



MANUAL DE RADIOPROTECCIÓN DE LA
INSTALACIÓN RADIATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

(revisión 3: abril 2016)

María Dolores Alcázar Fernández

Sección Radioprotección y Residuos
Servicio de Apoyo a la Investigación
Vicerrectorado de Investigación



ÍNDICE

NOTA A LA REVISIÓN 2 (junio 2015)

NOTA A LA REVISIÓN 3 (abril 2016)

1. INTRODUCCION

2. SECCIÓN DE RADIOPROTECCIÓN Y RESIDUOS

2.1. LOCALIZACIÓN Y PERSONAL

2.2. FUNCIONES PRINCIPALES

3. INSTALACIÓN RADIATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

3.1. DATOS DE LA INSTALACIÓN RADIATIVA (IRA)

3.2. DEPENDENCIAS DE LA IRA Y CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS

3.2.1. Campus de Espinardo

3.2.2. Campus de Ciencias de la Salud

4. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIATIVIDAD

4.1. ACTIVIDAD

4.2. PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN ($T_{1/2}$).

4.3. RADIACIÓN IONIZANTE

4.3.1. Radiación o partículas alfa (α)

4.3.2. Radiación o partículas beta (β)

4.3.3. Radiación gamma (γ)

5. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

5.1. MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS

5.2. FUENTES RADIATIVAS PRESENTES EN LA INSTALACIÓN

5.2.1. Fuente encapsulada.

5.2.2. Fuente no encapsulada

5.3. RIESGOS RADIOLÓGICOS EN LA IRA

5.4. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES



5.5. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

5.6. LÍMITES DE DOSIS

5.7. CLASIFICACIÓN DEL PERSONAL EXPUESTO

5.8. CLASIFICACIÓN DE ZONAS

5.9. SEÑALIZACIÓN

6. RADIOISÓTOPOS AUTORIZADOS Y ACTIVIDADES MÁXIMAS

6.1. RADIONUCLEIDOS NO ENCAPSULADOS: CAMPUS DE ESPINARDO

6.2. RADIONUCLEIDOS ENCAPSULADOS: CAMPUS DE ESPINARDO

6.3. RADIONUCLEIDOS NO ENCAPSULADOS: CAMPUS DE CIENCIAS DE LA SALUD

6.4. RADIONUCLEIDOS ENCAPSULADOS: CAMPUS DE CIENCIAS DE LA SALUD

7. DETECCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

8.1. INTRODUCCIÓN

8.2. MEDIDA DIRECTA

8.3. MEDIDA INDIRECTA

8. CONTROL DE LA RADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN

8.1 NIVELES DE REFERENCIA

8.2 FORMAS BASICAS DE PROTECCIÓN

8.2.1. Para reducir la irradiación

8.2.2. Para reducir la contaminación

8.3 PROCEDIMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN RADIATIVA

8.3.1. Descontaminación de superficies y objetos.

8.3.2. Descontaminación personal.

9. NORMAS GENERALES SOBRE EL USO DE RADIOISÓTOPOS

10. PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS

10.1. PEDIDOS Y ENTRADA DE SUSTANCIAS RADIATIVAS EN EL LABORATORIO DEL SPECT-CT

10.1.1. Objeto

10.1.2. Responsabilidades



10.1.3. Procedimiento de pedidos y entrada de sustancias radiactivas

10.2. RETIRADA DE MATERIAL RADIATIVO DEL LABORATORIO DEL SPECT-CT

10.2.1. Objeto

10.2.2. Responsabilidades

10.2.3. Procedimiento de retirada

10.3. NORMATIVA DE FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO DEL SPECT-CT

10.3.1. Objeto

10.3.2. Responsabilidades

10.3.3. Normas de uso de la instalación radiactiva del SPECT-CT



NOTA A LA REVISIÓN 2 (junio 2015)

La presente actualización está motivada por las modificaciones de la IR-1684 para incluir la Delegación de la Instalación Radiactiva del Campus de Ciencias de la Salud con un SPECT-CT, nuevos laboratorios de radiactividad en CEIB y LAIB, jaulas de residuos radiactivos y clausura de los laboratorios anteriormente ubicados en la Facultad de Medicina (Bioquímica y Fisiología).

NOTA A LA REVISIÓN 3 (abril 2016)

La presente actualización está motivada por la autorización por parte del CSN del incremento de actividad del radionucleido Tecnecio-99 hasta 4 GBq (108,1 mCi) para el SPCT-CT.

María Dolores Alcázar Fernández



1. INTRODUCCION

Este manual contiene conceptos básicos, así como normas generales y especiales de trabajo para reducir los riesgos cuando se trabaja con radiaciones ionizantes. El documento está disponible para todo el personal de la UMU que manipule material radiactivo. Se encuentran copias al menos en las siguientes dependencias:

- Sección de Radioprotección y Residuos.
- En los laboratorios que forman parte de la Instalación Radiactiva autorizada.

Los riesgos que produce el uso de radiaciones ionizantes, ha obligado a los organismos internacionales a promover normas en materia de Radioprotección que permitan reducir dichos riesgos a niveles mínimos. Cada país ha convertido las normas emitidas por estos organismos en leyes y reglamentos. En lo que respecta a la Legislación Española es bastante amplia, y no se cree conveniente incluirla en este manual. Como más significativa a efectos de radioprotección tenemos:

- 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 se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.

2. SECCIÓN DE RADIOPROTECCIÓN Y RESIDUOS

Su objetivo principal es ofrecer las instalaciones, equipamiento y medios necesarios para trabajar con radiaciones ionizantes, así como gestionar la retirada de residuos radiactivos y peligrosos de los laboratorios que los generen.

