La protección radiológica en el medio sanitario / CSN

Referencia: SDB-04.05

© Consejo de Seguridad Nuclear, 2012

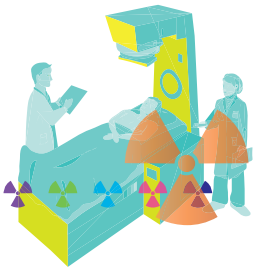
Edita y distribuye:
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid
Tel.: 91 346 01 00
Fax: 91 346 05 88
www.csn.es
correo: peticiones@csn.es

Diseño de colección:
Juan Vidaurre

Imprime: Grafo, S.A.

Depósito Legal: M-39878-2012

Impreso en papel reciclado



Las radiaciones ionizantes	**5**
Aplicaciones médicas	**14**
Riesgos de la radiación	**21**
Efectos biológicos	**24**
El sistema de proteccion radiologica	**26**
Aplicación del sistema de proteccion radiológica	**32**
Medidas de protección radiológica	**41**
Producción y gestión de residuos radiactivos	**47**
Funciones y responsabilidades	**50**
Glosario	**54**
Principales disposiciones legales	**60**

Las radiaciones ionizantes

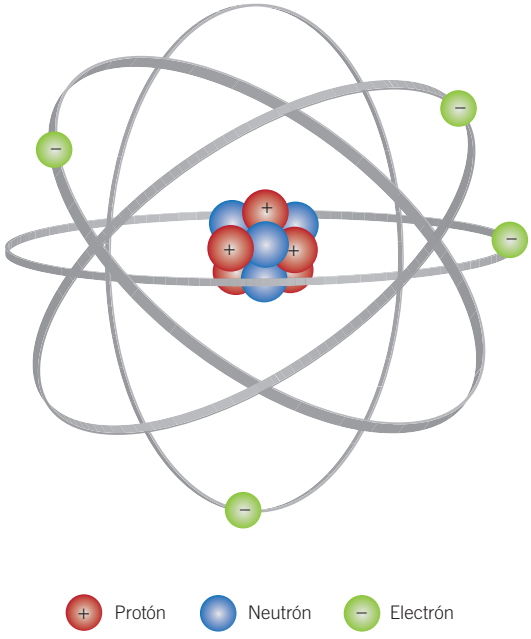
Introducción

Las radiaciones ionizantes son aquellas que debido a la energía que poseen, al interaccionar con la materia producen ionizaciones en la misma, es decir, modificaciones tanto a nivel atómico como molecular. La materia está formada por átomos, componentes esenciales de todo lo que nos rodea, constituidos por un núcleo, parte central del átomo con carga eléctrica positiva (formado por neutrones y protones ambos denominados nucleones) y la corteza que es la parte más externa, de carga eléctrica negativa (formada por electrones).

Para describir completamente un átomo se utiliza la siguiente representación: ${}^{N}_{Z}X$, siendo X el símbolo del elemento químico y A y Z el número de nucleones y protones respectivamente.

Un "elemento químico" o simplemente un "elemento", es el conjunto de átomos que tienen el mismo número de protones en el núcleo. Este número se denomina "número atómico" del elemento. Los átomos de un mismo elemento tendrán todos, en estado neutro, el mismo numero de electrones periféricos (mismas propiedades químicas). Por el contrario pueden tener distinto número de neutrones en su núcleo y en estos casos estos átomos se denominan "isótopos" (isótopos del hidrógeno: ${}^{1}H$, ${}^{2}H$, ${}^{3}H$).

La radiactividad está ligada a la desintegración de los núcleos de ciertos átomos particulares denominados por esta razón radiactivos. Durante esta desintegración hay emisión de partículas α o β o radiación electromagnética, radiación γ, hasta que los átomos encuentran su estabilidad. Estas desintegraciones se pueden observar en la naturaleza, en cuyo caso hablamos de la radiactividad natural, o producirse por el ser humano y hablamos de la radiactividad artificial. Se denomina radionucleido a un isótopo radiactivo de un elemento que posee isótopos estables y radiac-



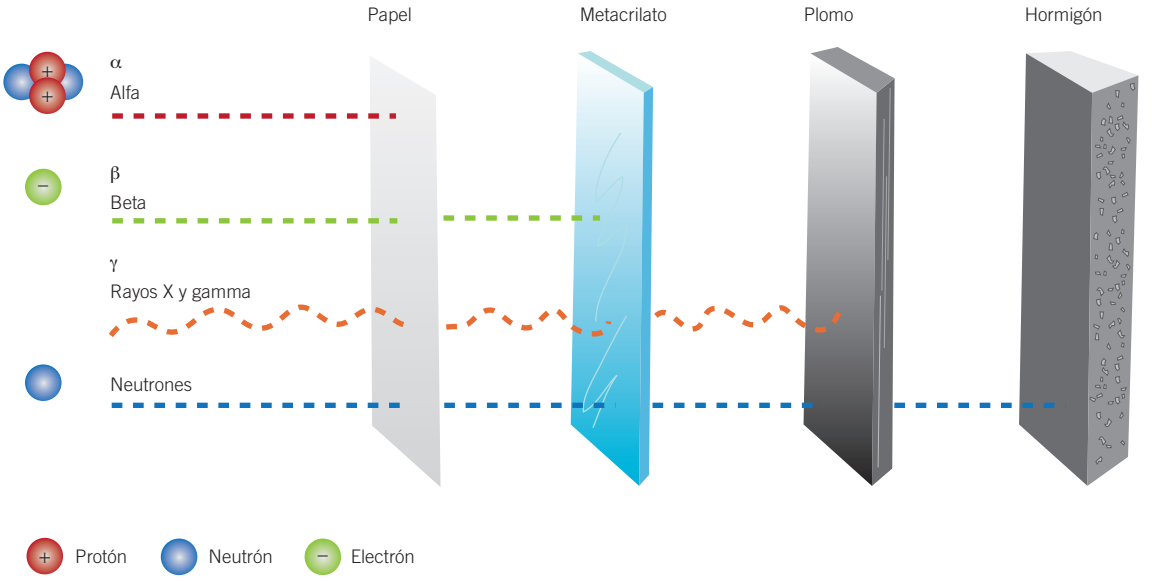
Estructura del átomo.

