



# **PROCEDIMIENTOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA PARA LA MANIPULACION DE FUENTES NO ENCAPSULADAS UTILIZADAS EN LA INSTALACIÓN RADIATIVA CENTRAL (IRC) DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID (UCM)**

Documento elaborado por:

Supervisora IRC: Susana Menéndez Muñoz  
Operadora IRC: Antonia García Salinero  
(Revisado por Eliseo Vañó Carruana  
Director IRC)

Certificado por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales  
Universidad Complutense de Madrid

(UNA COPIA DE ESTOS PROCEDIMIENTOS DEBERÁ ENTREGARSE A TODAS LAS  
PERSONAS ANTES DE QUE INICIEN SU TRABAJO EN LA INSTALACIÓN)

VERSION PRELIMINAR MARZO 2009



## INDICE

Introducción.....	5
Legislación vigente.....	6
Bloque I: Radiaciones Ionizantes .....	7
Definición .....	9
Interacción con el organismo. Efectos biológicos.....	10
Irradiación y contaminación radiactiva. Exposición.....	12
Medida de las radiaciones ionizantes.....	13
Magnitudes y unidades de medida.....	13
Medidas de protección contra las radiaciones ionizantes.....	15
Limitación de dosis.....	15
Información y formación.....	15
Clasificación y delimitación de zonas.....	17
Clasificación de los trabajadores expuestos.....	18
Vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes.....	18
Normas básicas para el correcto uso de los dosímetros personales.....	19
Bloque II: Normas de Protección Radiológica.....	23
Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica.....	25
Nota técnica sobre eficiencias y factores de calibración de monitores utilizados en el control de contaminación superficial .....	25
Instrumentación y dispositivos de seguridad.....	26
Medidas básicas de protección radiológica.....	26
Normas básicas de protección radiológica con fuentes radiactivas no encapsuladas de baja actividad .....	27
Nota técnica sobre estimación de riesgos para usuarios de fuentes radiactivas no encapsuladas de iodo-125, tritio y carbono-14 .....	27
Características de los radionucleidos que se utilizan en la IRC.....	28
Bloque III.: Residuos radiactivos .....	33
Gestión de residuos.....	35
Normas básicas sobre residuos radiactivos.....	36
Nota técnica sobre valores máximos de actividades de los radionucleidos exentos de autorización y clasificación de IRAS .....	38
Nota técnica sobre valores máximos de exención de radionucleidos utilizados en la IRC.....	41
Nota informativa sobre sustancias para descontaminación radiactiva .....	42
Anexos .....	43
Solicitud del material radiactivo.....	45
Solicitud del dosímetro personal.....	46
Estudio realizado para la evacuación de residuos radiactivos sólidos como residuos convencionales .....	47
Plan de emergencia de la IRC .....	48
Reglamento de funcionamiento.....	53
Glosario de términos.....	57
Bibliografía.....	63



## *Introducción*

La peligrosidad de las radiaciones ionizantes hace necesario el establecimiento de medidas que garanticen la protección de los trabajadores expuestos, y el público en general, contra los riesgos resultantes de la exposición a las mismas. Ya en 1997, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), indicó que las radiaciones ionizantes sólo deben ser empleadas si su utilización está justificada, considerando las ventajas que representa en relación con el detrimento de la salud que pudiera ocasionar.

En el ámbito de la Unión Europea, el tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) establece que la Comunidad debe disponer de normas uniformes de protección sanitaria de los trabajadores y de la población en general contra los riesgos que resulten de las radiaciones ionizantes, así como de límites de dosis que sean compatibles con una seguridad adecuada, de niveles de contaminación máximos admisibles y de principios fundamentales de vigilancia sanitaria de los trabajadores.

En consecuencia, han emanado del Consejo sucesivas disposiciones de obligado cumplimiento para los Estados miembros, entre las que se encuentra la Directiva 96/29/EURATOM, que basándose en el considerable desarrollo de los conocimientos científicos relacionados con la protección radiológica y en los nuevos criterios recomendados en la publicación nº 60 y nº 103 del ICRP, establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población que resultan de las radiaciones ionizantes. Esta Directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español, mediante el RD 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes que es de aplicación a todas las prácticas que presenten un riesgo derivado de las mismas, tanto si su procedencia es de origen artificial como natural.

En el Reglamento se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes, adoptando criterios de estimación de dosis considerados razonables para proteger a las personas, independientemente de que se trate de una actividad laboral o de otras situaciones de exposición a radiaciones ionizantes.

La normativa vigente exige que además de la formación prevista en la sección 2.<sup>a</sup> del capítulo I del título V del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, Real Decreto 1836/1999 de 3 de diciembre, para la obtención de las licencias del personal que manipule material o equipos radiactivos o dirija dichas actividades, los titulares de las instalaciones que posean fuentes impartirán con periodicidad bienal un programa de formación para todos los trabajadores expuestos de la instalación, de acuerdo con lo previsto en artículo 21 del Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes y en el artículo 67 del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, en el que se incluirán sesiones relativas a la gestión segura de las fuentes, y a las posibles consecuencias de la pérdida de control y el modo de actuar en cada caso.

## *Legislación vigente*

- Ley 25/1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear
- Ley 15/1980, de 22 de abril, de creación del Consejo de Seguridad Nuclear
- Ley 33/2007, de 7 de noviembre, de reforma de la Ley 15/1980 que modifica las dos anteriores
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas
- Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes
- OM 11269 de 5 de junio de 2003, para la gestión de material radiactivo, ORDEN ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en las instalaciones radiactivas de 2.a y 3.a categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados, se establecen unos valores mínimos a partir de los cuales se consideran los residuos como radiactivos.
- REAL DECRETO 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.
- Ley 31/1995, 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales. BOE nº 269, de 10 de noviembre

### **Enlaces de interés**

- Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) [www.csn.es](http://www.csn.es)
- Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) [www.enresa.org](http://www.enresa.org)
- Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) [www.iaea.org](http://www.iaea.org)
- CIEMAT Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas [www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)



---

***Bloque I: Radiaciones Ionizantes***



### Definición

Se define una radiación como ionizante cuando al interactuar con la materia produce la ionización de la misma, es decir, origina partículas con carga eléctrica (iones). El origen de estas radiaciones es siempre atómico, pudiéndose producir tanto en el núcleo del átomo como en los orbitales y pudiendo ser de naturaleza corpuscular (partículas subatómicas) o electromagnética (rayos X, rayos gamma ( $\gamma$ )).

Las radiaciones ionizantes de naturaleza electromagnética son similares en naturaleza física a cualquier otra radiación electromagnética pero con una energía fotónica muy elevada (altas frecuencias, bajas longitudes de onda) capaz de ionizar los átomos. Las radiaciones corpusculares están constituidas por partículas subatómicas que se mueven a velocidades próximas a la de la luz.

Existen varios tipos de radiaciones emitidas por los átomos, siendo las más frecuentes: la desintegración, la desintegración " $\beta$ ", la emisión " $\gamma$ " y la emisión de rayos X y neutrones. Las características de cada radiación varían de un tipo a otro, siendo importante considerar su capacidad de ionización y su capacidad de penetración, que en gran parte son consecuencia de su naturaleza. En la figura 1 se representan esquemáticamente estas radiaciones.

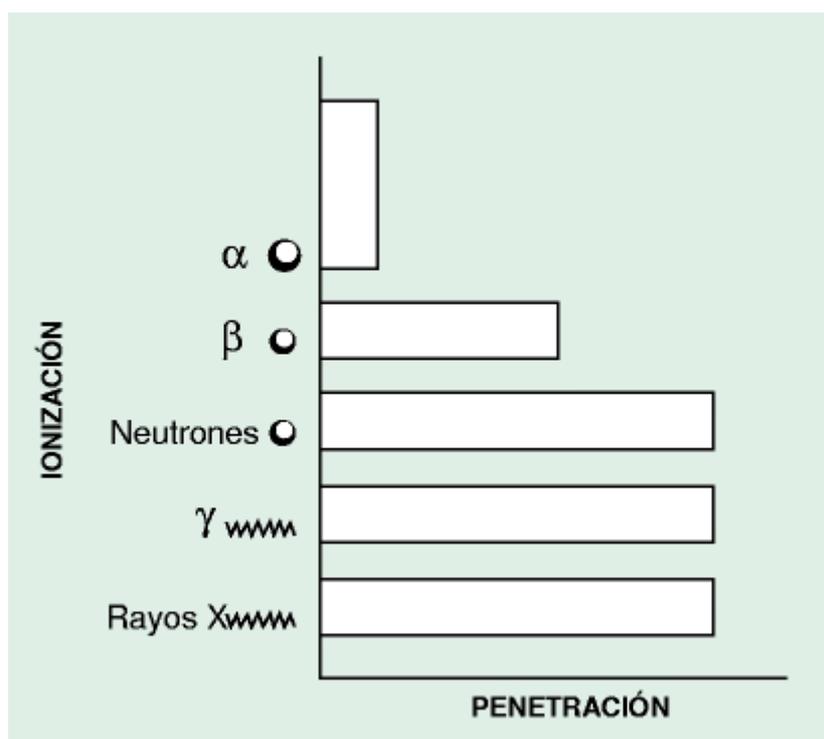


Figura 1.

### **Radiación alfa ( $\alpha$ )**

Son núcleos de helio cargados positivamente; tienen una energía muy elevada y muy baja capacidad de penetración y las detiene una hoja de papel.

### **Radiación Beta negativa ( $\beta^-$ )**

Son electrones emitidos desde el núcleo del átomo como consecuencia de la transformación de un neutrón en un protón y un electrón.

### **Radiación Beta positiva ( $\beta^+$ )**

Es la emisión de un positrón, partícula de masa igual al electrón y carga positiva, como resultado de la transformación de un protón en un neutrón y un positrón. Las radiaciones  $\beta$  tienen un nivel de energía menor que las radiaciones alfa, una capacidad de penetración mayor y son absorbidas por una lámina de metal.

### **Radiación de neutrones**

Es la emisión de partículas sin carga, de alta energía y gran capacidad de penetración. Los neutrones se generan en los reactores nucleares y en los aceleradores de partículas, no existiendo fuentes naturales de radiación de neutrones.

### **Radiación gamma ( $\gamma$ )**

Son radiaciones electromagnéticas procedentes del núcleo del átomo, tienen menor nivel de energía que las radiaciones  $\alpha$  y  $\beta$  y mayor capacidad de penetración, lo que dificulta su absorción por los apantallamientos.

### **Rayos X**

También son de naturaleza electromagnética pero se originan en los orbitales de los átomos como consecuencia de la acción de los electrones rápidos sobre la corteza del átomo. Son de menor energía pero presentan una gran capacidad de penetración y son absorbidos por apantallamientos especiales de grosor elevado.

## ***Interacción con el organismo. Efectos biológicos***

Desde el descubrimiento de los rayos X y los elementos radiactivos, el estudio de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes ha recibido un impulso permanente como consecuencia de su uso cada vez mayor en medicina, ciencia e industria, así como de las aplicaciones pacíficas y militares de la energía atómica. Como consecuencia, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, se han investigado más a fondo que los de prácticamente cualquier otro agente ambiental.

La energía depositada por las radiaciones ionizantes al atravesar las células vivas da lugar a iones y radicales libres que rompen los enlaces químicos y provocan cambios moleculares que dañan las células afectadas. En principio, cualquier parte de la célula puede ser alterada por la radiación ionizante, pero el ADN es el blanco biológico más crítico debido a la información genética que contiene. Una dosis absorbida lo bastante elevada para matar una célula tipo en división (2 Gy ver la definición más adelante), sería suficiente para originar centenares de lesiones reparables en sus

moléculas de ADN. Las lesiones producidas por la radiación ionizante de naturaleza corpuscular (protones o partículas alfa) son, en general, menos reparables que las generadas por una radiación ionizante fotónica (rayos X o rayos gamma). El daño en las moléculas de ADN que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en forma de mutaciones cuya frecuencia está en relación con la dosis recibida.