2.1. LOCALIZACIÓN Y PERSONAL

Se localiza en la primera planta del edificio SACE. Campus de Espinardo. CP 30100



<http://www.um.es/sai/>

sai.srr@um.es

Nombre	Puesto	Teléfono	Correo electrónico
María Dolores Alcázar Fernández	Jefa de Sección	868887568	alcazar@um.es
Régulo Ángel Cánovas Ciller	Técnico especialista	868883985	rciller@um.es

2.2. FUNCIONES PRINCIPALES

En el campo de la protección radiológica, las funciones principales de la Sección son:

- Creación, modificación y clausura de instalaciones radiactivas.
- Control y verificación de las instalaciones radiactivas y medios de protección radiológica.
- Vigilancia de los niveles de radiación y contaminación en las instalaciones radiactivas.
- Control de la adquisición de sustancias radiactivas.
- Control dosimétrico mensual del personal profesionalmente expuesto a radiaciones ionizantes.
- Gestión de la contención, identificación y retirada de los residuos radiactivos y de los residuos peligrosos.
- Elaboración de informes para el Consejo de Seguridad Nuclear, Dirección General de Industria, Consejería de Medio Ambiente, Ministerio del Interior, memorias, solicitudes y renovaciones de licencias.
- Recepción de las inspecciones del Consejo de Seguridad Nuclear.
- Formación de usuarios expuestos a radiaciones ionizantes.

3. INSTALACIÓN RADIATIVA DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

3.1. DATOS DE LA INSTALACIÓN RADIATIVA (IRA)

- Denominación: Sección de Radioprotección y Residuos (SRR). SAI. Vicerrectorado de Investigación.
- Titular: Vicerrectorado de Investigación. Universidad de Murcia.



- Dirección: Sección de Radioprotección y Residuos. Edificio SACE. Campus de Espinardo. 30100 Murcia.
- Teléfonos: 868887568 y 868883985. Fax: 868887302
- Número de Referencia: IR/MU-40/89 (IRA-1684).
- Tipo de Instalación: 2ª categoría.
- Campo de aplicación o actividades a desarrollar: Manipulación de radioisótopos encapsulados y no encapsulados y equipos de rayos X con fines de investigación y docencia.

3.2. DEPENDENCIAS DE LA IRA Y CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS

3.2.1. Campus de Espinardo

Dependencias autorizadas que conforman la IRA y clasificación de las zonas:

- Laboratorio de Radiactividad de la Sección de Radioprotección y Residuos: 1ª planta del edificio SACE. ZONA CONTROLADA.
- Laboratorios de Radiactividad ubicados en el Departamento de Genética y Microbiología, 2ª planta de la Facultad de Biología. ZONAS CONTROLADAS.
- Laboratorios de difracción y fluorescencia de rayos X de la Sección de Instrumentación Científica, planta baja del edificio SACE. ZONAS VIGILADAS.
- Laboratorio de difracción de rayos X de la Sección de Biología Molecular, edificio CAID. ZONA VIGILADA.
- Laboratorio de difracción de rayos X del Departamento de Geología de la Facultad de Química. ZONA VIGILADA.
- Almacén de residuos radiactivos: nave situada detrás del Animalario. ZONA CONTROLADA.
- Resto de dependencias: ACCESO LIBRE.

3.2.2. Campus de Ciencias de la Salud

- Laboratorio de Radiactividad SRR (B1.0.027): localizado en la planta baja del edificio LAIB. ZONA CONTROLADA.
- Laboratorio de Radiactividad A (B1.2.016): localizado en la 2ª planta del edificio LAIB. ZONA VIGILADA.



- Laboratorio de Radiactividad B (B1.2.033): localizado en la 2ª planta del edificio LAIB. ZONA VIGILADA.
- Laboratorio de Diagnóstico *in vivo* con radioisótopos con técnica SPECT/CT ubicado en la planta baja del Centro de Investigación Biomédica (CEIB) y que consta de dos salas contiguas, una de exploración (ZONA CONTROLADA) y otra de control (ZONA VIGILADA).
- Laboratorio de Radiactividad 1 (009): localizado en la planta baja del edificio CEIB. ZONA VIGILADA.
- Laboratorio de Radiactividad 2 (009A): localizado en la planta baja del edificio CEIB. ZONA VIGILADA.
- Jaulas para residuos junto a los edificio LAIB y CEIB. ZONAS VIGILADAS.
- Resto de dependencias: ACCESO LIBRE.

Las dependencias que constituyen la IRA no serán utilizadas para otros fines hasta que el Consejo de Seguridad Nuclear compruebe que las circunstancias lo permiten.

4. CONCEPTOS BÁSICOS DE RADIATIVIDAD

Los núcleos atómicos son estables debido a que hay una adecuada proporción entre el número de protones y neutrones. Cuando la relación entre el número de protones y neutrones está desequilibrada respecto a los valores que le confieren estabilidad, espontáneamente los núcleos tienden a alterar su composición y a emitir partículas hasta alcanzar una configuración estable. Este fenómeno se conoce con el nombre de radiactividad.

4.1. ACTIVIDAD

Desde un punto de vista práctico se utiliza el término 'actividad' de un compuesto marcado radiactivamente, y se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo. Su valor viene dado por la expresión:

$$A = A_0 \times e^{-\lambda t}$$

Siendo:



A = la actividad de la muestra transcurrido el tiempo t .

A_0 = la actividad inicial de la muestra.

e = la base del logaritmo natural.

λ = la constante radiactiva.

