá evacuar al accidentado al hospital más cercano. En estos casos es importante, si existe contaminación, evitar su dispersión durante el transporte, teniendo en cuenta las directrices comentadas en el punto 2.1.

En cuanto al hospital que recibe al accidentado, el mayor problema procederá de la posible existencia de contaminación. Se deberá proporcionar información al hospital siguiendo los protocolos habituales establecidos en el ámbito de las emergencias hospitalarias sobre el tipo de accidente, es decir, si implica solamente sobreexposición por irradiación externa y/o si se sospecha contaminación. Hay que subrayar que un irradiado no es una fuente de irradiación para otras personas, y que, es muy raro que

una persona contaminada produzca una dosis significativa al personal involucrado en la actuación médica urgente.

En cualquier caso el hospital que recibe al accidentado deberá organizar un área de emergencia delimitada. Esta área se considerara radiológicamente contaminada, en el sentido de que podría llegar a producirse contaminación. Se dispondrá asimismo de una segunda área fuera de la anterior como zona de transición, con objeto de que la posible contaminación quede restringida y más allá de la zona de transición se localizará el área limpia.

El suelo del acceso y el interior del área de emergencia radiológica deberá estar cubierto con material que facilite la limpieza de la contaminación. Se deberá disponer de ropa protectora (del tipo de la que se emplea para pacientes infectados), instrumentación para la medida de radiaciones, dosímetros, señalizaciones, cinta para aislar zonas, etc. Se recomienda el asesoramiento de personal experto en protección radiológica para el establecimiento de las medidas adecuadas.

1.4 Programas de asistencia internacional en caso de accidente radiológico

En el ámbito mundial existen varios centros reconocidos por la OMS y denominados Centros de Nivel III colaboradores para dar asistencia especial en el caso de individuos expuestos accidentalmente. Entre éstos se encuentran el Centro Internacional de Radiopatología (CIR) en París, el OAK Ridge REAC/TS (Radiation Emergency Assistance Center and Training Site) en Tennessee (EEUU) y el Centro de Radiobiología de Leningrado. El CIR fue creado por el Instituto Curie y el Comisariado de la Energía Atómica Francesa. Es recomendable que sea el Centro de Nivel II el que active el Centro de Nivel III.

Referencias

1. Descontaminación externa de personas, Norma UNE 73-701, 1997.
2. Recogida de muestras biológicas en caso de contaminación interna y/o irradiación externa. Norma UNE 73-702-93, 1993.
3. Descontaminación interna de personas, Norma UNE 73-705, 1997.
4. Profilaxis radiológica con yoduro potásico en trabajadores de la industria nuclear. Norma UNE 73-704, 1995.
5. Medical Handling of Accidentally Exposed Individuals. Safety Series nº 88 OAEA, 1988.
6. Diagnosis and treatment of radiation injuries. Safety reports series nº 2, OIEA, 1998.
7. Medical Management of Radiation accident Ed. Igor A. Gusev, Angelina K. Guskova, Fred A. Mettler, Jr. CRC Press, 2001.
8. Medical Management of the Acute Radiation Syndrome: Recommendations of the Strategic National Stockpile Radiation Working Group. Waselenko J. K. *et al.* Ann Intern Med 2004; 140 (12): 1037.
9. Guidebook for the treatment of accidental internal radionuclide contamination of workers. Radiation Protection Dosimetry, 1992; 41 (1).
10. Resolución de la Dirección General de Asistencia Sanitaria por la que se dictan normas para el desarrollo y aplicación de la Orden de 8 de diciembre de 1979 sobre organización de servicios de asistencia a lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes.
11. Orden de 5 de diciembre de 1979 sobre organización de servicios de asistencia a lesionados y contaminados por elementos radiactivos y radiaciones ionizantes.
12. Protocolo de vigilancia sanitaria específica para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes, 11 de noviembre de 2003. Ministerio de Sanidad y Consumo.