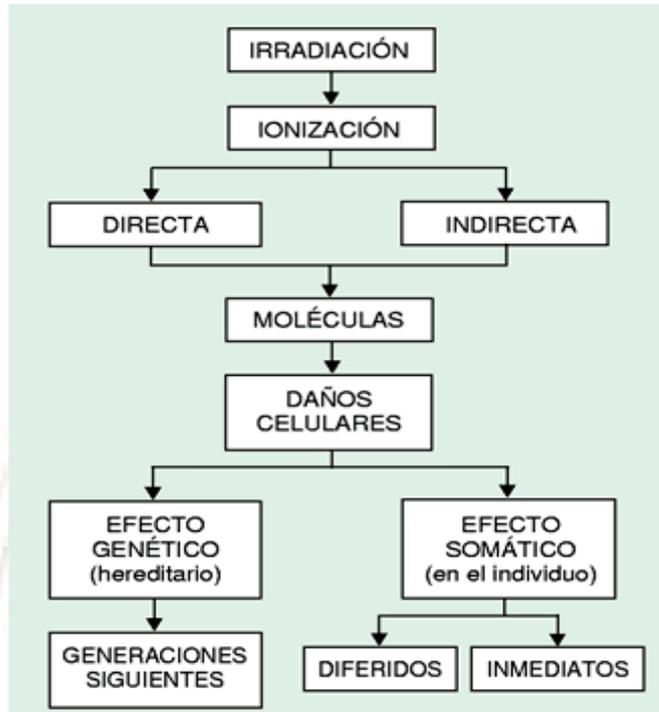


Figura 2.

Las lesiones producidas por irradiación pueden causar también cambios en el número y la estructura de los cromosomas, modificaciones cuya frecuencia aumenta con la dosis, de acuerdo con lo observado en supervivientes de la bomba atómica y en otras poblaciones expuestas a radiaciones ionizantes.

En consecuencia, el daño biológico puede producirse en el propio individuo (efecto somático) o en generaciones posteriores (efecto genético), y en función de la dosis recibida los efectos pueden ser inmediatos o diferidos en el tiempo, con largos periodos de latencia.

También es importante considerar la diferencia entre efectos "estocásticos" y "no estocásticos", según que la relación dosis-respuesta tenga carácter probabilístico, o bien el efecto se manifieste a partir de un determinado nivel de dosis, llamada dosis umbral. En el primer caso la probabilidad del efecto aumenta con la dosis y en el segundo, la gravedad aumenta con la dosis.

***Irradiación y contaminación radiactiva. Exposición***

Se denomina irradiación a la transferencia de energía la de un material radiactivo a otro material, sin que sea necesario un contacto físico entre ambos, y contaminación radiactiva a la presencia no deseada de materiales radiactivos en cualquier superficie, materia o medio, incluyendo las personas. Es evidente que toda contaminación da origen a una irradiación (fig. 3).

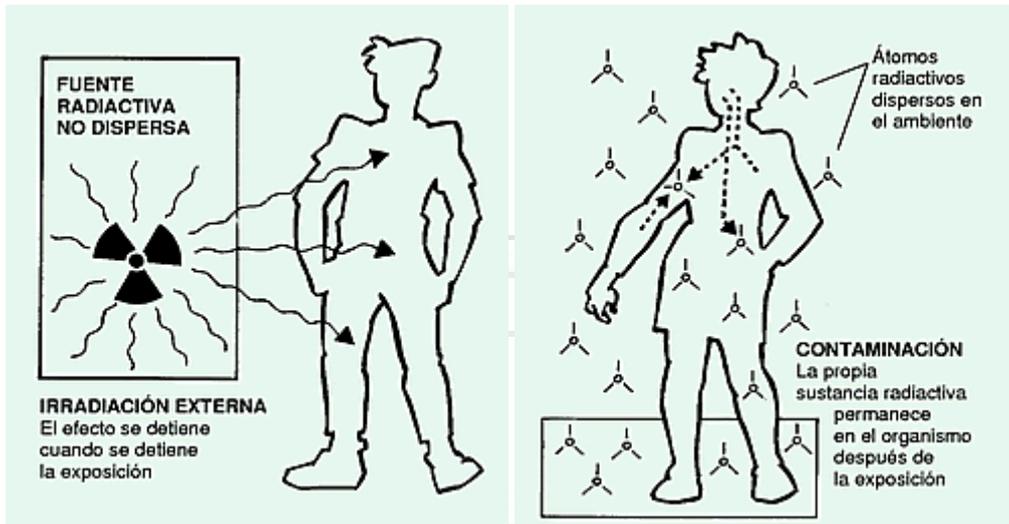


Figura 3.

**Irradiación externa**

Se dice que hay riesgo de irradiación externa cuando, por la naturaleza de la radiación y el tipo de práctica, la persona sólo está expuesta mientras la fuente de radiación está activa y no puede existir contacto directo con un material radiactivo. Es el caso de los generadores de rayos X, los aceleradores de partículas y la utilización o manipulación de fuentes encapsuladas.

**Contaminación radiactiva**

Cuando puede haber contacto con la sustancia radiactiva y ésta puede penetrar en el organismo por cualquier vía (respiratoria, dérmica, digestiva o parenteral) se habla de riesgo por contaminación radiactiva. Esta situación es mucho más grave que la simple irradiación, ya que la persona sigue estando expuesta a la radiación hasta que se eliminen los radionucleidos por metabolismo o decaiga la actividad radiactiva de los mismos.

En caso de contaminación radiactiva del organismo humano, según que los radionucleidos estén depositados en la piel, los cabellos o las ropas, o bien hayan penetrado en el interior del organismo, se considera contaminación externa o contaminación interna respectivamente. La gravedad del daño producido está en función de la actividad y el tipo de radiaciones emitidas por los radionucleidos.

**Exposición**

Se llama exposición al hecho de que una persona esté sometida a la acción y los efectos de las radiaciones ionizantes. Puede ser:

- ❖ **Externa**: exposición del organismo a fuentes exteriores a él.

- ❖ **Interna:** exposición del organismo a fuentes interiores a él.
- ❖ **Total:** suma de las exposiciones externa e interna.
- ❖ **Continua:** exposición externa prolongada, o exposición interna por incorporación permanente de radionucleidos, cuyo nivel puede variar con el tiempo.
- ❖ **Única:** exposición externa de corta duración o exposición interna por incorporación de radionucleidos en un corto periodo de tiempo.
- ❖ **Global:** exposición considerada como homogénea en el cuerpo entero.
- ❖ **Parcial:** exposición sobre uno o varios órganos o tejidos, sobre una parte del organismo o sobre el cuerpo entero, considerada como no homogénea.

### *Medida de las radiaciones ionizantes*

Los aparatos de detección y medida de las radiaciones ionizantes se basan en los fenómenos de interacción de la radiación con la materia. Teniendo en cuenta su funcionalidad, los instrumentos de medida se pueden clasificar como detectores de radiación o dosímetros.

#### **Detectores de radiación**

Son instrumentos de lectura directa, generalmente portátiles, que indican la tasa de radiación, es decir, la dosis por unidad de tiempo. Estos instrumentos son útiles para la medida de radiactividad ambiental o de contaminación radiactiva. La mayoría de estos medidores de radiación ionizante se basan en alguno de estos fenómenos: ionización de gases, excitación por luminiscencia o detectores semiconductores.

#### **Dosímetros**

Son medidores de radiación diseñados para medir dosis de radiación acumulada durante un periodo de tiempo y normalmente se utilizan para medir la dosis a que está expuesto el personal que trabaja, o que permanece en zonas en las que existe riesgo de irradiación. De acuerdo con el principio de funcionamiento pueden ser: de cámara de ionización, de película fotográfica o de termoluminiscencia. Estos últimos son los más utilizados, ya que permiten leer la dosis recibida y acumulada en un período largo de tiempo, normalmente de un mes.

### *Magnitudes y parámetros para la medida de la radiación*

#### **Actividad**

La actividad (A) de un radionucleido se define como el número de transformaciones nucleares espontáneas que se suceden en el mismo en la unidad de tiempo, siendo su unidad de medida en el sistema internacional (SI) el Bequerelio (Bq), que corresponde a una desintegración por segundo. La unidad en el sistema Cegesimal es el Curio (Ci) que equivale a  $3,7 \times 10^{10}$  Bq.

#### **Periodo de semidesintegración**

Es el tiempo necesario (T) para que la actividad de un radionucleido se reduzca a la mitad. Esta magnitud es muy variable de unos radionucleidos a otros: el Radio<sup>226</sup> (<sup>226</sup>Ra), por ejemplo, tiene un periodo de semidesintegración de  $1,6 \times 10^3$  años, mientras que el Yodo<sup>-131</sup> lo tiene de 8 horas.

### **Energía de la radiación**

La energía de la radiación ionizante se mide en electronvoltios (eV), con sus múltiplos, kiloelectronvoltios (keV,  $10^3$  eV) o megaelectronvoltios (MeV,  $10^3$  keV). El electronvoltio corresponde a la energía que adquiere un electrón cuando se aplica, en el vacío, una diferencia de potencial de 1 voltio y equivale a  $1,6 \times 10^{-19}$  Julios.

### **Dosis absorbida**

Es la cantidad de energía (D) cedida (y absorbida) por la radiación a la materia irradiada por unidad de masa. La unidad de medida en el sistema internacional es el Gray (Gy) que equivale a 100 rads. Cuando la energía de la radiación no es muy grande, la energía cedida y absorbida es prácticamente igual.

### **Dosis equivalente**

Es también una magnitud que considera la energía cedida por unidad de masa, pero considerando en parte el efecto biológico. Es el producto de la dosis absorbida (D) por un factor de ponderación de la radiación  $W_R$  (tabla 1). La unidad de medida es el Sievert (Sv) que equivale a 100 rems. El Sievert es una unidad muy grande para su utilización en protección radiológica y por esto se utilizan sus submúltiplos, el milisievert (mSv,  $10^{-3}$  Sv) y el microsievert ( $\mu$ Sv,  $10^{-6}$  Sv).

Tabla 1. Valores del factor de ponderación de la radiación  $W_R$

<b>TIPO Y RANGO DE ENERGÍA</b>		<b><math>W_R</math></b>
Fotones, todas las energías		1
Electrones y muones, todas las energías		1
Neutrones, de energía	<10 keV	5
	>10 keV a 100 keV	10
	➤ 100 keV a 2 MeV ➤	20
	➤ 2MeV a 20 MeV ➤	10
	➤ 20 MeV ➤	5
Protones, salvo los de retroceso, de energía > 2 MeV		5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados		20

### **Dosis efectiva**

Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones externas e internas.

## *Medidas de protección contra las radiaciones ionizantes*

Las medidas de protección radiológica contra las radiaciones ionizantes están recogidas en su mayor parte en el RD 783/2001 y se basan en el principio de que la utilización de las mismas debe estar plenamente justificada con relación a los beneficios que aporta, y ha de efectuarse de forma que el nivel de exposición y el número de personas expuestas sea lo más bajo posible, procurando no sobrepasar los límites de dosis establecidos para los trabajadores expuestos, las personas en formación, los estudiantes y los miembros del público.

Estas medidas consideran los siguientes aspectos:

- Evaluación previa de las condiciones laborales para determinar la naturaleza y magnitud del riesgo radiológico y asegurar la aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en diferentes zonas, considerando la evaluación de las dosis anuales previstas, el riesgo de dispersión de la contaminación y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales.
- Clasificación de los trabajadores expuestos en diferentes categorías según sus condiciones de trabajo.
- Aplicación de las normas y medidas de vigilancia y control relativas a las diferentes zonas y las distintas categorías de trabajadores expuestos, incluida, si es necesaria, la vigilancia individual.
- Vigilancia sanitaria.

## *Limitación de dosis*

La observación de los límites anuales de dosis constituye una medida fundamental en la protección frente a las radiaciones ionizantes. Los límites de dosis son valores que no deben ser sobrepasados y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa e interna en el periodo considerado.

Los límites de dosis actualmente en vigor, están referidos a un periodo de tiempo de un año oficial y diferencian entre trabajadores expuestos, personas en formación o estudiantes y miembros del público. También están establecidos límites y medidas de protección especial para determinados casos, como mujeres embarazadas y en período de lactancia y exposiciones especialmente autorizadas. (Ver tabla 2).

## *Información y formación*

El titular o, en su caso, la empresa externa debe informar, antes de iniciar su actividad, a sus trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes sobre:

- Los riesgos radiológicos asociados.
- La importancia del cumplimiento de los requisitos técnicos, médicos y administrativos.
- Las normas y procedimientos de protección radiológica, tanto en lo que se refiere a la práctica en general como al destino o puesto de trabajo que se les pueda asignar.
- Necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia.

Asimismo, también se debe proporcionar, antes de iniciar su actividad y de manera periódica, formación en materia de protección radiológica a un nivel adecuado a su responsabilidad y al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo.