La unidad de actividad en el Sistema Internacional es el Bequerelio (Bq).

$$1\text{Bq} = 1\text{dps (desintegración por segundo).}$$

La unidad antigua es el Curio (Ci) que corresponde muy aproximadamente a la actividad de 1 gramo de ^{226}Ra . Su relación con el Bequerelio es:

$$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ dps} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1\text{Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

4.2. PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN ($T_{1/2}$).

En la práctica, en lugar de λ se utiliza otra constante relacionada, llamada periodo de semidesintegración, y se define como el intervalo de tiempo necesario para que la actividad de la muestra se reduzca a la mitad. Los valores del periodo de semidesintegración, al igual que los de la constante radiactiva, son característicos de cada radisótopo.

La expresión que relaciona la constante radiactiva con el periodo de semidesintegración ($T_{1/2}$) es:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

4.3. RADIACIÓN IONIZANTE

Una radiación se dice que es ionizante cuando su nivel de energía es suficiente para arrancar electrones de la corteza de los átomos con que interacciona produciendo una ionización de los mismos.



La radiación ionizante se caracteriza por:

- Poder de ionización: que es proporcional a su nivel de energía.
- Capacidad de penetración: que es inversamente proporcional al tamaño de la partícula.

Las radiaciones ionizantes, dependiendo del tipo de desintegración de los radionucleidos, se clasifican en:

4.3.1. Radiación o partículas alfa (α)

Las partículas α son átomos de helio doblemente ionizados, núcleos de helio-4 o la unión de dos protones y dos neutrones.

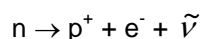
Cuando un átomo sufre una desintegración α , el número atómico Z disminuye en dos unidades y su número másico lo hace en cuatro unidades.

Las partículas α tienen un alto poder de ionización y bajo poder de penetración.

4.3.2. Radiación o partículas beta (β)

La desintegración beta comprende tres procesos: desintegración beta negativa (β^-), desintegración beta positiva (β^+) y captura electrónica (CE). Nos centraremos en la desintegración beta negativa, dado que es la que experimentan los radisótopos usados en la instalación de la UMU.

La desintegración β negativa consiste en la emisión de electrones procedentes del núcleo. Estos electrones se originan por transformación nuclear de un neutrón en un protón, un electrón y un antineutrino.



El núcleo procedente de la desintegración β negativa tendrá el mismo número másico pero su número atómico se incrementa en una unidad.



En la IRA los radionucleidos emisores β^- son ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{33}P , ^{35}S , ^{45}Ca

4.3.3. Radiación gamma (γ)

La radiación gamma se presenta, normalmente, en combinación con una desintegración alfa, beta o captura electrónica, debido a que después de uno de estos procesos el núcleo hijo formado queda en un estado excitado, emitiendo casi instantáneamente su exceso de energía en forma de radiación electromagnética para pasar a su estado fundamental.

En la IRA los radionucleidos emisores γ son ^{51}Cr , ^{125}I , $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{131}I , ^{123}I , ^{111}In , ^{201}Tl , ^{67}Ga

5. PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

5.1. MAGNITUDES Y UNIDADES RADIOLÓGICAS

Las magnitudes radiológicas más utilizadas en Protección Radiológica así como su definición, unidades (en el Sistema Internacional -SI- y otras unidades especiales) y equivalencia se esquematizan en la siguiente tabla:

MAGNITUD	DEFINICIÓN	UNIDAD		EQUIVALENCIA
		SI	ANTIGUA	
Actividad (A)	Nº desintegraciones por unidad de tiempo.	Bequerelio (Bq) = dps	Curio (Ci)	1 Ci = 37 MBq
Dosis absorbida (D)	Energía depositada por unidad de masa de materia.	Gray (Gy) = J/Kg	rad	1 Gy = 100 rad
Dosis equivalente (H)	Producto de la dosis absorbida por el factor de calidad (Q) que tiene en cuenta las características de la radiación. $H = D \times Q$	Sievert (Sv) = J/Kg	rem	1 Sv = 100 rem



5.2. FUENTES RADIATIVAS PRESENTES EN LA INSTALACIÓN

Una fuente radiactiva es una sustancia o un aparato capaz de emitir radiaciones ionizantes. Existen dos tipos de fuentes radiactivas: encapsuladas y no encapsuladas.

5.2.1. Fuente encapsulada.

Es todo material radiactivo herméticamente sellado o con una envoltura lo suficientemente resistente para evitar, en condiciones normales de utilización, toda dispersión de material radiactivo.

En la IRA de la UMU existen varias fuentes encapsuladas para verificación de los detectores de radiación y contaminación y para calibración del SPECT/CT.

5.2.2. Fuente no encapsulada

Fuente cuya presentación y condiciones normales de utilización no permiten prevenir la dispersión de la sustancia radiactiva (caso de gas, líquido y polvo radiactivo de utilización en Medicina Nuclear o en laboratorio).

En los laboratorios se utilizan fuentes no encapsuladas para investigación y para diagnóstico *in vivo* con radioisótopos con SPECT/CT

5.3. RIESGOS RADIOLÓGICOS EN LA IRA

Los riesgos derivados del manejo de fuentes de radiaciones ionizantes pueden ser:

- Irradiación: Siempre que una persona u objeto esté próxima a una fuente radiactiva existe riesgo de irradiación. Son producidos tanto por fuentes encapsuladas como no encapsuladas, así como por equipos de rayos X.



- Contaminación: La incorporación en un medio de una sustancia radiactiva ajena a él, origina la contaminación radiactiva de dicho medio. Se debe fundamentalmente a fuentes no encapsuladas.

Teniendo en cuenta los isótopos y actividades manipuladas en los laboratorios de la Instalación Radiactiva de la UMU y los blindajes de los equipos de rayos X (difractómetros e irradiador), los riesgos de irradiación son prácticamente despreciables, excepto para el caso del SPECT-CT. Sin embargo en todas las manipulaciones hay riesgo de contaminación radiactiva por el continuo manejo de fuentes no encapsuladas.