A efectos de esta guía se aplicarán las siguientes definiciones

- *Activación*: proceso mediante el cual un nucleido estable se transforma en radionucleido al ser irradiado con partículas o rayos gamma de alta energía el material en que está contenido.
- *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 .
- *Bequerelio*: nombre especial de la unidad de actividad. Un bequerelio es igual a una transformación por segundo.
- *Contaminación externa de personas*: presencia de sustancias radiactivas en la superficie del organismo.
- *Contaminación interna*: incorporación de radionucleidos al interior del organismo por cualquier vía (inhalación, ingestión, percutánea, etc.).
- *Contador de cuerpo entero*: equipo que detecta la existencia de contaminación radiactiva en el interior del organismo.
- *Descontaminación interna*: eliminación o reducción de sustancias radiactivas del organismo.
- *Dosis absorbida*: la energía absorbida por unidad de masa. Su unidad es el Gray (Gy).
- *Exposición*: el proceso de estar expuesto a las radiaciones ionizantes.
- *Fuente*: aparato, sustancia radiactiva o instalación capaz de emitir radiaciones ionizantes o sustancias radiactivas.
- *Gray (Gy)*: nombre especial de la unidad de dosis absorbida en el Sistema internacional de medidas. Un gray es igual a un julio por kilogramo.
- *Incorporación*: acción y efecto de absorción de una sustancia externa por el organismo.
- *Instalación radiactiva o radiológica*: instalación de cualquier clase que contenga una fuente radiactiva o un aparato productor de radiaciones ionizantes.

- *Instalación nuclear*: instalación de cualquier clase en la que se producen, almacenan, reelaboran o emplean combustibles nucleares.
- *Irradiación externa*: es la exposición del organismo a fuentes de radiaciones externas a él.
- *Límites de dosis*: límites fijados en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RPSCRI), para la dosis resultante de la exposición de los trabajadores profesionalmente expuestos y los miembros del público, no teniendo en cuenta la dosis debida al fondo natural y a las exploraciones médicas a que hayan podido ser sometidos.
- *Límite de incorporación anual*: actividad máxima de un radionucleido que puede ser incorporada anualmente.
- *Miembros del público*: individuos de la población, con excepción de los trabajadores expuestos y estudiantes en su jornada laboral.
- *Monitor de radiación*: equipo que detecta la presencia de radiactividad mediante conteo de los impulsos eléctricos que se forman en su interior.
- *Muestras biológicas*: porción de un producto o tejido que se emplea para estudiar su naturaleza, composición y estructura.
- *Período de semidesintegración (físico)*: tiempo necesario para que la actividad de un radionucleido disminuya a la mitad.
- *Protocolo de Vigilancia Sanitaria Específica para Trabajadores Expuestos a Radiaciones Ionizantes*: protocolo aprobado por la Comisión de Salud Pública del Ministerio de Sanidad, sobre el examen médico a realizar para la vigilancia de salud de los trabajadores con riesgo laboral de exposición a radiaciones ionizantes
- *Radiaciones ionizantes*: haces de radiación con la energía suficiente para producir ionizaciones, de forma directa o indirecta.
- *Radionucleido (radioisótopo, elemento radiactivo)*: átomos que emiten radiación de forma espontánea.
- *Radiotoxicidad*: toxicidad debida a las radiaciones ionizantes emitidas por un radionucleido incorporado y por sus productos derivados. La radiotoxicidad no es debida únicamente

te a las características radiactivas del radionucleido sino que depende también de su estado físico y químico y del metabolismo de ese elemento o compuesto en el organismo.

- *Residuo radiactivo*: cualquier material o producto de desecho, para el que no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por la legislación.
- *Servicio de Dosimetría Personal*: entidad responsable de la lectura e interpretación de las medidas obtenidas con dispositivos de vigilancia individual de dosis o de la medida de radiactividad recibida por el cuerpo humano a partir de muestras biológicas. Dichas entidades cuentan con el reconocimiento del CSN.
- *Servicio de Prevención de Riesgos Laborales*: servicio cuya misión es promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de los riesgos derivados del trabajo, de acuerdo a la Ley sobre Prevención de Riesgos Laborales (Ley 31/1995 de 8 de noviembre).
- *Servicio de Protección Radiológica*: servicio encargado del establecimiento de las normas de Protección Radiológica y de la vigilancia de su cumplimiento, expresamente autorizado por el Consejo de Seguridad Nuclear.
- *Sievert (Sv)*: nombre especial de la unidad de dosis efectiva y de dosis equivalente en el Sistema internacional. Un Sievert es igual a un julio por kilogramo.
- *Supervisor de instalaciones radiactivas*: persona con licencia otorgada por el Consejo de Seguridad Nuclear, capacitada para dirigir el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores.
- *Sustancia radiactiva*: sustancia que contiene uno o varios radionucleidos cuya actividad no es despreciable desde el punto de vista de protección radiológica.
- *Titular*: persona física o jurídica que tiene, con arreglo a la legislación nacional, la responsabilidad y la autoridad sobre el ejercicio de algunas de las prácticas o actividades laborales previstas en el artículo 2 del Reglamento 783/2001 de 6 de junio sobre PSRI.
- *Trabajadores expuestos*: personas expuestas a radiaciones ionizantes a causa de su actividad laboral.