Tabla 2. Límites de dosis (RD 783/2001)

<b>DOSIS EFECTIVA</b> <sup>(1)</sup>	<b>Personas profesionalmente expuestas</b>	<b>Trabajadores</b>	100 mSv/5 años oficiales consecutivos (máximo: 50 mSv/cualquier año oficial) <sup>(2)</sup>
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años) <sup>(3)</sup>	6 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años) <sup>(4)</sup>	1 mSv/año oficial
<b>DOSIS EQUIVALENTE</b>	Personas profesionalmente expuestas	Trabajadores	
		Cristalino	150 mSv/año oficial
		Piel <sup>(5)</sup>	500 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	500 mSv/año oficial
		Aprendices y estudiantes (entre 16 y 18 años)	
		Cristalino	50 mSv/año oficial
	Personas profesionalmente no expuestas	Piel <sup>(5)</sup>	150 mSv/año oficial
		Manos, antebrazos, pies y tobillos	150 mSv/año oficial
		Público, aprendices y estudiantes (menores de 16 años)	
		Cristalino	15 mSv/año oficial
<b>CASOS ESPECIALES</b>	Embarazadas (feto)	Debe ser improbable superar	1 mSv/embarazo
	Lactantes	No debe haber riesgo de contaminación radiactiva corporal	
<b>EXPOSICIONES ESPECIALMENTE AUTORIZADAS</b>	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A: en casos excepcionales las autoridades competentes pueden autorizar exposiciones individuales superiores a los límites establecidos, siempre que sea con limitación de tiempo y en zonas delimitadas.		

(1) Dosis efectiva: suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo procedentes de irradiaciones internas y externas.

(2) 10 mSv = 1 rem

(3) Sólo en caso de aprendices y estudiantes que por sus estudios estén obligados a utilizar fuentes radiactivas. En ningún caso se podrán asignar tareas a los menores de 18 años, que pudieran convertirlos en trabajadores expuestos

(4) Excepcionalmente se podrá superar este valor, siempre que el promedio durante 5 años consecutivos no sobrepase 1 mSv por año.

(5) Calculando el promedio en cualquier superficie cutánea de 1 cm<sup>2</sup>, independientemente de la superficie expuesta.

*Clasificación y delimitación de zonas*

El titular de la actividad debe clasificar los lugares de trabajo, considerando el riesgo de exposición y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las siguientes zonas:

**Zona controlada.** Zona en la que exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para cristalino, piel y extremidades. También tienen esta consideración las zonas en las que sea necesario seguir procedimientos de trabajo, ya sea para restringir la exposición, evitar la dispersión de contaminación radiactiva o prevenir o limitar la probabilidad y magnitud de accidentes radiológicos o sus consecuencias. Se señala con un trébol verde sobre fondo blanco.



Las zonas controladas se pueden subdividir en:

**Zona de permanencia limitada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol amarillo sobre fondo blanco.



**Zona de permanencia reglamentada.** Zona en la que existe el riesgo de recibir en cortos periodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis. Se señala con un trébol naranja sobre fondo blanco.

**Zona de acceso prohibido.** Zona en la que hay riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol rojo sobre fondo blanco.



**Zona vigilada.** Zona en la que, no siendo zona controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades. Se señala con un trébol gris/azulado sobre fondo blanco.



En caso de que el riesgo fuera solamente de irradiación externa, el trébol va bordeado de puntas radiales y si fuera de contaminación radiactiva el trébol está bordeado por un campo punteado. Si se presentan los dos riesgos conjuntamente el trébol está bordeado con puntas radiales sobre campo punteado.

### **Normas de acceso y permanencia**

El acceso a las zonas clasificadas estará limitado a personas autorizadas al efecto y que hayan recibido las instrucciones adecuadas en función al riesgo existente. En Zonas Controladas estas instrucciones serán acordes con los procedimientos de trabajo establecidos.

## *Clasificación de los trabajadores expuestos*

Los trabajadores se consideraran expuestos cuando puedan recibir dosis superiores a 1 mSv por año oficial y se clasificaran en dos categorías:

**Categoría A:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

**Categoría B:** personas que, por las condiciones en que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

## *Vigilancia médica de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes*

### **Vigilancia del ambiente de trabajo**

Teniendo en cuenta la naturaleza y la importancia de los riesgos radiológicos, en las zonas vigiladas y controladas se debe realizar una vigilancia del ambiente de trabajo que comprende:

La medición de las tasas de dosis externas, indicando la naturaleza y calidad de la radiación.

La medición de las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, especificando la naturaleza de las sustancias radiactivas contaminantes, así como su estado físico y químico.

Estas medidas pueden ser utilizadas para estimar las dosis individuales en aquellos casos en los que no sea posible o resulten inadecuadas las mediciones individuales.

### **Vigilancia individual**

Está en función de la categoría del trabajador y de la zona.

- ❖ Trabajadores expuestos de categoría A y en las zonas controladas.

Es obligatorio el uso de dosímetros individuales que midan la dosis externa, representativa de la dosis para la totalidad del organismo durante toda la jornada laboral. En caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea deben utilizarse dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. Si el riesgo es de contaminación interna, es obligatoria la realización de medidas o análisis pertinentes para evaluar las dosis correspondientes. Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos deben determinarse cuando las condiciones de trabajo sean normales, con una periodicidad no superior a un mes para la dosimetría externa, y con la periodicidad que, en cada caso, se establezca para la dosimetría interna, para aquellos trabajadores expuestos al riesgo de incorporación de radionucleidos.

- ❖ Trabajadores expuestos de categoría B.

Las dosis recibidas se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia del ambiente de trabajo. La vigilancia individual, tanto externa como interna, debe ser efectuada por Servicios de Dosimetría Personal expresamente autorizados por el Consejo de Seguridad Nuclear. El titular de la práctica o, en su caso, la empresa externa debe transmitir los resultados de los controles dosimétricos al Servicio de Prevención que desarrolle la función de vigilancia y control de salud de los trabajadores.

En caso de exposiciones accidentales y de emergencia se evalúan las dosis asociadas y su distribución en el cuerpo y se realiza una vigilancia individual o evaluaciones de las dosis individuales en función de las circunstancias. Cuando a consecuencia de una de estas exposiciones o de una exposición especialmente autorizada hayan podido superarse los límites de dosis, debe realizarse un estudio para evaluar, lo más rápidamente posible, las dosis recibidas en la totalidad del organismo o en las regiones u órganos afectados.

### ***Normas básicas para el correcto uso de los dosímetros personales***

1. El dosímetro personal de solapa es un dispositivo que permite estimar la dosis de radiación que se recibe en todo el organismo durante un cierto intervalo de tiempo. Debe llevarse puesto cuando se trabaja, pero debe mantenerse alejado de las fuentes de radiación cuando no se usa.
2. Se situará habitualmente en la solapa, a nivel del bolsillo superior de la bata. En caso de utilizar delantal plomado, el dosímetro se debe colocar debajo del mismo, de modo que lo cubra por completo; si alguna parte del dosímetro quedara fuera del delantal las lecturas resultantes del mismo serían incorrectas.

3. Si en determinado tipo de actuaciones, existe riesgo de que ciertas partes del cuerpo reciban una dosis de radiación significativamente mayor que otras, puede ser conveniente utilizar algún dosímetro adicional en estas zonas. Este es el caso de los dosímetros de muñeca y de hombro.
  - El dosímetro de muñeca se emplea para la determinación de la dosis en las manos cuando existe riesgo de recibir una dosis significativa. Su empleo se restringe consiguientemente a dichos casos, y serán asignados previo estudio de las condiciones de operación. Estos dosímetros son de tipo "Teledyne", y consisten en una banda roja autoadhesiva con Velcro, indicando en una etiqueta el nombre del usuario.
  - El dosímetro de hombro se emplea para la estimación de la dosis en cristalino cuando el modo de operación posibilita que se puedan alcanzar valores de dosis significativos. Su empleo se restringe consiguientemente a dichos casos, y serán asignados previo estudio de las condiciones de operación. Estos dosímetros son iguales a los de solapa y presentan sobre el nombre un punto rojo que indica que son para usarse en hombro (sobre el delantal plomado).
4. El uso del dosímetro es personal y restringido a la Instalación a la que está asignado. El usuario será directa y personalmente responsable de su dosímetro, no pudiendo transferirlo a ninguna otra persona. En caso de causar baja se debe devolver. Bajo ningún concepto el dosímetro podrá ser sacado de la institución, salvo en caso de que sea para su medida.

De acuerdo con el artículo 37 del Reglamento sobre Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes, Real Decreto 783/2001, se establece que: "Las personas profesionalmente expuestas que lo sean en más de una instalación estarán obligadas a dar cuenta expresa de tal circunstancia a los encargados de la protección de cada uno de los centros en los que trabajen, al objeto de que en todos ellos conste, actualizado y completo, su historial dosimétrico individual. A tal fin, el trabajador deberá comunicar en cada instalación los resultados dosimétricos que se le proporcionen en las demás. . .".

Procede por tanto que los trabajadores expuestos comuniquen esta información a la instalación nueva donde van a trabajar. Si una persona trabaja simultáneamente en dos instalaciones de Centros distintos, deberá utilizar dos dosímetros que registren sus dosis de forma independiente.

5. No se debe abrir el dosímetro, además de dañarlo, puede dar origen a lecturas incorrectas. Si por accidente fortuito se rompiera la envoltura, se devolverán inmediatamente, dentro de un sobre, las distintas partes del dosímetro. Si en alguna ocasión existe alguna lectura anómala, se comunica directamente al usuario. En caso contrario, se sobreentiende que las lecturas son consideradas normales. No obstante, se recuerda que todo trabajador expuesto a radiaciones ionizantes, tiene derecho a conocer en todo momento su historial dosimétrico.
6. El dosímetro se debe enviar para su medida cada mes ya que, aunque acumula las dosis recibidas entre dos lecturas, si no se regenera con frecuencia aumenta la incertidumbre de la medida. Además el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (*Real Decreto 783/2001*) exige que la lectura de los dosímetros sea mensual, en determinados casos.

El dosímetro deberá cambiarse en los plazos recomendados. Será responsabilidad individual de cada P.P.E. el cambio mensual de dosímetro. Dicho cambio deberá realizarse entre los días 1 y 5 de cada mes a través de la persona designada en cada Departamento para este fin.

7. Si en alguna ocasión el usuario se somete como paciente a alguna exploración radiológica, deberá quitarse previamente el dosímetro y mantenerlo alejado del haz de radiación.
8. Registro y notificación de los resultados.

El historial dosimétrico de los trabajadores expuestos, los documentos correspondientes a la evaluación de dosis y a las medidas de los equipos de vigilancia, así como los informes referentes a las circunstancias y medidas adoptadas en los casos de exposición accidental o de emergencia, deben ser archivados por el titular, hasta que el trabajador haya o hubiera alcanzado la edad de 75 años, y nunca por un período inferior a 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador.

El titular debe facilitar esta documentación al Consejo de Seguridad Nuclear y, en función de sus propias competencias, a las Administraciones Públicas, en los supuestos previstos en las Leyes, y a los Juzgados y Tribunales que lo soliciten.

En el caso de cese del trabajador el titular debe facilitarle una copia certificada de su historial dosimétrico. A los trabajadores expuestos de categoría A se les abrirá un historial médico, que debe mantenerse actualizado durante todo el tiempo que el trabajador pertenezca a dicha categoría y que debe archivar hasta que el trabajador alcance los 75 años y, nunca por un período inferior a 30 años desde el cese de la actividad, en los Servicios de Prevención que desarrollen las funciones de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

Tabla 3. Protección radiológica de los trabajadores expuestos (RD 783/2001)

<b>Posibilidad de exposición</b>	<b><math>1 \text{ mSv} &lt; \text{Dosis anual} \leq 6 \text{ mSv}</math></b>	<b><math>\text{Dosis anual} &gt; 6 \text{ mSv}</math></b>
<b>Clasificación de trabajadores</b>	Clase B	Clase A
<b>Clasificación de zonas</b>	Vigilada	Controlada
<b>Vigilancia del ambiente de trabajo</b>	Sí Dosimetría de área	Sí Si hay riesgo de contaminación: EPI y detectores de radiación obligatorios
<b>Vigilancia individual</b>	No	Sí Dosimetría personal
<b>Vigilancia específica de la salud</b>	No	Sí Inicial y anual
<b>Nota: Por debajo de una dosis anual de 1 mSv se considera que no hay exposición</b>		



***Bloque II: Normas de Protección Radiológica***

---



## *Evaluación y aplicación de las medidas de protección radiológica*

El titular de la práctica es responsable de que el examen y control de los dispositivos y técnicas de protección, así como de los instrumentos de medición, se efectúen de acuerdo con los procedimientos establecidos. En concreto debe comprender:

- El examen crítico previo de los proyectos de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La autorización de puesta en servicio de fuentes nuevas o modificadas desde el punto de vista de la protección radiológica.
- La comprobación periódica de la eficacia de los dispositivos y técnicas de protección.
- La calibración, verificación y comprobación periódica del buen estado y funcionamiento de los instrumentos de medición.