5.4. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de la transferencia de la energía de dichas radiaciones a las moléculas de las células. La energía absorbida produce excitaciones o ionizaciones de las moléculas y, por tanto, modificaciones celulares como consecuencia de la modificación de sus moléculas constituyentes.

Para explicar la muerte celular por irradiación se han enunciado dos teorías: la teoría del blanco o de la acción directa y la teoría de la acción indirecta. En esencia, la primera supone que la muerte celular es consecuencia de daños infringido por la radiación directamente sobre el ADN nuclear. La segunda, en cambio, postula que las radiaciones ejercen un daño sobre el agua celular originando una cadena de reacciones que acaban matando a la célula.

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes se pueden clasificar como:

- Estocásticos. Se caracterizan por una relación dosis-efecto de naturaleza probabilística. Son aquellos cuya probabilidad de incidencia y no su gravedad son función de la dosis. Son los genéticos y carcinogénicos y para ellos no existe dosis umbral.
- Deterministas. Tienen una relación directa dosis-efecto. Sólo se manifiestan si la dosis recibida supera un determinado umbral de dosis. Su gravedad depende de la dosis recibida.



5.5. OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Los objetivos fundamentales de la protección radiológica son:

- Prevenir o impedir la producción de efectos biológicos no estocásticos, reduciendo la dosis por debajo del umbral, estableciendo para ello límites lo suficientemente bajos.
- Limitar la probabilidad de incidencia de efectos biológicos estocásticos, hasta valores que se consideren aceptables.

5.6. LÍMITES DE DOSIS

Los límites de dosis actualmente en vigor, recogidos en el Real Decreto 783/2001 por el que se aprueba el Reglamento de protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, son valores que no deben ser sobrepasados, y se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa durante el período considerado.

En el cómputo de las dosis totales, no se incluirán las dosis debidas al fondo radiactivo natural, ni las derivadas de exámenes o tratamientos médicos que eventualmente se pueda recibir como paciente.

Los límites de dosis se esquematizan en la siguiente tabla:

Tipo de personas	Límite Anual de Dosis (LAD) (mSv)			
	Total	Cristalino	Piel	Extremidades
Trabajadores expuestos	100*	150	500**	500
Mujeres embarazadas	1 (feto)	-	-	-
Estudiantes > 18 años	100*	150	500	500



Estudiantes < 18 años	6 (año)	50	150	150
Público y < 16 años	1 (año)	15	50	-

* En todo periodo de 5 años consecutivos, sin superar 50 mSv en cualquier año oficial.

** Promediado a 1 cm² de superficie, con independencia de la zona expuesta.

5.7. CLASIFICACIÓN DEL PERSONAL EXPUESTO

Por razones de seguridad, vigilancia y control radiológico, los trabajadores profesionalmente expuestos se clasifican en dos categorías:

Categoría	Definición
A	Personas que por razones de su trabajo pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades.
B	Personas que por razones de su trabajo es muy improbable que reciban una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para cristalino, piel y extremidades.

Todos los trabajadores y usuarios expuestos de la UMU son considerados de **tipo B** a efectos de clasificación para trabajar con radiaciones ionizantes, ya que resultará muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv/año..

5.8. CLASIFICACIÓN DE ZONAS

Los lugares de trabajo se clasificarán, en función del riesgo de exposición, el riesgo de contaminación y la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales, en las zonas recogidas por la siguiente tabla:



Zona	Definición	Color
Vigilada	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 equivalente para cristalino, piel y extremidades	Gris
Controlada	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 equivalente para cristalino, piel y extremidades.	Verde
Permanencia limitada	Existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis.	Amarillo
Permanencia reglamentada	Existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis en cortos periodos de tiempo.	Naranja
Acceso prohibido	Existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis en una exposición única.	Rojo

Las dependencias de la IRA de la UMU están clasificadas como zona vigilada y zona controlada, según sus características.

5.9. SEÑALIZACIÓN

El riesgo de irradiación vendrá señalizado mediante su símbolo internacional: un "trébol" enmarcado por una orla rectangular del mismo color y de idéntica anchura que el diámetro del círculo interior del mismo.

Cuando exista solamente riesgo de radiación externa y el riesgo de contaminación sea despreciable, el "trébol" vendrá rodeado de puntas radiales. Si el riesgo es de contaminación y el de radiación es despreciable el "trébol" irá sobre campo punteado. Si existen ambos riesgos irá rodeado de puntas radiales y sobre campo punteado.



Además, en la parte superior de la señal, una leyenda indicará el tipo de zona, y en la inferior otra el tipo de riesgo.

6. RADIOISÓTOPOS AUTORIZADOS Y ACTIVIDADES MÁXIMAS

En las siguientes tablas se recogen las fuentes no encapsuladas autorizadas para cada dependencia, así como sus actividades máximas:

6.1. RADIONUCLEIDOS NO ENCAPSULADOS: CAMPUS DE ESPINARDO

	Lab Rad. SRR (SACE)		Lab.Rad. Genética y Microbiología(FAC. BIOLOGÍA)	
	mCi	MBq	mCi	MBq
C-14	4	148	4	148
H-3	5	185	2	74
P-32	5	185	5	185
P-33	5	185	5	185
S-35	60	2220	2	74
Ca-45	5	185	na	-
Cr-51	5	185	na	-
I-125	4	148	na	-

na: no autorizado

6.2. RADIONUCLEIDOS ENCAPSULADOS: CAMPUS DE ESPINARDO

	Lab Rad. SRR (SACE)
Cs-137	185 kBq
Sr-90	220 Bq
Lu-176 (Lu ₂ O ₃)	450 Bq



6.3. RADIONUCLEIDOS NO ENCAPSULADOS: CAMPUS DE CIENCIAS DE LA SALUD

SPECT-CT (CEIB)		
	mCi	MBq
Tc-99	20	740
I-131	20	740
I-123	20	740
In-111	20	740
Tl-201	20	740
Ga-67	20	740