Colección Guías de Seguridad

1. Reactores de potencia y centrales nucleares

1.1 Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación en centrales nucleares.

CSN, 1986 (16 págs.) ISBN 84-87275-31-1. Referencia: GSG-01.01.

1.2 Modelo dosimétrico en emergencia nuclear.

CSN, 1990 (24 págs.) ISBN 84-87275-48-6. Referencia: GSG-01.02.

1.3 Plan de emergencia en centrales nucleares.

CSN, 1987 (16 págs.) ISBN 84-87275-44-3. Referencia: GSG-01.03.

1.4 Control y vigilancia radiológica de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos emitidos por centrales nucleares.

CSN, 1988 (16 págs.) ISBN 84-87275-25-7. Referencia: GSG-01.04.

1.5 Documentación sobre actividades de recarga en centrales nucleares de agua ligera.

CSN, 1990 (Rev. 1, 2004) (48 págs.) ISBN 84-87275-35-4. Referencia: GSG-01.05.

1.6 Sucesos notificables en centrales nucleares en explotación.

CSN, 1990 (24 págs.) ISBN 84-87275-47-8. Referencia: GSG-01.06.

1.7 Información a remitir al CSN por los titulares sobre la explotación de las centrales nucleares.

CSN, 1997 (Rev. 1, 2004) (70 págs.) ISBN 84-87275-67-2. Referencia: GSG-01.07.

1.9 Simulacros y ejercicios de emergencia en centrales nucleares.

CSN, 1996 (16 págs.) ISBN 84-87275-65-6. Referencia: GSG-01.09.

1.10 Revisiones periódicas de la seguridad de las centrales nucleares.

CSN, 1996 (12 págs.) ISBN 84-87275-60-5. Referencia: GSG-01.10.

1.11 Modificaciones de diseño en centrales nucleares.

CSN, 2002 (48 págs.) ISBN 84-95341-36-0. Referencia: GSG-01.11.

1.12 Aplicación práctica de la optimización de la protección radiológica en la explotación de las centrales nucleares.

CSN, 1999 (32 págs.) ISBN 84-87275-83-4. Referencia: GSG-01.12.

1.13 Contenido de los reglamentos de funcionamiento de las centrales nucleares.

CSN, 2000 (20 págs.) ISBN 84-95341-18-2. Referencia: GSG-01.13.

1.14 Criterios para la realización de aplicaciones de los Análisis Probabilistas de Seguridad.

CSN, 2001 (44 págs.) ISBN 84-95341-28-X. Referencia: GSG-01.14.

1.15 Actualización y mantenimiento de los Análisis Probabilistas de Seguridad.

CSN, 2004 (38 págs.). Referencia: GSG-01.15

2. Reactores de investigación y conjuntos subcríticos

3. Instalaciones del ciclo del combustible

4. Vigilancia radiológica ambiental

4.1 Diseño y desarrollo del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental para centrales nucleares. CSN, 1993 (24 págs.) ISBN 84-87275-56-7. Referencia: GSG-04.01.

5. Instalaciones y aparatos radiactivos

5.1 Documentación técnica para solicitar la autorización de funcionamiento de las instalaciones radiactivas de manipulación y almacenamiento de radionucleidos no encapsulados (2.^a y 3.^a categoría). CSN, 1986 (Rev. 1, 2005) (32 págs.). Referencia: GSG-05.01.

5.2 Documentación técnica para solicitar autorización de las instalaciones de manipulación y almacenamiento de fuentes encapsuladas (2.^a y 3.^a categoría). CSN, 1986 (Rev. 1, 2005) (28 págs.). Referencia: GSG-05.02.

5.3 Control de la hermeticidad de fuentes radiactivas encapsuladas. CSN, 1987 (12 págs.) ISBN 84-87275-26-5. Referencia: GSG-05.03.

5.5 Documentación técnica para solicitar autorización de construcción y puesta en marcha de las instalaciones de radioterapia. CSN, 1988 (28 págs.) ISBN 84-87275-37-0. Referencia: GSG-05.05.