Todo ello se realiza con la supervisión del Servicio de Protección Radiológica o la Unidad Técnica de Protección Radiológica, o en su caso, del Supervisor o persona que tenga encomendadas las funciones de protección radiológica. La obligatoriedad de disponer de una u otra figura lo decide, en cada caso, el Consejo de Seguridad Nuclear en función del riesgo radiológico existente y deben estar autorizados por el mismo.

## *Nota técnica sobre eficiencias y factores de calibración de monitores utilizados en el control de contaminación superficial*

Los monitores de radiación pueden en ocasiones ser utilizados como monitores de contaminación, utilizando para ello una sonda apropiada.

Las sondas pueden ser de distintos tipos de detectores (contadores Geiger, contadores proporcionales, contadores de centelleo, etc.), y dependerá de la eficiencia y geometría que tenga cada una de las sondas, para que el número de cuentas por minuto que refleje el monitor se corresponda con una cantidad distinta de  $\text{Bq}/\text{cm}^2$  del contaminante que se pretenda medir.

Es obvio que este factor de calibración o de correspondencia entre el número de cuentas/minuto que señale el monitor y la cantidad de  $\text{Bq}/\text{cm}^2$  existente, dependerá del tipo de radionucleido de que se trate, ya que en general las sondas captan con mayor eficiencia las partículas beta de más energía que las muy débiles, como sería el caso del C-14.

Por eso procede conocer estos factores de calibración o de eficiencia cuando se selecciona un tipo determinado de monitor en una Instalación Radiactiva, y sobre todo para reflejar los resultados de los controles que se realicen (que normalmente en los monitores convencionales vendrán indicados en cuentas por minuto captadas por el detector), con la cantidad real de  $\text{Bq}/\text{cm}^2$  que podrá existir de ese contaminante concreto.

Si una misma sonda se utiliza para el control de contaminaciones de distintos radionucleidos, procederá conocer la relación entre las cuentas por minuto y los  $\text{Bq}/\text{cm}^2$  de cada uno de los contaminantes.

Los fabricantes o suministradores a los que se les compre este tipo de monitores, deberían de aportar estos factores de calibración, ya que sin ellos el trabajo adicional de los usuarios puede ser

significativo si no disponen de procedimientos para preparar fuentes de calibración apropiadas que tengan homogéneamente distribuida una cierta cantidad de Bq/cm<sup>2</sup> de radionucleido patrón.

### *Instrumentación y dispositivos de seguridad*

A continuación se enumeran algunos instrumentos y dispositivos de seguridad que, lógicamente, estarán en unos u otros laboratorios dependiendo del grado de complejidad de éstos y del tipo de radioisótopos utilizados.

- vitrinas de gases
- caja de guantes
- cajas blindadas (necesarias para trabajar con radionúcleidos emisores gamma; armario gammateca)
- Equipos de protección corporal:
- batas
- calzas
- delantales plomados
- guantes de látex
- guantes plomados
- gafas de plástico (para emisores beta de baja energía)
- gafas de cristales de vidrio (para emisores beta de alta energía)
- gafas de vidrio plomado (para emisores gamma)
- pantallas faciales
- máscaras buconasales (para evitar inhalación)

### *Medidas básicas de protección radiológica*

Aparte de los aspectos comentados, en función del tipo de riesgo de exposición, ya sea de irradiación externa o de contaminación radiactiva, deben observarse las denominadas medidas básicas de protección radiológica.

#### **Irradiación externa**

En este caso, en el que no hay un contacto directo con la fuente, las medidas de protección consisten en:

- Limitar el tiempo de exposición.
- Aumentar la distancia a la fuente, ya que la dosis disminuye de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.
- Apantallamiento de los equipos y la instalación.

#### **Contaminación radiactiva**

En este caso hay o puede haber contacto directo con la fuente, por lo que las medidas preventivas se orientan a evitarlo. Como norma general, el personal que trabaja con fuentes radiactivas no encapsuladas debe conocer de antemano el plan de trabajo, los procedimientos y las personas que van a efectuar las distintas operaciones. El plan de trabajo debe contener información sobre medidas preventivas que deben tomarse:

- Procedimientos de descontaminación.
- Gestión de residuos radiactivos.

- Actuación en caso de incidente o accidente.
- El plan de emergencia.

Las medidas específicas de protección contra la contaminación radiactiva dependen de la radiotoxicidad y actividad de los radionucleidos y se establecen actuando, tanto sobre las estructuras, instalaciones y zonas de trabajo, como sobre el personal, mediante la adopción de métodos de trabajo seguros y, si es necesario, el empleo de equipos de protección individual adecuados.

***Normas básicas de protección radiológica con fuentes radiactivas no encapsuladas de baja actividad***

- 1.- Mantener siempre las fuentes radiactivas en los lugares previstos y debidamente señalizadas.
- 2.- Cubrir las superficies de trabajo con papel absorbente y/o bandeja desechable. Las superficies deben ser sin grietas, no absorbentes y fácilmente lavables.
- 3.- Utilizar guantes desechables.
- 4.- No pipetear nunca con la boca.
- 5.- No comer, beber, fumar ni utilizar productos cosméticos, en las zonas donde se trabaje con materiales radiactivos.
- 6.- Siempre que se manipulen actividades apreciables y de forma continuada, deben utilizarse vitrinas con ventilación forzada.
7. - Manipular y trasladar el material radiactivo en bandejas que limiten el efecto de un posible derrame.
- 8.- Lavarse cuidadosamente las manos al finalizar el trabajo con materiales radiactivos.
9. - En el caso de un derrame accidental de material radiactivo, secar con papel absorbente y lavar varias veces después la superficie y objetos contaminados, desechando el material utilizado en la limpieza como residuo radiactivo.
- 10.- Siempre que sea posible, realizar un control de contaminación con un monitor apropiado, de la superficie de trabajo, manos y ropas, al finalizar la manipulación de fuentes radiactivas no encapsuladas.

***Nota técnica sobre estimación de riesgos para usuarios de fuentes radiactivas no encapsuladas de iodo-125, tritio y carbono-14***

El H-3 tiene un periodo de 12,35 años, una energía máxima de la radiación beta que emite, de 0,0186 MeV y no emite radiación gamma.

El C-14 tiene 5.730 años de periodo, energía beta máxima de 0,156 MeV y tampoco emite radiación gamma.

El I-125 tiene 60 días de periodo y se desintegra por captura electrónica. Emite fotones de 35 keV (7%) y rayos X del Teluro, de energía comprendida entre 27 y 32 keV (138%).

La constante específica de tasa de exposición se estima en 0,7 R/h y mCi a 1 cm.

El riesgo principal de estos radionucleidos es la contaminación. El riesgo de irradiación con actividades moderadas, es despreciable.

Una estimación de la exposición que recibiría a nivel de piel en tórax, un usuario que manejara 1 mCi de I-125 durante una hora al día, sería la siguiente:

$$0,7/50 \exp(2) = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ R/h} = 0,28 \text{ mR/h}$$

Se supone que el tórax, está separado 50 cm de la fuente:

$$20 \text{ días} \times 0,28 \text{ mR/día} = 5,6 \text{ mR/mes a nivel de piel.}$$

Un dosímetro personal suele medir a partir de 20 mrem/mes (0,2 mSv/mes), luego la dosis que supondría (muy superficial por la baja energía de los fotones) no sería detectable por el dosímetro.

Para detectar del orden de 40 mrem/mes (0,4 mSv/mes, superficial y en tórax), sería necesario manejar 1 mCi durante 8h/día, o 8 mCi durante 1 hora al día.

Por supuesto la radiación beta del tritio y carbono-14 no son detectables por el dosímetro personal de solapa.

Se concluye por tanto que no es necesario que los usuarios de estos radionucleidos y actividades, utilicen dosímetro personal convencional.

La estimación del riesgo de irradiación (en manos sobre todo) y contaminación, debe realizarse por procedimientos indirectos, conociendo los detalles de los métodos de trabajo.

### *Características de los radionucleidos que se utilizan en la IRC*

#### **I-125**

Periodo: 59.6 días.

Tipo de desintegración: captura electrónica.

Principal emisión: los fotones de mayor intensidad son de 27 (115%), 30 (20%) y 35 (6,7%) keV.

Constante específica de tasa de exposición: 0,7 R/h y mCi a 1 cm.

Tasa de dosis de una fuente puntual de 1 GBq a 1 m: 41  $\mu$ Sv/h (4.1 mrem/h).

Primera capa hemirreductora: 0.02 mm de Pb.

Consideraciones especiales:

El principal problema del trabajo con este radionucleido es la volatilización, las soluciones de Iodo no deben hacerse ácidas ni almacenarse congeladas ya que ambos procesos conducen a la formación de iodo elemental volátil. También es recomendable el uso de doble guante ya que algunos compuestos de iodo pueden atravesar los guantes de goma quirúrgicos.

#### **H-3**

Periodo: 12,35 años.

Principal emisión: beta negativa (energía máxima de 18.6 keV), sin emisión de radiación gamma.

Alcance máximo en aire: 6 mm.

Alcance máximo en agua:  $6 \times 10^{-3}$  mm.

Tipo de blindaje requerido: ninguno.

Consideraciones especiales:

El tritio a causa de su baja energía beta prácticamente no puede ser monitorizado directamente y por tanto hay que extremar las precauciones de limpieza y orden en las zonas de trabajo. Se pueden realizar controles de contaminación periódicos mediante frotis. El tritio puede ser absorbido a través de la piel, por lo que se deben llevar guantes. La contaminación externa, aunque no suponga un riesgo por irradiación importante, debe ser mantenida tan baja como sea posible ya que puede conducir a contaminación interna, más peligrosa. Los precursores el DNA, como la timidina tritiada son más tóxicos que el agua tritiada porque la actividad se concentra en el núcleo celular.

### **C-14**

Periodo: 5730 años.

Principal emisión: beta negativa de 0.156 MeV (máx.).

Alcance máximo en aire: 24 cm.

Alcance máximo en agua: 0.28 mm.

Blindaje: 1 cm perspex/plexiglás.

Consideraciones especiales:

Algunos compuestos orgánicos pueden ser absorbidos por los guantes. Se debe evitar la generación de dióxido de carbono que podría ser inhalado.

### **P-32**

Periodo: 14,28 días.

Principal emisión: beta negativa con energía máxima de 1,709 MeV y energía media de 695 keV, sin emisión de radiación gamma.

Alcance máximo en aire: 790 cm.

Alcance máximo en agua: 0.8 cm.

Tipo de blindaje requerido: 1 cm Perspex.

Tasa de dosis de 1 MBq en 1 ml: 210 mSv/h en la superficie, 2.5 µSv/h a 1 m.

Consideraciones especiales:

El P-32 es el radionucleido con emisión beta de mayor energía que se suele encontrar en los laboratorios. Se debe reducir el tiempo de exposición al máximo. En caso de manejar actividades elevadas puede ser aconsejable el uso de guantes de látex plomados (de tipo radioquirúrgico).

### **S-35**

Periodo: 87.4 días.

Principal emisión: beta de 0.167 MeV (máx.)

Alcance máximo en aire: 26 cm.

Alcance máximo en agua: 0.32 mm.

Blindaje: 1 cm perspex/plexiglás.

Precauciones especiales:

Es importante considerar que los compuestos orgánicos son a menudo fuertemente retenidos y no se han establecido límites de exposición para ello. Es preciso tener la precaución de no generar dióxido de azufre o anhídrido sulfúrico que podría ser inhalado. La radiolisis de aminoácidos marcados durante el almacenamiento y uso pueden conducir a la liberación de impurezas de S-35 volátil. Aunque el nivel de estas impurezas es pequeño (habitualmente por debajo del 0.05%) se puede contaminar la superficie interna de los envases de almacenamiento y reacción, por tanto los viales deberían ser abiertos y usados en áreas ventiladas.

### **Ca-45**

Periodo: 163 días.

Principal emisión: beta de 0.257 MeV (máximo)

Alcance máximo en aire: 52 cm.

Alcance máximo en agua: 0.62 mm.

Blindaje: 1 cm perspex/plexiglás.

Consideraciones especiales:

En caso de incorporación el Ca-45 se deposita mayoritariamente en hueso y es retenido con un periodo biológico largo.

### **Cr-51**

Periodo: 27.7 días.