108,1 mCi = 4 GBq

	Lab. Rad. 1 (009) (CEIB)		Lab. Rad. 2 (009A) (CEIB)	
	mCi	MBq	mCi	MBq
H-3	5	185	5	185

Lab. Rad. SRR (B1.0.027) (LAIB)		
	mCi	MBq
C-14	5	185
H-3	5	185
P-32	5	185
P-33	5	185
S-35	2	74
Ca-45	5	185
Cr-51	5	185
I-125	2	74

	Lab. Rad. A (B1.2.016) (LAIB)		Lab. Rad. B (B1.2.033) (LAIB)	
	mCi	MBq	mCi	MBq
H-3	< 1	< 37	< 1	< 37



6.4. RADIONUCLEIDOS ENCAPSULADOS: CAMPUS DE CIENCIAS DE LA SALUD

	SPECT-CT (CEIB)	
	mCi	MBq
Gadolinio-153	1	37
Cobalto-57	1	37
Bario-133	1	37

El material radiactivo se utilizará y almacenará exclusivamente en las dependencias citadas, quedando **terminantemente prohibido el almacenamiento y manipulación de material radiactivo fuera de los laboratorios autorizados.**

TRITIO ^3H

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 18,6 KeV

Período de semidesintegración: 12,4 años

Órgano crítico: Todo el cuerpo (proteínas)

Alcance en aire: 6 mm

Alcance en agua: 0,006 mm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: No necesita.

El tritio no es peligroso por su penetración, sino por su facilidad de intercambio con el hidrógeno de las proteínas. No es detectado por los monitores Geiger. Tampoco los dosímetros proporcionan información sobre la exposición al tritio, por ello hay que extremar las condiciones de trabajo para evitar la contaminación ambiental y personal. Al acabar los experimentos realizar un frotis de la superficie en la que se realizó el trabajo y de los aparatos utilizados. (Frotis = pasar un bastoncito o trozo de papel de filtro humedecido por la zona o aparato a controlar y medirlo en el contador de centelleo).



CARBONO ^{14}C

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 156 Kev

Período de semidesintegración: 5730 años

Órgano crítico: Todo el cuerpo (tejido graso)

Alcance en aire: 24 cm

Alcance en agua: 0,28 mm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.
Directa mediante Geiger de ventana fina o similar.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: No necesario, salvo con grandes actividades.

Mismas características que el tritio en cuanto a dosimetría, control de contaminación y eliminación de residuos.

La mayoría de los compuestos marcados con ^{14}C se metabolizan rápidamente y los metabolitos son eliminados como $^{14}\text{CO}_2$. Algunos compuestos y sus metabolitos se eliminan por la orina.

AZUFRE ^{35}S

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 167 Kev

Período de semidesintegración: 87,4 días

Órgano crítico: Todo el cuerpo

Alcance en aire: 26 cm

Alcance en agua: 0,32 mm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.
Directa mediante Geiger de ventana fina o similar.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: Necesario con alta actividad



Normas de trabajo: Utilizar pantalla de metacrilato, dosímetro y monitor Geiger de ventana fina. Si el compuesto es volátil (aminoácidos) usar campana extractora.

Los sulfatos inorgánicos se excretan rápidamente. El sulfuro orgánico se retiene durante un tiempo largo. La metionina se distribuye por todo el cuerpo.

FÓSFORO ³²P

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 1710 Kev

Período de semidesintegración: 14,3 días

Órgano crítico: Hueso

Alcance en aire: 610 cm

Alcance en agua: 0,76 cm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.
Directa mediante Geiger o similar.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: Mínimo 1 cm de metacrilato. Con actividades elevadas (>2,5 mCi) añadir plomo para apantallar la radiación de frenado. Nunca utilizar sólo plomo para apantallar.

Normas de trabajo: Utilizar pantalla de metacrilato, dosímetro y monitor de radiación.

Posee un metabolismo complejo: el 30% se elimina rápidamente del cuerpo, el 40% tiene, aproximadamente, 19 días de vida media y el 30% restante se reduce por decaimiento radiactivo.

FÓSFORO ³³P

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 249 KeV

Período de semidesintegración: 25,4 días

Órgano crítico: Hueso

Alcance en aire: 50 cm

Alcance en agua: 0,06 cm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.



Directa mediante Geiger de ventana fina o similar.

- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: 1 cm de metacrilato. Con cantidades pequeñas se puede utilizar sin blindaje.

Normas de trabajo: Utilizar pantalla de metacrilato, dosímetro y monitor Geiger de ventana fina.

Posee un metabolismo complejo: el 30% se elimina rápidamente del cuerpo, el 40% tiene, aproximadamente, 19 días de vida media y el 30% restante se reduce por decaimiento radiactivo.

CALCIO ⁴⁵Ca

Emisión: Beta negativa

Energía máxima: 257 KeV

Período de semidesintegración: 163 días

Órgano crítico: Hueso, pulmón (inhalación)

Alcance en aire: 52 cm

Alcance en agua: 0,062 cm

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo líquido.
Directa mediante Geiger de ventana fina o similar.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: 1 cm de metacrilato.

Normas de trabajo: Utilizar pantalla de metacrilato, dosímetro y monitor Geiger de ventana fina.

iodo ¹²⁵I

Emisión: Gamma

Energía máxima: 35,3 KeV

Período de semidesintegración: 60 días

Órgano crítico: Tiroides

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo sólido.
Directa mediante Geiger o similar.
- Interna: Control de tiroides, análisis de orina.