5.6 Cualificaciones para la obtención y uso de licencias de personal de operación de instalaciones radiactivas. CSN, 1988 (20 págs.) ISBN 84-87275-30-3. Referencia: GSG-05.06.

5.7 Documentación técnica necesaria para solicitar autorización de puesta en marcha de las instalaciones de rayos X para radiodiagnóstico. CSN, 1988 (16 págs.) ISBN 84-87275-34-6. Referencia: GSG-05.07.
Anulada^(*).

5.8 Bases para elaborar la información relativa a la explotación de instalaciones radiactivas. CSN, 1988 (12 págs.) ISBN 84-87275-24-9. Referencia: GSG-05.08.

5.9 Documentación para solicitar la autorización e inscripción de empresas de venta y asistencia técnica de equipos de rayos X. CSN, 1998 (20 págs.) ISBN 84-87275-85-0. Referencia: GSG-05.09.

5.10 Documentación técnica para solicitar autorización de instalaciones de rayos X con fines industriales. CSN, 1988 (20 págs.) ISBN 84-87275-36-2. Referencia: GSG-05.10.

5.11 Aspectos técnicos de seguridad y protección radiológica de instalaciones médicas de rayos X para diagnóstico. CSN, 1990 (28 págs.) ISBN 84-87275-20-6. Referencia: GSG-05.11.

5.12 Homologación de cursos de formación de supervisores y operadores de instalaciones radiactivas. CSN, 1998 (64 págs.) ISBN 84-87275-81-8. Referencia: GSG-05.12.

5.14 Seguridad y protección radiológica de las instalaciones radiactivas de gammagrafía industrial. CSN, 1999 (64 págs.) ISBN 84-87275-91-5. Referencia: GSG-05.14.

^(*) Esta guía ha quedado sin validez al entrar en vigor, el 4 de mayo de 1992, el Real Decreto sobre instalación y autorización de los equipos de rayos X con fines de diagnóstico médico.

5.15 Documentación técnica para solicitar aprobación de tipo de aparato radiactivo.
CSN, 2001 (24 págs.) ISBN 84-95341-33-6. Referencia: GSG-05.15.

5.16 Documentación técnica para solicitar autorización de funcionamiento de las instalaciones radiactivas constituidas por equipos para el control de procesos industriales.
CSN, 2001 (32 págs.) ISBN 84-95341-29-8. Referencia: GSG-05.16.

6. Transporte de materiales radiactivos

6.1 Garantía de calidad en el transporte de sustancias radiactivas
CSN, 2002 (32 págs.) ISBN 84-95341-37-9. Referencia: GSG-06.01.

6.2 Programa de protección radiológica aplicable al transporte de materiales radiactivos
CSN, 2003 (52 págs.) ISBN 84-95341-39-5. Referencia: GSG-06.02.

6.3 Instrucciones escritas de emergencia aplicables al transporte de materiales radiactivos por carretera.
CSN, 2004 (28 págs.). Referencia: GSG-06.03.

7. Protección radiológica

7.1 Requisitos técnico-administrativos para los servicios de dosimetría personal individual.
CSN, 1985 (12 págs.) ISBN 84-87275-46-X. Referencia: GSG-07.01.

7.2 Cualificaciones para obtener el reconocimiento de experto en protección contra las radiaciones ionizantes para responsabilizarse del correspondiente servicio o unidad técnica.
CSN, 1986 (8 págs.) ISBN 84-87275-29-X. Referencia: GSG-07.02.
Anulada^(*).

7.3 Bases para el establecimiento de los servicios o unidades técnicas de protección radiológica.
CSN, 1987. (Rev. 1, 1998) (36 págs.) ISBN 84-87275-88-5. Referencia: GSG-07.03.

7.4 Bases para la vigilancia médica de los trabajadores expuestos a la radiaciones ionizantes.
CSN, 1986 (Rev. 2, 1998) (36 págs.) ISBN 84-87275-86-9. Referencia: GSG-07.04.
Anulada^(**).

7.5 Actuaciones a seguir en caso de personas que hayan sufrido un accidente radiológico.
CSN, 1989 (Rev. 1, 2005) (50 págs.). Referencia: GSG-07.05.

7.6 Contenido de los manuales de protección radiológica de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas del ciclo del combustible nuclear.
CSN, 1992 (16 págs.) ISBN 84-87275-49-4. Referencia: GSG-07.06.