Principal emisión: gamma (9.8%) de 0.32 MeV, rayos X de 5 keV (22% V-51 rayos X K)

Tasa de dosis de una fuente puntual de 1 GBq a 1 m: 4.7  $\mu$ Sv/h (0.47 mrem/h).

Primera capa hemirreductora: 3 mm de plomo (aprox.).

Consideraciones especiales:

El Cr-51 en forma de cromato no es absorbido selectivamente por ningún órgano en caso de incorporación.

### **Tc-99m**

Periodo: 6 horas.

Principal emisión: se desexcita al nivel fundamental emitiendo fotones de 140,5 keV con una intensidad de 87,2 %.

Constante específica de tasa de exposición: 0,6 R/h y mCi a 1 cm (Según otras fuentes bibliográficas hasta 0,78 R/h y mCi a 1cm).

Capa Hemirreductora (HVL) de 0,3 mm de plomo.

### **In-111**

Periodo: 2,8 días

Principal emisión: Se desintegra por captura electrónica, las energías de los fotones de mayor intensidad son: 173 y 245 keV.

### **I-123**

Periodo: 13 horas.

Principal emisión: se desintegra por captura electrónica. La energía de los fotones de mayor intensidad es de 159 keV.

### **I-131**

Periodo: 8 días.

Principal emisión: se desintegra por vía beta negativa. La energía de los fotones de mayor intensidad es de 364 keV (81,2%).

Constante específica de tasa de exposición: 2,2 R/h y mCi a 1 cm.

HVL para plomo 3 mm (4 cm en hormigón)

**Cs-137**

Periodo: 30,17 años.

Principal emisión: beta negativa a Ba-137 (Z=56). Se alimenta un nivel excitado de 661 keV (con una intensidad del 94,6% y con energía beta máxima de 514 keV). Emite radiación gamma de 662 keV con una intensidad del 85%).

Constante específica de tasa de exposición: 3,3 R/h y mCi a 1 cm.

HVL de 6,3 mm de plomo, 4,9 cm para hormigón



***Bloque III.: Residuos radiactivos***

---



## *Gestión de residuos*

Se considera residuo radiactivo a cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones superiores a las establecidas por el Ministerio de Industria y Energía (MIE) previo informe del CSN (Ley 40/94, de Ordenación del Sistema Eléctrico Nacional).

La gestión de los residuos radiactivos debe basarse en el principio de responsabilidad del productor, que debe tomar las medidas necesarias para que la eliminación de los mismos no sea ningún peligro para las personas y el medio ambiente, entregándolos a un gestor autorizado por el CSN. En España la única empresa autorizada para la gestión y tratamiento de residuos radiactivos es ENRESA.

Existen fundamentalmente dos vías para la gestión de residuos radiactivos:

- Desclasificación y evacuación por la vía convencional.
- Gestión a través de una empresa autorizada (ENRESA).

Dentro de la primera vía debe distinguirse entre aquellos residuos que pueden evacuarse directamente por rutas convencionales y los que han de esperar un tiempo para su decaimiento.

En el caso de fuentes encapsuladas pertenecientes a equipos homologados por el MIE, es recomendable la devolución al suministrador, evitando la consideración de las mismas como residuos radiactivos.

Los residuos radiactivos deben almacenarse en recipientes cuyas características proporcionen una protección suficiente contra las radiaciones ionizantes, como son las condiciones del lugar de almacenamiento y la posible dispersión o fuga del material radiactivo. Estos deben estar convenientemente señalizados. Asimismo, también se indica que el titular debe llevar un registro por duplicado de cada recipiente en el que se consignarán los datos fisicoquímicos, la actividad, así como los valores máximos del nivel de exposición, en contacto y a un metro de distancia del recipiente, y la fecha de la última medición efectuada.

El Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas (RD 1836/1999), hace referencia a la eliminación y tratamiento de sustancias radiactivas procedentes de cualquier instalación nuclear o radiactiva, indicándose que está sujeta a la autorización por la Dirección General de la Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear. No obstante la eliminación, el reciclado o la reutilización de dichas sustancias o materiales pueden ser liberados de este requisito anterior, siempre que contengan o estén contaminados con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad iguales o inferiores a los establecidos por el MIE en relación con la definición de residuo radiactivo a que hace referencia la disposición adicional cuarta de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico.

## *Normas básicas sobre residuos radiactivos*

### **INTRODUCCION**

Los residuos radiactivos son materiales que se desechan por no ser útiles, constituidos por sustancias radiactivas y productos contaminados con sustancias radiactivas.

En estas normas se han tenido en cuenta las recomendaciones y criterios de aceptación de residuos de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. (ENRESA).

### **NORMAS GENERALES**

1. No se mezclarán residuos radiactivos con otros tipos de residuos inactivos.
2. Se procurará que la producción de residuos sea mínima, mejorando en lo que sea posible los métodos de operación, descontaminación, limpieza, etc.
3. Los productos biológicos (heces, sangre, orina, etc) requerirán para su evacuación un estudio previo, caso por caso, por parte de ENRESA. Los cadáveres de animales conteniendo productos radiactivos deberán congelarse envueltos en papel plástico transparente, que permita visualizar su contenido. La evacuación de los mismos, previa solicitud, se realizará en recipientes isotérmicos facilitados por ENRESA en el momento de la retirada.
4. Los residuos radiactivos deben almacenarse debidamente señalizados y controlados hasta su recogida y traslado al Almacén de residuos de la IRC, realizado bajo la supervisión del personal de la Instalación.
5. La evacuación de residuos al exterior se realizará únicamente desde el Almacén de residuos de la IRC, previo control por parte del personal de la Instalación.
6. En cada departamento y de acuerdo con la normativa vigente, se llevará un registro de residuos radiactivos anotando el tipo de radionucleido, las cantidades, actividades aproximadas, y fechas en que se producen.
7. No se recogerán ni trasladarán los residuos radiactivos que no cumplan las especificaciones particulares detalladas a continuación y exigidas por ENRESA:
  - Se separarán los residuos sólidos de los líquidos, como regla general, pudiendo producirse residuos mixtos en casos especiales.
  - No se mezclarán los residuos líquidos de tipo orgánico (aceites, disolventes, etc.) con los de tipo acuoso.
  - Se separarán en bolsas y unidades de contención distintas, los residuos de naturaleza metálica de aquellos que no lo son (papeles, guantes, etc.). Se separarán igualmente los residuos punzantes o cortantes (vidrio, etc.).
  - Se separarán los residuos de radionucleidos de período corto (inferior a 30 días), de aquellos de período más largo, almacenando cada uno por separado.
  - Se señalará cada unidad de contención de residuos (bolsa, caja, etc.), con una etiqueta que indique el carácter radiactivo del residuo. Si el material existente en la unidad de contención tuviese además riesgo biológico, se deberá adherir también una etiqueta correspondiente al riesgo biológico. En la etiqueta de la unidad de contención deberá figurar el tipo de radionucleido, la actividad aproximada, fecha de cierre e identificación de quien lo produce.

## **RESIDUOS LIQUIDOS**

Se deberá utilizar un contenedor para cada radionucleido

Los residuos líquidos que contengan H-3, C-14, P-32, deberán ser recogidos en recipientes específicos, separados del resto de residuos líquidos.

Los residuos líquidos de I-125 se almacenarán hasta que su actividad decaiga lo suficiente como para poderlos evacuar con una dilución razonable.

Las unidades de contención para residuos líquidos homologadas son suministradas por ENRESA, tienen 25 litros de capacidad, y deben ser utilizadas únicamente para líquidos. No se debe introducir ningún sólido sobrenadante, ni papeles de filtro, etc. Una vez completado cada uno de los envases, se debe identificar con la etiqueta correspondiente conteniendo los datos señalados anteriormente. Por exigencia de ENRESA se hará constar además la composición química del líquido.

Por indicación de ENRESA, procede que el contenido de estos recipientes sea neutro, por lo que corresponde realizar un control del pH de estos residuos procediendo a neutralizarlos cuando se obtenga un pH ácido o básico.

Es necesario tener las siguientes precauciones con las unidades de contención de residuos líquidos (especialmente los liposolubles):

- Se colocará bajo la unidad de contención una bandeja con objeto de prevenir contaminación por posibles fugas de la misma.
- Las unidades de contención se colocarán alejadas de fuentes de calor (radiadores, etc.), verificando periódicamente que la presión interior no sea elevada, debido a la posible producción de vapores.
- Se utilizarán los recipientes entregados por la Instalación. No se almacenarán residuos líquidos orgánicos en recipientes de plástico.

## **RESIDUOS SÓLIDOS**

Para la contención de residuos sólidos heterogéneos no punzantes, las unidades de contención homologadas por ENRESA son bolsas de plástico de polietileno con una capacidad máxima de 25 litros. Es importante no introducir en este tipo de recipientes objetos cortantes o punzantes (vidrio, etc.). Una vez que la bolsa esté suficientemente llena (sin sobrepasar la línea que indica el nivel máximo de llenado), se cerrará herméticamente con cinta adhesiva y se identificará de la forma indicada anteriormente.

En el caso de residuos que puedan ser almacenados para su decaimiento en el Almacén de residuos de la IRC y no sea precisa su evacuación por ENRESA, como son los residuos de baja actividad o de periodo corto (inferior a 30 días) (tubos de ensayo con residuos de baja actividad de I-125 o Tc-99m por ejemplo) se introducirán en bolsas de plástico convencionales. Se cerrarán herméticamente con cinta adhesiva tras su llenado y se etiquetarán indicando el radionucleido, actividad aproximada, fecha de cierre e identificación de procedencia (nombre de usuario y Departamento).

Las unidades de contención para agujas hipodérmicas homologadas y suministradas por ENRESA son cajas de plástico rígido. Deben ser utilizadas exclusivamente para agujas hipodérmicas con contaminación radiactiva. No se deben introducir jeringuillas, viales rotos, algodones, líquidos, etc. Una vez completadas, se sellará el cierre con la etiqueta adhesiva dispuesta para tal fin en la cubierta superior de la caja. Posteriormente se introducirán en bolsas para residuos sólidos hasta agotar la capacidad de las mismas, procediendo a su etiquetado indicando tipo de radionucleidos contaminantes, actividad estimada, fecha y procedencia.

Los residuos sólidos puntiagudos que puedan desgarrar las bolsas plásticas, deberán almacenarse en unidades de contención rígidas de cartón, plástico, madera o materiales similares.

Los residuos de vidrio se consideran como punzantes aunque estén íntegros, ya que en el caso de romperse desgarrarían las bolsas de plástico. Por lo tanto deberán separarse del resto de residuos sólidos y almacenarse en cajas de cartón.

Los residuos que sean sustancias en polvo, deben introducirse en pequeñas bolsas de plástico y cerrarse herméticamente para evitar mezclas con el resto de materiales.

### **OTROS RESIDUOS**

El resto de residuos que quedan fuera de la denominación de radiactivos (desclasificados u otros tipos) se gestionarán por el procedimiento establecido en cada Departamento para su evacuación por parte de la Empresa BEFESA.

Si sus residuos no responden a ninguna de estas especificaciones, consulte al personal de la Instalación.

*Nota técnica sobre valores máximos de actividades de los radionucleidos exentos de autorización y clasificación de IRAS*

(Según Real Decreto 1836/1999 de 3 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, BOE de 31 de Diciembre 1999).

No tendrán consideración de instalaciones radiactivas aquellas en que intervengan sustancias radiactivas con las siguientes condiciones:

- La actividad no supera en total los valores de exención indicados en la segunda columna de la tabla A del anexo I del Real Decreto 1836/1999.
- La actividad por unidad de masa no excede los valores de exención indicados en la tercera columna de la tabla A del anexo I del Real Decreto 1836/1999.
- Aparatos que contengan sustancias radiactivas que superen las actividades o los valores de actividad por unidad de masa que se especifican en los puntos 1 y 2, siempre y cuando correspondan a un tipo aprobado por el Ministerio de Industria y Energía, de acuerdo con lo establecido en el anexo II del Real Decreto 1836/1999. La resolución de aprobación deberá especificar las condiciones para su eliminación.

- Material contaminado con sustancias radiactivas procedentes de evacuaciones autorizadas, que hayan sido declaradas por el Ministerio de Industria y Energía, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear, como no sometidas a controles posteriores.