Blindaje: Plomo de 1-2 mm, con 0,25 mm se reduce la dosis 10 veces, vidrio o metacrilato plomado. Actividades pequeñas se pueden apantallar con papel de estaño.

Normas de trabajo: Utilizar siempre pantalla de plomo o metacrilato plomado. Proteger las muestras con plomo o papel de estaño. Marcar siempre en cabina extractora. Llevar dosímetro y utilizar un monitor gamma.

El yodo es volátil y se concentra en el tiroides. Aproximadamente el 66% del yodo ingerido se excreta rápidamente, el resto se absorbe en tiroides y se libera de forma lenta. En caso de contaminación interna bloquear la captación de yodo por el tiroides administrando yodo estable (por ejemplo: 120 mg de IK).

CROMO ^{51}Cr

Emisión: Gamma

Energía máxima: 320 KeV

Período de semidesintegración: 27,7 días

Órgano crítico: Intestino grueso (compuestos solubles) y pulmón (compuestos insolubles)

Detección:

- Externa: Indirecta por frotis y centelleo sólido.
Directa mediante Geiger o similar.
- Interna: Análisis de orina.

Blindaje: Para 1 mCi, 2 mm de plomo.

Normas de trabajo: Utilizar siempre pantalla de plomo o metacrilato plomado. Proteger las muestras con plomo o papel de estaño. Marcar siempre en cabina extractora. Llevar dosímetro y utilizar un monitor gamma.



OTROS RADIONUCLEIDOS (SPECT-CT)

Radionucleido	T1/2	Tipo Radiación	Energía (MeV)
Tc-99	6,02 horas	Gamma	0,140
I-131	8,02 días	Beta Gamma	0,606 0,364
I-123	13,2 horas	Gamma	0,159
In-111	67,92 horas	Gamma	0,245 0,171
TI-201	72,96 horas	Gamma	0,167
Ga-67	78,24 horas	Gamma	0,090 0,180 0,300

7. DETECCIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

7.1. INTRODUCCIÓN

La detección de las radiaciones ionizantes en la IRA se realiza de dos formas:

- Medida directa: mediante detectores portátiles.
- Medida indirecta: mediante frotis y contador de centelleo.

7.2. MEDIDA DIRECTA

La medida directa de radiación o de contaminación se obtiene siempre que las características de dicha radiación lo permitan y siempre que se haya seleccionado el detector más adecuado. En



cada laboratorio de la IRA debe existir un detector, sobre todo cuando hay riesgo de contaminación por radionucleidos 'medibles'. Además, en la SRR se dispone de varios detectores y fuentes de verificación.

Marca	Modelo	Intervalo medida	Ubicación
Berthold -Sonda contaminación -Sonda radiación	LB 123 UMo LB 6357 LB 6124	0.001 - 500.000 cps $10^{-1} - 10^5 \mu\text{Sv/h}$	SRR (SACE)
Berthold	LB 133-1	0.03 - 30.000 $\mu\text{Sv/h}$	SRR (SACE)
Thermo	RadEye B20	0 - 10,000 cps 0 - 2 mSv/h (200 mR/h)	SRR (SACE)
Unidos E -Cámara de ionización	T10009 TW 30010	$5 \times 10^{-3} - 5 \text{ Gy}$ 0,01 - 300 mGy/min	SRR (SACE)
Mini Instruments SmartION	2120 S	1 - 500 mSv/h 1 - 500 μSv	SRR (SACE)
Technical Associates	Pug-1. Sonda P8	0 - 30 mR/h 0 - 500 cpm	SRR (SACE)
Mini Instruments	Mini 5 – 10 EB	0 - 2 kcps	SRR (SACE)
Lamse	Eris1D	0,01 mSv/h - 3 mSv/h. 0.00 cps - 10 Kcps	SRR (SACE)
Ludlum	Model 3	0 - 200 mR/h 0 - 400 kcpm	SRR (LAIB)
Mini Instruments	Mini 900 E	0 - 2 kcps	Genética (Biología)
Philips	PW 4544/07	0 - 200 mR/h	SUIC (SACE)
SE International	Inspector EXP	0,01 $\mu\text{Sv/h}$ – 1000 $\mu\text{Sv/h}$. 0 – 300000 cpm	SPECT-CT (CEIB)



La verificación de estos detectores se realiza con periodicidad semestral, y en caso de ser necesario, con el fin de comprobar que funcionan correctamente. Para ello se emplean las siguientes fuentes encapsuladas de chequeo:

Fuente de chequeo	Actividad nominal	Fecha	Autorización
Sr-90	220 Bq	19-04-1992	Exenta
Cs-137	185 kBq	14-07-2010	IRA-1684 (16-06-2010)
Lu ₂ O ₃ (9 g)	450 Bq	nc	Exenta

Los detectores de mayor uso son calibrados según consta en el Procedimiento correspondiente en una entidad autorizada y con una periodicidad determinada.

7.3. MEDIDA INDIRECTA

Cuando se trata de medir radionucleidos de energía baja como el ³H, con poca actividad o en lugares inaccesibles al detector, se recurre a la medida indirecta. Esta consiste en la toma de muestras de distintas zonas mediante frotis húmedo y posterior medida en contador de centelleo sólido para emisores gamma y adición de cóctel de centelleo y medida en contador de centelleo líquido para emisores beta.

La SRR efectúa medidas indirectas con periodicidad semestral y siempre que sea necesario.

Los resultados de las verificaciones, calibraciones y medidas indirectas quedan recogidos en el Diario de Operaciones de la IRA.