7.7 Control radiológico del agua de bebida.
CSN, 1990 (Rev. 1, 1994) (16 págs.) ISBN 84-87275-27-3. Referencia: GSG-07.07.

^(*) Esta guía ha sido anulada al sustituirse por la instrucción del CSN IS-03 (BOE 12-12-2002).

^(**) Anulada por haber aprobado el Ministerio de Sanidad y Consumo un protocolo para la vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos.

8. Protección física

8.1 Protección física de los materiales nucleares y en instalaciones radiactivas.

CSN, 2000 (32 págs.) ISBN 84-95341-14-X. Referencia GSG-08.01.

9. Gestión de residuos

9.1 Control del proceso de solidificación de residuos radiactivos de media y baja actividad.

CSN, 1991 (16 págs.) ISBN 84-87275-28-1. Referencia: GSG-09.01.

9.2 Gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en instalaciones radiactivas.

CSN, 2001 (28 págs.) ISBN 84-95341-34-4. Referencia: GSG-09.02.

10. Varios

10.1 Guía básica de garantía de calidad para instalaciones nucleares.

CSN, 1985 (Rev. 2, 1999) (16 págs.) ISBN 84-87275-84-2. Referencia: GSG-10.01.

10.2 Sistema de documentación sometida a programas de garantía de calidad en instalaciones nucleares.

CSN, 1986 (Rev. 1, 2002) (20 págs.) ISBN 84-95341-35-2. Referencia: GSG-10.02.

10.3 Auditorías de garantía de calidad.

CSN, 1986 (Rev. 1, 2001) (24 págs.) ISBN 84-95341-32-8. Referencia: GSG-10.03.

10.4 Garantía de calidad para la puesta en servicio de instalaciones nucleares.

CSN, 1987 (8 págs.) ISBN 84-87275-39-7. Referencia: GSG-10.04.

10.5 Garantía de calidad de procesos, pruebas e inspecciones de instalaciones nucleares.

CSN, 1987 (Rev. 1, 1999) (24 págs.) ISBN 84-95341-06-9. Referencia: GSG-10.05.

10.6 Garantía de calidad en el diseño de instalaciones nucleares.

CSN, 1987 (Rev. 1, 2002) (16 págs.) ISBN 84-95341-38-7. Referencia: GSG-10.06.

10.7 Garantía de calidad en instalaciones nucleares en explotación.

CSN, 1988 (Rev. 1, 2000) (20 págs.) ISBN 84-95341-17-4. Revisión: GSG-10.07.

10.8 Garantía de calidad para la gestión de elementos y servicios para instalaciones nucleares.

CSN, 1988 (Rev. 1, 2001) (24 págs.) ISBN 84-87275-42-7. Referencia: GSG-10.08.

10.9 Garantía de calidad de las aplicaciones informáticas relacionadas con la seguridad de las instalaciones nucleares.

CSN, 1998 (20 págs.) ISBN 84-87275-92-3. Referencia: GSG-10.09.

10.10 Cualificación y certificación de personal que realiza ensayos no destructivos.

CSN, 2000 (20 págs.) ISBN 84-95341-13-1. Referencia: GSG: 10.10.

10.11 Garantía de calidad en instalaciones radiactivas de primera categoría

CSN, 2001 (16 págs.) ISBN 84-95341-25-5. Referencia: GSG-10.11.

10.12 Control radiológico de actividades de recuperación y reciclado de chatarras.

CSN, 2003 (36 págs.) ISBN 84-95341-40-9. Referencia: GSG: 10.12.

10.13 Garantía de calidad para el desmantelamiento y clausura de instalaciones nucleares.

CSN, 2004 (28 págs.). Referencia: GSG: 10.13.

Las guías de seguridad contienen los métodos recomendados por el CSN, desde el punto de vista de la seguridad nuclear y protección radiológica, y su finalidad es orientar y facilitar a los usuarios la aplicación de la reglamentación nuclear española. Estas guías no son de obligado cumplimiento, pudiendo el usuario seguir métodos y soluciones diferentes a los contenidos en las mismas, siempre que estén debidamente justificados.

Los comentarios y sugerencias que puedan mejorar el contenido de estas guías se considerarán en las revisiones sucesivas.

La correspondencia debe dirigirse a la Oficina de Normas Técnicas y los pedidos al Servicio de Publicaciones. Consejo de Seguridad Nuclear, C/ Justo Dorado, 11, 28040-Madrid.