A efectos de clasificación de las instalaciones radiactivas en categorías, se considerará como referencia de actividad exenta por nucleido la contenida en la segunda columna de la tabla A del anexo I del Real Decreto 1836/1999, de forma que:

1. Serán de tercera categoría las instalaciones en que intervenga una actividad superior a la de exención en inferior a mil veces ésta.
2. Serán de segunda categoría aquellas en que la actividad sea igual o superior a mil veces la de exención.
3. En los casos de mezcla de isótopos, si la suma de los cocientes entre la actividad presente de cada isótopo y la de exención se sitúa entre uno y mil, la instalación será de tercera categoría y si es igual o superior a mil, de segunda.



Se adjunta un resumen de la tabla A del anexo I del Real Decreto 1836/1999 con los radionucleidos más habituales en aplicaciones médicas:

Nucleido	Actividad (Bq)	Actividad por unidad de masa (kBq/kg)
H-3	$10^9$	$10^6$
C-14	$10^7$	$10^3$
P-32	$10^5$	$10^3$
S-35	$10^8$	$10^5$
Cr-51	$10^7$	$10^3$
Co-57	$10^6$	$10^2$
Co-58	$10^6$	10
Co-60	$10^5$	10
Se-75	$10^6$	$10^2$
Sr-90	$10^4$	$10^2$
Y-90	$10^5$	$10^3$
Tc-99m	$10^7$	$10^4$
In-111	$10^6$	$10^2$
I-123	$10^7$	$10^2$
I-125	$10^6$	$10^3$
I-131	$10^6$	$10^2$
Cs-137	$10^4$	10
Ir-192	$10^4$	10
Tl-201	$10^6$	$10^2$

*Nota técnica sobre valores máximos de exención de radionucleidos utilizados en la IRC*

Según Real Decreto 1836/1999 de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, BOE de 31-dic-99 y la Instrucción IS/05 de 26 de febrero de 2003 del CSN, B.O.E. 10 de abril de 2003.

ISÓTOPO	ACTIVIDAD (Bq)	ACTIVIDAD	ACTIVIDAD UNIDAD DE MASA (kBq/kg)
I-125	$10^6$	27 $\mu$ Ci	$10^3$
C-14	$10^7$	270 $\mu$ Ci	$10^4$
P-32	$10^5$	2,7 $\mu$ Ci	$10^3$
H-3	$10^9$	27 mCi	$10^6$
Cr-51	$10^7$	270 $\mu$ Ci	$10^3$
S-35	$10^8$	2,7 mCi	$10^5$
Sr-90	$10^4$	270 nCi	$10^2$

*Nota informativa sobre sustancias para descontaminación radiactiva*

La Instalación Radiactiva Central ha evaluado recientemente distintas sustancias comerciales para tratar contaminaciones radiactivas en pequeñas superficies y en manos. Se ha seleccionado el siguiente material:

Descontaminante RAD-CON.

En dos formatos, para manos o para superficies de laboratorio. Consiste en una espuma que elimina rápidamente todo tipo de contaminación radiactiva de la piel y pequeñas áreas de trabajo.

RAD-CON para superficies.

Limpia vidrios y material plástico de laboratorio, pequeñas áreas como bancos de trabajo, bandejas, detectores, etc. La espuma no es corrosiva y actúa incluso en superficies rugosas.

RAD-CON para manos.

Es efectivo en las partes expuestas del cuerpo (sólo uso externo). Extrae los contaminantes de la superficie de la piel y los mantiene en solución hasta que sean aclarados por agua. No contiene irritantes ni corrosivos para la piel.

Toallitas RADIACWASH.

Toallitas envasadas individualmente impregnadas con una solución descontaminante. Se pueden usar para piel y pequeñas superficies. No irrita la piel.

Si se precisase urgentemente alguna de estas sustancias descontaminantes pueden dirigirse al Telf. 394.15.51.

## ***Anexos***

---



*Solicitud del material radiactivo*

INSTALACION RADIATIVA CENTRAL (IRC) DE LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA  
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID.  
(IRA 865)

DATOS DEL SOLICITANTE

USUARIO:	Firma Usuario:
----------	----------------

DEPARTAMENTO:

FACULTAD:

TELÉFONO:	FAX:
-----------	------

**SOLICITUD DE MATERIAL RADIATIVO**

FECHA DE SOLICITUD:	FAX:
---------------------	------

CASA COMERCIAL:

PRODUCTO:

ISOTOPO:	CANTIDAD:	ACTIVIDAD:
----------	-----------	------------

OBSERVACIONES:

**CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO**

<input type="checkbox"/> Temperatura ambiente	<input type="checkbox"/> Arcón (-20° C)
---	---

<input type="checkbox"/> Frigorífico (3-4° C)	<input type="checkbox"/> Otros:
---	---------------------------------

*\*Todos los productos deben trasladarse a las dependencias de la Instalación Radiactiva Central (IRC), haciendo la correspondiente anotación en el Diario de Operación.*

Autorizado por E. Vañó Director de la I.R.C.

Firma y Sello

Nº de Registro

*Solicitud del dosímetro personal*

**INSTALACIÓN RADIACTIVA CENTRAL  
SOLICITUD DE DOSÍMETRO PERSONAL**

**DATOS PERSONALES**

NOMBRE:	
APELLIDOS:	
FECHA DE NACIMIENTO:	SEXO:
DPTO:	
CARGO:	
D.N.I.:	
FECHA SOLICITUD:	
<b>TRABAJA CON:</b> <input type="checkbox"/> Materiales radiactivos: <input type="checkbox"/> Rayos X: <input type="checkbox"/> Ambos:	<b>TIPO DE DOSIMETRO:</b> <input type="checkbox"/> Cuerpo entero: <input type="checkbox"/> Manos: <input type="checkbox"/> Cristalino (hombro): <input type="checkbox"/> Abdomen
AUTORIZADO POR:	
FECHA AUTORIZACIÓN:	FECHA ENTREGA DOSIM:

**ANTECEDENTES DOSIMÉTRICOS**

Ha trabajado anteriormente con radiaciones ionizantes: Si  No

Ha llevado dosímetro personal anteriormente: Si  No

En caso afirmativo, por favor complete el resto de este impreso. Indique todas las instituciones donde ha llevado dosímetro personal:

CENTRO      DIRECCIÓN      SERVICIO      FECHAS ALTA-BAJA

**AUTORIZACION PARA LA ENTREGA DEL HISTORIAL DOSIMETRICO**

Queda usted autorizado para hacer entrega a la IRC de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid de mis registros dosimétricos mientras estuve empleado en su Institución.

Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

*Estudio realizado para la evacuación de residuos radiactivos sólidos como residuos convencionales*

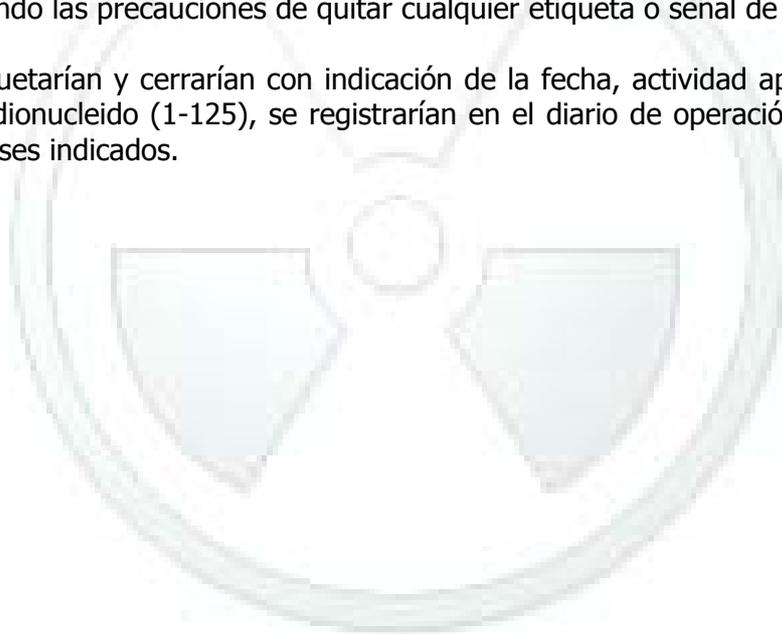
(Estudio elaborado en marzo de 1998)

La Instalación Radiactiva Central(IRC) de la Facultad de Medicina de la UCM, utiliza entre otros isótopos el I-125 en distintos tipos de técnicas analíticas que supone la generación de residuos sólidos conteniendo viales, gradillas, guantes, etc., con contaminaciones inferiores a los 0,05 microCi/vial (se usan 5 microCi para 100 viales).

Considerando el tamaño habitual del vial (7,5 cm de altura y 0,6 cm de radio), se puede suponer que en una bolsa de 25 litros, se almacenen del orden de 1.500 viales (junto con algunas gradillas y guantes) con una actividad total inferior a los 100 microCi de I-125.

Se propone almacenar las bolsas de plástico de 25 litros, con dicha actividad, durante 12 meses, tiempo suficiente para que la actividad residual de I-125 sea inferior al LIA por ingestión para los miembros del público (2,7 microCi), e inferior a 2 nCi/g, suponiendo que la bolsa de 25 litros siempre pesara más de 1 Kg) y evacuarlas entonces como residuos convencionales (no radiactivos), tomando las precauciones de quitar cualquier etiqueta o señal de material radiactivo.

Las bolsas se etiquetarían y cerrarían con indicación de la fecha, actividad aproximada (inferior a 100 microCi) y radionucleido (I-125), se registrarían en el diario de operación y se evacuarían al cabo de los 12 meses indicados.



## *Plan de emergencia de la IRC*

Una emergencia radiológica es una situación que puede suponer la superación de los límites de dosis prescritos por el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes para el personal de operación y los miembros del público, como consecuencia de una alteración en el uso, almacenamiento y evacuación de radionucleidos en la Instalación.

En una emergencia, la seguridad y cuidado de las personas ha de ser prioritario sobre los requerimientos operacionales habituales de seguridad radiológica.

### **\*Tipos de sucesos iniciadores de una situación de emergencia**

Catástrofes naturales o provocadas:

- Incendio
- Inundación
- Hundimiento
- Terremoto
- Explosión
- Desencapsulamiento, derrame o evaporación de fuentes radiactivas.
- Vertidos o evacuaciones incontroladas de materiales radiactivo.
- Robo o pérdida de fuentes radiactivas.

### **\*Vías de exposición**

En la situación de un accidente tipo catastrófico se dará cuenta de los riesgos existentes a las Autoridades de Salud Pública, Nuclear y a los Servicios Públicos que hayan de intervenir. En el supuesto que los agentes de intervención entren en las zonas donde se almacenan los materiales, existe un riesgo reducido de irradiación y contaminación externa. Si se produjera un incendio, existe el riesgo de que los materiales radiactivos líquidos escapen de sus envases y se evaporen, por lo que aparecería un riesgo de inhalación y contaminación interna. Si se emplearan sistemas de extinción líquidos existe el riesgo de dispersar los radionucleidos almacenados produciendo una contaminación en otras áreas. Existen dos extintores en las dependencias de la Instalación.

En el caso de derramamiento de material radiactivo (máximo accidente previsible), se acotará y señalizará la zona afectada. Esta permanecerá clausurada hasta que los niveles de radiación permitan iniciar las labores de descontaminación, las cuales serán señalizadas y realizadas por el personal especializado y bajo la dirección del Supervisor de Servicio. Si alguna persona resulta contaminada, se quitará inmediatamente la ropa y se someterá a un lavado exhaustivo hasta su total descontaminación.

Cuando alguna persona se sospeche que puede estar contaminada internamente, se pondrá inmediatamente a disposición del Supervisor de Servicio, quien comunicará los hechos al Servicio Médico y proveerá los auxilios pertinentes con vistas a acelerar la eliminación del material ingerido. Se realizará una evaluación aproximada de las dosis recibidas por las diferentes partes del cuerpo basándose en estudios gammagráficos y en medidas con un detector de cuerpo entero. En base a esta evaluación se indicará si existe la necesidad de atención médica para el tratamiento más adecuado, según criterio de un especialista.

Si se deteriorara alguna de las fuentes encapsuladas, con posible pérdida de su estanqueidad, se guardará en una doble bolsa de plástico y posteriormente en su blindaje para su ulterior evacuación o reparación a través de la Empresa suministradora.

En el supuesto de vertidos incontrolados de material radiactivo, el riesgo existente es de contaminación de las aguas residuales de la Facultad. Existe en la Instalación un sistema de eliminación de residuos líquidos radiactivos controlado.

En el caso de robo de alguna fuente radiactiva, siempre que ésta se mantenga intacta, el riesgo existente será de irradiación de la persona que lo transporte. En el caso de abrirse se añadirá el riesgo de contaminación externa e interna de quién la manipule. En cualquier caso, debe ser notificado a la Autoridad Competente. Existe en la Instalación un sistema de seguridad de acceso con tarjeta magnética, cierre de llaves en sus puertas, y existe una puerta blindada y rejas que protegen la gammateca donde se almacenan las fuentes radiactivas.