8. CONTROL DE LA RADIACIÓN Y CONTAMINACIÓN

Su finalidad es hacer una estimación de los niveles de radiación y contaminación en los lugares de exposición para evitar trabajar por encima de los Límites Anuales de Dosis (LAD)

8.1 NIVELES DE REFERENCIA



Los Niveles de Referencia son valores de las magnitudes medidas por encima de las cuales se debería tomar alguna acción o decisión especificada. Estos valores no representan una demarcación entre algo seguro y algo peligroso, pero si constituyen una herramienta para optimizar los procedimientos de trabajo con radiaciones ionizantes.

En las áreas sanitarias e investigación y docencia, los niveles de referencia se clasifican en:

- Niveles de registro: valores por encima de los cuales los resultados deben ser registrados en el D.O. y en el Informe Anual de la IRA.
- Niveles de investigación: valores por encima de los cuales se deben examinar las causas de una posible desviación en los niveles de seguridad de la IRA.

Ambos niveles se aplican, fundamentalmente, a la exposición ocupacional con particular referencia a la monitorización personal y de áreas de trabajo.

Niveles de registro e investigación para contaminación superficial (Bq/cm^2)						
Tipo de zona	Clase A (^{125}I , ^{32}P , ^{35}S)		Clase B (^{51}Cr)		Clase C (3H , ^{14}C)	
	Registro	Investigación	Registro	Investigación	Registro	Investigación
Controlada	1,5	7,5	15	75	150	750
Superficie corporal	0,15	0,75	1,5	7,5	15	75
Vigilada	0,15	0,75	1,5	7,5	15	75

Nivel de registro para tasa de dosis:

- Zona Vigilada (LAD más de 1 mSv): 0,5 $\mu Sv/hora$
- Zona Controlada (LAD más de 6 mSv/año) 3 $\mu Sv/hora$

(Para el cálculo de ambos valores se ha considerado 2000 horas de trabajo al año).

8.2 FORMAS BASICAS DE PROTECCIÓN

8.2.1. Para reducir la irradiación



Se consigue controlando tres parámetros:

Distancia

Debe ser la máxima posible entre el usuario y la fuente. Conviene tener en cuenta que la dosis recibida a una distancia "d" de la fuente es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia:

$$\text{Dosis (D)} = 1 / d^2$$

Tiempo

Debe ser el menor posible. La dosis acumulada D por una persona en un área donde la tasa de dosis es D* durante un tiempo t es:

$$D = D^* \cdot t$$

Así, cuanto menor sea el tiempo invertido en realizar una determinada operación, menor será la dosis recibida.

Blindaje

Cuando la combinación de tiempo y distancia no reduce la dosis a niveles permisibles, hay que interponer una barrera de material absorbente entre la fuente y el usuario para atenuar la radiación. Para emisores beta energéticos, como es el caso del ³²P, se utilizan materiales plásticos formados por elementos de bajo número atómico (metacrilato con 1 cm de espesor). Para emisores gamma se emplean pantallas de materiales con alto número atómico, generalmente plomo o metacrilato plomado.

8.2.2. Para reducir la contaminación

Las precauciones generales a tener en cuenta para reducir la contaminación son:

- Emplear la mínima cantidad posible de radionucleido necesaria para el resultado que se quiera conseguir.
- Utilizar sistemas de confinamiento y retención: bandejas o similares cubiertas con papel absorbente.
- Utilizar siempre que sea necesario el detector.



- Emplear sistemas de descontaminación.
- Cumplir las normas de trabajo.

8.3 PROCEDIMIENTOS DE DESCONTAMINACIÓN RADIATIVA

Se pueden distinguir los procedimientos de descontaminación en función de si la contaminación es de los objetos y superficies de trabajo (**contaminación de superficies y objetos**) o del propio usuario (**contaminación personal**).

Hay que recordar que cada persona sabe con qué, cuánto, cómo y dónde ha realizado su trabajo y que, por lo tanto, es la más adecuada para proceder a su limpieza.

8.3.1. Descontaminación de superficies y objetos.

- En primer lugar hay que evitar que continúe avanzando la contaminación, limitando con papel su avance, colocando recipientes, etc.
- Seguidamente hay que identificar perfectamente la zona contaminada y señalizarla en ese mismo momento (para ello hay tiras de papel adhesivo con la señal internacional de radiactividad).
- Llegados a este punto hay que valorar si procede la descontaminación (y estudiar en su caso el método a emplear), esperar el decaimiento o sencillamente tratar el objeto contaminado como un residuo y deshacernos de él. Esta última opción se considerará en el caso de ser un objeto de escaso valor económico y fácilmente sustituible.
- Si decidimos descontaminar, siempre se debe comenzar por procedimientos menos enérgicos para, comprobando periódicamente la contaminación que va quedando, pasar a procedimientos más enérgicos. Los lavados serán siempre desde la zona periférica de la superficie contaminada hacia el centro para disminuir la posibilidad de extender la contaminación.
- De manera genérica se usará líquido descontaminante comercial (disponible en la SRR) diluido a la proporción que aconseje el fabricante o bien agua jabonosa. Con dicho líquido se impregnarán papeles con los que se frotará la superficie contaminada monitorizándose con el detector la radiactividad remanente. Si esto no fuera suficiente se podrán utilizar otro tipo de sustancias limpiadoras más específicas (véase punto siguiente) junto con métodos más abrasivos, como cepillos suaves y, si persistiese la contaminación, estropajos o métodos más enérgicos. Todos los líquidos y sólidos utilizados serán considerados como residuos.



-En el supuesto de que no se pueda lograr una descontaminación total, se procederá a cubrir la superficie contaminada con material adhesivo e identificar perfectamente la zona contaminada. Los procesos de descontaminación y descontaminantes utilizados en distintas superficies se detallan a continuación:

Para todo tipo de superficies:

- Solución de detergente comercial.
- EDTA 10 % (conviene neutralizar a pH 7 con NaOH).