### **\*Actividades a realizar por el personal de la Instalación y organización**

Quien detecte una situación de emergencia la pondrá en conocimiento inmediato del Supervisor de la IRC que será el primer responsable de las actuaciones durante la emergencia y que lo comunicará lo antes posible al Director de la Instalación y al Decano de la Facultad.

En la Secretaría de la Instalación, en la Conserjería de la Facultad y en Decanato, constarán los nombres y teléfonos del Director de la Instalación y de todos los Supervisores de la misma para que en caso de emergencia puedan ser fácilmente localizados. Constará asimismo, el teléfono del Consejo de Seguridad Nuclear, Bomberos, Policía y Servicios de Protección Civil.

La Instalación dispone de una relación actualizada de la actividad máxima que puede estar almacenada, señalando la forma física y química más habitual, con objeto de poder informar a los agentes que puedan intervenir en caso de emergencia.

Una vez detectada la situación de emergencia y comunicada a los responsables, se tomarán las medidas oportunas para garantizar la seguridad procediendo a su evacuación si se considera necesario. Resuelta la situación, se hará una estimación de los niveles de dosis y contaminación que incluya a las personas y locales afectados, emitiendo el correspondiente informe que deberá constar en el diario de operación de la Instalación. Asimismo, se pondrá el incidente en conocimiento del Consejo de Seguridad Nuclear y de las autoridades competentes, a la mayor brevedad, remitiendo el informe elaborado en un plazo de 10 días.

En el caso de que a causa de la situación de emergencia se produzca algún tipo de contaminación superficial, se procederá a acotar la zona contaminada, para evitar la dispersión de la contaminación, y una vez solucionada la situación de emergencia se procederá a su descontaminación. Si la contaminación radiactiva fuera en forma gaseosa o de aerosol, se procederá, de acuerdo al criterio del Supervisor, a desalojar las dependencias afectadas y a evitar la dispersión de la contaminación.

Si lo que se produce es una contaminación personal, bien del personal de operación o de miembros del público, se procederá de acuerdo a la situación.

**\*Equipamiento necesario, disponibilidad y capacidad funcional**

En la IRC se dispone de dos extintores de incendios (Extintor E-6P; 6kg polvo C), evitándose o limitando dentro de lo posible los elementos iniciadores y propagadores del fuego.

Asímismo, donde existe riesgo de irradiación externa significativo, se dispone de medios de protección personal apropiado (mandiles plomados) que están disponibles para su uso.

Para conseguir la máxima operatividad existe un coordinador de emergencia y apoyo al exterior (supervisor en funciones).

Una vez declarada la situación de emergencia, el coordinador es el encargado de avisar a los distintos implicados por delegación del titular de la IRC:

- personal de la Instalación
- Decanato
- Servicio de Prevención de Riesgos Laborales de la UCM
- Unidad de Seguridad
- organizaciones locales
- Consejo de Seguridad Nuclear.



**INFORMACIÓN RELATIVA AL PERSONAL DE LA INSTALACIÓN**

**TELEFONO DE LOCALIZACIÓN: 91-3941551**

**TITULAR:** Universidad Complutense de Madrid – Facultad de Medicina

**DIRECTOR:** Eliseo Vañó Carruana

**RESPONSABLE:** Decano de la Facultad de Medicina

**RESPONSABLE O SUPERVISOR DE LA INSTALACION RADIATIVA:** Supervisor en funciones, propuesto por la Comisión de Usuarios:

**BIOQUÍMICA:**

ELENA VARA AMEIGEIRAS (30-03-2005 al 30-03-2010) SUPERVISOR

MARIA CRUZ GARCÍA MARTÍN (26-07-2005 al 26-07-2010) SUPERVISOR

**FISIOLOGÍA:**

M<sup>a</sup> DE LOS ANGELES VILLANUA BERNUES (28-07-2005 al 28-07-2011) SUPERVISOR

ASUNCIÓN LÓPEZ-CALDERON BARREDA (08-05-2006 al 08-05-2011) SUPERVISOR

**INMUNOLOGÍA:**

J. RAMÓN REGUEIRO (29-04-2008 al 29-04-2013) SUPERVISOR

EDUARDO MARTÍNEZ NAVES (20-08-2007 al 20-08-2012) SUPERVISOR

**IRC:**

SUSANA MENENDEZ MUÑOZ (15-03-2006 al 15-03-2011) SUPERVISOR

Normalmente actúa la supervisora de plantilla, Susana Menéndez Muñoz y en situaciones de ausencia o vacaciones actúa la supervisora en funciones Elena Vara y M<sup>a</sup> Cruz García.

**JEFE DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO:** Mariano Muñoz Martín

**JEFE DE SEGURIDAD FISICA:** Unidad de Vigilancia y Control de la Universidad Complutense

**RESPONSABLE DE LA AUTOPROTECCION:** los propios supervisores y operadores

**COORDINADOR CON EL APOYO EXTERIOR:** supervisor en funciones

**PERSONAL CON DISPONIBILIDAD DE ACCESO A LOS DIVERSOS EDIFICIOS O SALAS:** Técnico Especialista (conserje) de los servicios centrales de la Facultad

**PERSONAS QUE ADQUIERAN RESPONSABILIDADES EN DIAS O PERIODOS FESTIVOS:** supervisor en funciones

**INFORMACION RELATIVA A LA INSTALACION RADIATIVA**

La Instalación Radiactiva Central (IRC) de la Facultad de Medicina se encuentra ubicada dentro del campus de Moncloa de la Universidad Complutense de Madrid

<b>TELEFONO ÚNICO DE EMERGENCIAS UCM</b>	900.100.394
AMBULANCIA Y ASISTENCIA SANITARIA URGENTE (FREMAP) 24 H.	900.610.061
EMERGENCIA COMUNIDAD DE MADRID	112
AREA DE MEDICINA DEL TRABAJO (UCM) MONCLOA(L-V)	91.394.15.82
SOMOSAGUAS (L-V)	91.394.23.91
SERVICIO DE PREVENCIÓN UCM	91.394.13.47
CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR	91 346 01 00
DIRECTOR IRC	1551
SECRETARIA IRC	1686
DECANATO	1307/1308
GERENCIA	1310
PORTERIA	1331
SERVICIO MANTENIMIENTO	1441
GAS NATURAL	91 589 61 16
ENDESA	91 566 88 00
IBERDROLA	901 20 20 20
UNION ELECTRICA FENOSA	91 406 80 00

**TELEFONOS CAMPUS DE MONCLOA (HORARIO DE 8 A 15)**

AVERIAS DE ELECTRICIDAD	91 394 1242-1243
AVERIAS DE FONTANERIA	"
AVERIAS DE GAS	"
AVERIAS DE CALEFACCION	91 394 1201
DAÑOS CONSTRUCTIVOS	91 394 3467

TELEFONOS HORARIO DE 15 HORAS EN ADELANTE Y SABADOS Y FESTIVOS:

Todos los avisos de situaciones de emergencia, deben darse a la Unidad de Vigilancia y Control, que se encargará de localizar a la persona competente en cada caso

Teléfono 24 horas 91.394.12.00 y 91.394.12.04 FAX 91.394.72.05 Enviar correo

Se exceptúan las averías de calefacción, que también serán atendidas en horas de 15 a 20 de lunes a viernes y de 8 a 14 los sábados (teléfono 91-3941201).

## *Reglamento de funcionamiento*

Será responsabilidad del Director de la Instalación la elaboración de los turnos de servicio de los distintos supervisores, en función de las necesidades de utilización de la instalación, como el relevo de un Supervisor determinado si las circunstancias lo aconsejaran.

El Supervisor de Servicio estará siempre fácilmente localizable e informado del uso que se esté haciendo de la instalación. Será el responsable de la instalación y del control de las llaves, así como de que los operadores u otros supervisores que trabajen mientras él está de servicio cumplan escrupulosamente el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes y otras recomendaciones habituales de Protección Radiológica. Será directamente responsable de que la Instalación quede cerrada con llave cuando no haya nadie trabajando en ella especialmente al final de la jornada de trabajo.

Existirá en la Secretaría de la Instalación y claramente visible, una relación de direcciones y teléfonos donde se pueda localizar a los supervisores de la IRC en caso de alguna incidencia.

El cambio de turno de un Supervisor de Servicio a otro se hará constar en el diario de operación y se transferirá en ese momento la responsabilidad de las llaves de la instalación.

Cualquier incidencia que pudiera surgir en lo referente a los turnos, será resuelta por el Director de la Instalación, si bien el supervisor de servicio no cesará en sus funciones hasta que éstas se transfieran al siguiente supervisor.

Existirá un inventario del material radiactivo presente en cada momento en la Instalación, así como de los residuos aproximados existentes.

El diario de operación permanecerá en la Secretaría de la Instalación y se hará anotación expresa en el mismo de, como mínimo, lo siguiente:

- Fecha y hora exacta de entradas y salidas de los supervisores de servicio.
- Ubicación y teléfono del supervisor que está de servicio por si se le quisiera localizar y no estuviera físicamente presente en la instalación. Este apartado constará en nota aparte y claramente visible, en la puerta de la instalación.
- Todo movimiento de material radiactivo con indicación de la hora exacta, de la persona que hace el movimiento, tipo de radionucleido y compuesto químico de que se trate, actividad aproximada y el objetivo al que se destina.
- Esta anotación será imprescindible con objeto de delimitar posibles responsabilidades si se detectara con posterioridad, alguna contaminación o irregularidad.
- Todo almacenamiento o evacuación de residuos con indicación de la persona que lo hace, tipo de radionucleido contaminante del residuo, tipo de residuo y actividad aproximada del mismo.
- Que se ha comprobado, al finalizar el trabajo, que no está contaminado el lugar o equipamiento con que se ha realizado, así como el propio cuerpo del operador o sus ropas.

- Todo incidente anómalo que se pueda producir en la instalación.
- El supervisor que sale de servicio deberá anotar en el diario de operación el balance resumen de fuentes y residuos radiactivos habidos en la instalación durante su actuación.

Si por necesidades de algún tipo de experimentación se trasladara algún material radiactivo fuera del recinto de la instalación a las dependencias de otro Departamento se hará directamente bajo la responsabilidad de un supervisor (no necesariamente de servicio) anotándolo así en el diario de operación y responsabilizándose del traslado y utilización sin riesgos en ese Departamento. Se proveerá previamente del correspondiente monitor de radiación en el servicio donde se traslade y cualquier posible residuo radiactivo que se produjera se trasladaría de nuevo con idénticas precauciones, a la Instalación Radiactiva Central.

La Supervisora de la instalación se encargará de la recogida, suministro y envío al centro de dosimetría del Ministerio de Sanidad, de los dosímetros personales del personal profesionalmente expuesto.

Los historiales dosimétricos se archivarán en la secretaría de la instalación. El Director de la Instalación o persona en quién delegue vigilarán las lecturas dosimétricas, y serán quienes propondrán las medidas complementarias de Protección Radiológica que se consideren necesarias. Las historias médicas se archivarán en el Servicio Médico de la Universidad Complutense que estará coordinado con el Director de la Instalación.

Por parte de la Dirección de la Instalación se harán las gestiones y se tomarán las medidas oportunas para:

- 1º. Que todo el personal profesionalmente expuesto conozca el riesgo que supone la utilización de las radiaciones ionizantes y conozca la instalación y sus dispositivos de seguridad.
- 2º. Que el personal de la Facultad de Medicina que tenga que "operar" en la Instalación pueda acceder a los cursos de capacitación correspondientes así como a la documentación de la - instalación y al manejo de los monitores de radiación de la misma.
- 3º. Que se organicen seminarios de actualización de conocimientos en Protección Radiológica.
- 4º. Que se cumpla el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.
- 5º. Que se cumpla el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- 6º. Que se elabore el informe anual al Consejo de Seguridad Nuclear.
- 7º. Mantener en funcionamiento todos los equipos de la instalación y sus instrumentos de medida.
- 8º. Establecer un programa de calibraciones periódicas de todos los monitores de radiación.
- 9º. Optimizar las compras de materiales radiactivos.
- 10º. Optimizar la evacuación de residuos radiactivos.
- 11º. Comunicar a las Autoridades competentes cualquier accidente o incidente importante.

## **MANEJO DE LAS FUENTES RADIATIVAS ENCAPSULADAS**

Excepto la fuente de 5 mCi de Co-60, el resto se podrán manejar sin precauciones especiales, a excepción de cuidar que no se deteriore su encapsulado.