Para material de laboratorio y equipos:

- Superficies pintadas: agua con detergente comercial. Si no desaparece usar un disolvente como acetona.
- Superficies barnizadas: disolvente (xileno). Si no desaparece, usar papel de lija (con mascarilla).
- Acero inoxidable: ácido fosfórico o sulfúrico al 3, 5 ó 10%.
- Metales: ácido nítrico al 10%.
- Vidrio: mezcla crómica.

8.3.2. Descontaminación personal.

Se distinguen en este caso la contaminación **externa** (piel, ojos, pelo...) e **interna** (interior del organismo). En cualquiera de los casos hay que informar a los Supervisores inmediatamente y a la SRR.

Descontaminación personal externa:

No hay que utilizar procedimientos muy abrasivos, que dañen la piel, puesto que favorecería que la contaminación penetrara en el organismo por esas erosiones. También conviene saber que el calor dilata los poros favoreciendo la entrada de sustancias radiactivas, por ello es recomendable



usar agua fría en vez de caliente en los lavados de la piel contaminada. No utilizar disolventes orgánicos.

En general el procedimiento a seguir sería el siguiente:

1º Abandonar el área contaminada inmediatamente, trasladarse a una zona limpia de la instalación y ponerse en contacto con la SRR o con el supervisor de la IRA.

2º Quitarse la ropa exterior contaminada porque esto reduce considerablemente la dosis recibida y el riesgo de incorporación; depositar la ropa contaminada en una bolsa de plástico y en una zona no de paso para evitar la exposición del personal.

3º Lavarse inmediatamente con abundante agua y jabón, evitando extender la contaminación a otras partes limpias del cuerpo.

4º Si se han producido heridas en la piel, el lavado inicial será de arrastre con agua abundante.

Descontaminación interna:

Pueden existir tres vías de contaminación interna: absorción (heridas abiertas), inhalación o ingestión. Es muy importante saber con precisión qué vía de contaminación es la ocurrida, en qué momento, qué isótopo es el causante y cuánta actividad estaba manejando la persona afectada.

La actuación, en cualquier caso siempre guiada por el Supervisor, dependerá del tipo de vía de entrada del radioisótopo:

-Por absorción (heridas abiertas): La incorporación se producirá a través de vasos sanguíneos o linfáticos. Se debe actuar lo más rápidamente posible:

- Se someterá la herida a un chorro de agua a presión hasta que sangre.
- Se monitorizará la contaminación.
- Se lavará la herida con agua oxigenada o suero fisiológico.
- Se aplicará un antiséptico y pomada antibacteriana.



-Se cubrirá para evitar la infección y posible dispersión de restos de contaminación.

-Por inhalación o ingestión: Se favorecerá la eliminación del contaminante aumentando la diuresis o provocando vómitos o expectoración, para intentar evitar o reducir la incorporación del contaminante al interior del organismo.

9. NORMAS GENERALES SOBRE EL USO DE RADIOISÓTOPOS

La norma básica para todo tipo de trabajo con material radiactivo es no exponer a las persona ni al entorno a radiación innecesaria ni excesiva. Para ello se deben aplicar a los experimentos con radiactividad los siguientes principios:

- MINIMA ACTIVIDAD compatible con el experimento.
- MÍNIMO TIEMPO de exposición.
- MÁXIMA DISTANCIA a la fuente emisora.
- BLINDAJE adecuado al radisótopo utilizado.

Además de las normas del Reglamento de Funcionamiento, se deben tomar las siguientes precauciones:

- No fumar, no comer ni beber en el laboratorio.
- Usar siempre bata con puños ajustables y, si es necesario, utilizar manguitos de material impermeabilizado.
- Es conveniente utilizar dos pares de guantes de nitrilo (o látex) durante la manipulación de material radiactivo. Si es necesario, usar guantes plomados para emisores gamma.
- En caso necesario, utilizar calzas o cubrecalzados.
- En zonas con riesgo de irradiación, se utilizarán delantales plomados.
- Para proteger de salpicadura, emplear gafas o pantallas faciales.
- En caso de manipulación de productos volátiles, usar la cabina extractora. Si no se dispone de sistema de ventilación adecuado, se utilizará máscaras buconasales dotadas de filtro de carbón activo.



- Trabajar sobre bandeja y papel absorbente.
- Utilizar siempre la pantalla de protección adecuada. Pantalla de metacrilato para emisores β y pantalla de vidrio plomado o metacrilato plomado para emisores γ .
- Utilizar pipetas automáticas y puntas con filtro. Nunca pipetear con la boca.
- Utilizar pantallas protectoras de mano montadas en las pipetas.
- Durante la manipulación del isótopo tener conectado el monitor adecuado.
- Comprobar la ausencia de contaminación en la zona de trabajo, aparatos, superficies, etc., antes y después de realizar el experimento.
- Eliminar los residuos de la forma adecuada según el tipo de isótopo.
- Lavarse siempre las manos después de trabajar con material radiactivo, aún habiendo utilizado guantes.
- En caso de contaminación, se procederá a descontaminar a la mayor brevedad posible.
- Comunicar e informar de las operaciones que conlleven cierto riesgo a las personas que estén en el entorno o área de trabajo.
- Usar tubos de tapón de rosca para muestras marcadas de alta actividad y en la centrifugación de muestras radiactivas.
- Registrar las operaciones que se lleven a cabo: anotar cada día de trabajo en el Libro de Registro del laboratorio.
- Utilizar dosímetro personal cuando sea necesario.

Actualización 2: junio 2015

Autora: María Dolores Alcázar Fernández