La fuente de 5 mCi de Co-60, se manejará durante el menor tiempo posible manteniéndola alejada del cuerpo y únicamente para situarla en posición adecuada para la calibración de los monitores de radiación. En general se podrá evitar su manejo directo abriendo el blindaje sin mover la fuente.

## **NORMAS GENERALES DE MANIPULACION DE MATERIALES RADIATIVOS**

Todos los materiales radiactivos y contaminados serán etiquetados y señalizados de acuerdo con las normas internacionales.

Se evitará todo traslado innecesario de las sustancias radiactivas.

Se prohibirá tajantemente realizar manipulaciones de los materiales radiactivos fuera de las zonas previstas para dicha misión, éstas serán sometidas a monitoreo periódico.

Los equipos y materiales contaminados no se desplazarán a zonas no vigiladas no se utilizarán para misiones inadecuadas.

Las manipulaciones que entrañen riesgo de contaminación se realizarán dentro de bandejas de material plástico, porcelana vitrificada o acero inoxidable, recubiertas de papel de celofán y papel de filtro. Los papeles contaminados se cambiarán periódicamente alojándolos para su descontaminación en los pozos para residuos sólidos.

Todas las manipulaciones se llevarán a cabo detrás de las pantallas de protección previstas al efecto.

Se prohibirá la manipulación de materiales radiactivos a las personas no-autorizadas para esta misión.

Se prohibirá realizar manipulaciones en ropa de calle, utilizándose las batas previstas para estos fines. En la zona vigilada será preceptivo el uso de bata.

Para las manipulaciones de soluciones radiactivas se utilizarán siempre guantes de un solo uso. Después de usarlos, estos guantes se tratarán como residuos radiactivos.

Cuando se utilicen pipetas no se succionará con la boca.

Se prohibirá trabajar con materiales radiactivos a personas con heridas abiertas y menores de 18 años.

Está prohibido depositar y/o almacenar materiales radiactivos o contaminados fuera de los lugares previstos para ello.

No se permitirá la introducción en la zona vigilada de los siguientes materiales:

- Alimentos y bebidas.
- Tabaco en todas sus formas, ni artículos para fumadores.

- Objetos de calle, tales como bolsas, cosméticos, etc.
- Pañuelos o toallas, utilizándose en sustitución servilletas de papel de un solo uso.

### **NORMAS DE DESCONTAMINACION**

Las posibles contaminaciones internas serán consideradas como accidente.

Las contaminaciones de la piel o de cualquier parte externa del organismo se tratarán con agua tibia, jabón no abrasivo, cepillo suave y secado posterior. Esta operación se repetidas varias veces. Hasta que los equipos de control indiquen, que la contaminación ha desaparecido.

Para los utensilios de trabajo (material de vidrio, herramientas, etc.) se utilizarán utensilios comerciales. Si la contaminación persiste, se guardarán en recintos adecuados hasta que la actividad haya decaído a niveles permisibles.

Cuando sea necesario desmontar un equipo para descontaminarlo se controlará cuidadosamente la intensidad de exposición creada en puntos próximos.

Para el material de vidrio se utilizará mezcla crómica o soluciones "ácidas", según los casos.

Los materiales para descontaminación permanecerán siempre próximos al lugar de trabajo y no se utilizarán para otras misiones diferentes.

El personal utilizará guantes de un solo uso para llevar a cabo la descontaminación de cualquier tipo de material.

Las ropas contaminadas se guardarán hasta que su actividad haya decaído y sea despreciable, solo entonces se lavarán. En caso de no desaparecer la contaminación se eliminarán como residuo radiactivo.

### **NORMAS PARA EL ALMACENAMIENTO Y EVACUACION DE RESIDUOS**

Todos los residuos sólidos contaminados se guardarán dentro de bolsas de plástico, en el interior de los pozos previstos al efecto.

Cada una de las bolsas indicadas en el apartado anterior llevarán una etiqueta con la fecha de recogida y con el tipo de material radiactivo presente.

Los residuos sólidos se evacuarán a través de una empresa autorizada para esta misión. Los restantes residuos líquidos se evacuarán con el equipo antes indicado. En ningún caso se eliminara residuos líquidos por las pilas o vertederos.

***Glosario de términos***

---



AÑO OFICIAL

Periodo de doce meses, a contar desde el día 1 de Enero hasta el 31 de Diciembre, ambos inclusive

AUTORIZACIÓN

Permiso concedido por la autoridad competente de forma documental, previa solicitud, o establecido por la legislación española, para ejercer una práctica o cualquier otra actuación dentro del ámbito de aplicación del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, RD 783/2001.

CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Único organismo nacional competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica creado mediante la Ley 15/1980 de 25 de abril.

CONTAMINACIÓN RADIATIVA

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 (inhalación, ingestión, percutánea, etc).

DOSIS EFECTIVA

Suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de irradiaciones externas e internas.

DOSIS EQUIVALENTE

Dosis absorbida en un tejido u órgano ponderada en función al tipo y calidad de la radiación.

EFLUENTE RADIATIVO

Productos radiactivos residuales en forma líquida o gaseosa.

EMERGENCIA RADIOLÓGICA

Situación que requiere medidas urgentes con el fin de proteger a los trabajadores, a los miembros del público o a la población, en parte o en su conjunto.

EQUIPOS EMISORES DE RADIACIÓN IONIZANTE

Aparatos productores de radiación ionizante que trabajan a una diferencia de potencial a 5 Kv. Se excluye dentro de este grupo los microscopios electrónicos siempre que no presenten, en condiciones normales de funcionamiento, una tasa de dosis superior a 1  $\mu$ Sv/h en ningún punto situado a 0.1m de la superficie accesible del aparato.

EXPOSICIÓN

Acción y efecto de someter a las personas a las radiaciones ionizantes.

EXPOSICIÓN EXTERNA

Exposición del organismo a fuentes exteriores a el.

FUENTE

Aparato, sustancia radiactiva o instalación capaz de emitir radiaciones ionizantes o sustancias radiactivas.

#### FUENTE ENCAPSULADA

Materiales radiactivos herméticamente cerrados y sellados dentro de un contenedor de material no radiactivo.

#### FUENTE NO ENCAPSULADA

Fuente cuya presentación y condiciones normales de utilización no permiten prevenir la dispersión de la sustancia radiactiva.

#### INSTALACIÓN RADIATIVA

Instalación de cualquier clase que contengan una fuente de radiación ionizante, aparatos productores de radiación ionizante que funcionen a una diferencia de potencial superior a 5 KeV y locales o laboratorios donde se produzcan, utilicen, posean, traten o almacenen materiales radiactivos.

#### LICENCIA DE CAPACITACIÓN

Licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear al personal que manipule material o equipos radiactivos (Operador) y al que dirija dichas actividades (Supervisor) en una instalación radiactiva, según se establece en el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, RD 1836/1999.

#### LÍMITES DE DOSIS

Valores máximos fijados en el Título II del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, para las dosis resultantes de la exposición de los trabajadores expuestos, personas en formación, estudiantes y miembros del público a las radiaciones ionizantes consideradas en el Reglamento.

#### MIEMBROS DEL PÚBLICO

Personas de la población, con excepción de los trabajadores expuestos, personas en formación y estudiantes durante sus horas de trabajo.

#### OPERADOR

Persona provista de licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear, que capacita para la manipulación de material o equipos clasificados como instalación radiactiva, según se establece en el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, RD 1836/1999

#### PERSONA EN FORMACIÓN O ESTUDIANTES

Toda persona que, no siendo trabajador, recibe formación o instrucción en el seno o fuera de una empresa para ejercer un oficio o profesión, relacionado directa o indirectamente con actividades que pudieran implicar exposición a radiaciones ionizantes.

#### PRÁCTICA

Actividad humana que puede aumentar la exposición de las personas a la radiación procedente de una fuente artificial, o de una fuente natural de radiación cuando los radionucleidos naturales son procesados por sus propiedades radiactivas, fisionables o fértiles, excepto en el caso de exposición de emergencia.

#### RADIACIÓN IONIZANTE

Transferencia de energía en forma de partículas u ondas electromagnéticas de una longitud de onda igual o inferior a 100 nanómetros o una frecuencia igual a  $3 \times 10^{15}$  hertzios, capaces de producir iones directa o indirectamente.

### RESIDUO RADIOACTIVO

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 el Organismo competente, en la actualidad el Ministerio de Economía, previo informe favorable del Consejo de Seguridad Nuclear.

### SIEVERT (Sv)

Unidad de dosis efectiva o equivalente correspondiente a 1 Julio por Kilogramo.

### SUPERVISOR

Persona provista de licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear, que capacita para dirigir el funcionamiento de una instalación nuclear o radiactiva y las actividades de manipulación de los dispositivos de control y protección de la instalación.

### SUSTANCIA RADIOACTIVA

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.

### TITULAR

Persona física o jurídica que tiene, con arreglo a la legislación nacional, la responsabilidad y la autoridad sobre el ejercicio de alguna de las prácticas o actividades laborales previstas en el artículo 2 del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, RD 783/2001.

### TRABAJADOR EXPUESTO

Persona sometida a una exposición a causa de su trabajo que pudiera entrañar dosis superiores a alguno de los límites de dosis para miembros del público establecidos en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, RD 783/2001.

### USUARIO AUTORIZADO

Todo el personal, clasificado como trabajador expuesto o personal en formación-estudiante, que preste servicio o sea usuario de las diferentes dependencias, equipamiento o material clasificado a efectos legales como instalación radiactiva y que ha sido oficialmente reconocido como tal por la Subcomisión de Radiactividad en los términos expuestos en el apartado nº 3 del Procedimiento Normalizado de Trabajo " Altas y Bajas de Usuarios Autorizados".

### ZONA VIGILADA

Es aquella en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades, según se establece en el apartado 2 del artículo 9 del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, RD 783/2001.

### ZONA CONTROLADA

Es aquella en la que existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades, según se establece en el apartado 2 del artículo 9 del Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, RD 783/2001.



*Bibliografía*

---



ATOMS, RADIATION, AND RADIATION PROTECTION /James E. TURNER. - 2nd ed. - New York [etc.] John Wiley and Sons, 1995.- ISBN 0-471-59581-0

INSTRUCCIONES TECNICAS Y GUIAS DE SEGURIDAD DEL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

INSTRUMENTACIÓN NUCLEAR / Agustín TANARRO SANZ. - Madrid: Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear, 1970. - Física nuclear / I. KAPLAN.- Aguilar, 1965

Las radiaciones ionizantes. Su utilización y riesgos / Xavier ORTEGA ARAMBURU y Jaume JORBA BISBAL, eds. - UPC, - ISBN 84-7653-387-X

LEY 15/1980 de 2.4. (Jef. Est., B.O.E., 25.4.1980). Creación del Consejo de Seguridad Nuclear

LEY 25/1964 de 29.4 (Jef. Est., BB.OO.E. 4.5, rect. 6.5.1964). Ley reguladora de la energía nuclear.

Ley 31/1995, 8 de noviembre de prevención de riesgos laborales

MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO. Protección radiológica. Madrid, Colección Sanidad Ambiental, 1988.

NTP 614: RADIACIONES IONIZANTES: NORMAS DE PROTECCIÓN

ORDEN MINISTERIAL 11269 de 5 de junio de 2003, para la gestión de material radiactivo, ORDEN ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo

Radiaciones ionizantes / PÉREZ MODREGO y A. PLATA BEDMAR. - Madrid: Ateneo, 1965

RADIACIONES IONIZANTES: INSTALACIONES RADIATIVAS Y DE RAYOS X / Agustín TANARRO SANZ. Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear, 1986. - ISBN 84-505-4127-1

REAL DECRETO 1836/1999 de 3.12 (M. Ind. Y Ener. , B.O.E. 31.12.1999), por el que se aprueba el Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas

REAL DECRETO 1891/1991 de 30.12 (del. Rel. Cortes, B.O.E. 3.1.1992) Sobre instalación y utilización de aparatos de rayos-X con fines de diagnóstico médico

REAL DECRETO 2177/1967 de 22.7 (del. Hac., B.O.E. 18.9.1967). Reglamento de cobertura de riesgos nucleares

REAL DECRETO 229/2006, de 24 de febrero (Mn Presidencia, B.O.E., 28.01.2006), sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.

REAL DECRETO 413/1997 de 21.3 (M. Presid., B.O.E. 16.4.1997). Protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada.

REAL DECRETO 783/2001 de 6.7 (M. de la Presidencia, B.O.E. 26.7.2001), por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.