tivos (^{137}Cs) y radioelemento a un elemento cuyos isótopos son todos radiactivos (uranio). El tiempo necesario para que la mitad de los átomos radiactivos inicialmente presentes en una muestra se desintegren se denomina "periodo de semidesintegración".

Tal y como se observa en la siguiente figura, atendiendo a la penetración en la materia, las partículas alfa (formadas por dos neutrones más dos protones) penetran muy poco en la materia, por ello no presentan riesgo cuando actúan desde el exterior del organismo humano pero sí en caso de su incorporación al mismo, ya que tienen un gran poder de ionización en una distancia muy corta.

Las partículas beta (formadas por electrones negativos: β^- o positivos: β^+), son mucho más ligeras que las alfa y por tanto tienen un mayor poder de penetración.

Dentro de la radiación de naturaleza electromagnética tenemos la radiación gamma (γ) y los rayos X (de origen atómico como consecuencia de ajustes electrónicos en la corteza), ambas con un importante poder de penetración que depende de su energía.



Tipos de radiaciones ionizantes.

Un poco de historia

A principios del año 1896, Henri Antoine Becquerel, premio Nobel de Física en 1903, descubrió que un compuesto de uranio, sustancia natural, emitía espontáneamente radiaciones ionizantes. Dos años más tarde el matrimonio Pierre y Marie Curie, que compartieron el premio Nobel de Física con Becquerel, encontraron que otra sustancia llamada torio emitía el mismo tipo de radiación que el compuesto de uranio. Las investigaciones de estos dos científicos condujeron al descubrimiento de un nuevo elemento llamado radio que tuvo importantes aplicaciones en el campo de la medicina. Las emisiones producidas por estos y otros elementos naturales, llamados radionucleidos, constituyen lo que se conoce como radiactividad natural. Su existencia data desde el origen de la tierra. Desde que nacemos hasta que morimos vivimos inmersos en un medio, en el cual convivimos con un determinado nivel de radiación. Los causantes de esta radiación natural son los radionucleidos naturales y la radiación cósmica. El ser humano, en las últimas décadas, ha sido capaz de generar nuevos radionucleidos, y a la radiación que emiten se la conoce con el nombre de radiación artificial. Las radiaciones ionizantes se utilizan, entre otros muchos campos, en la investigación, la industria y en el área sanitaria desde la triple vertiente diagnóstica, terapéutica investigadora.

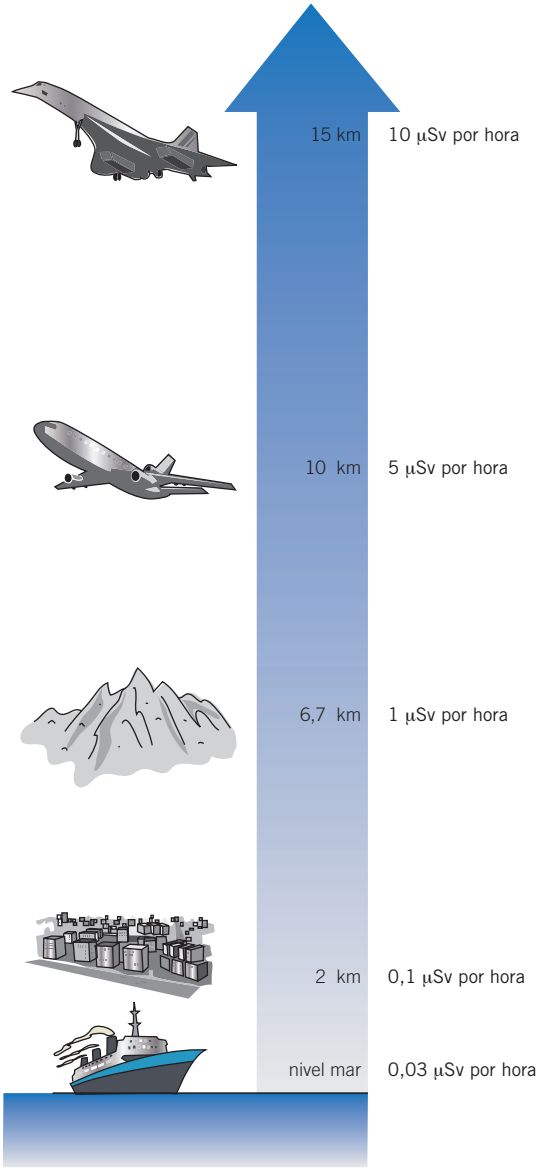
Radiación natural

Los seres vivos han estado siempre expuestos a fuentes naturales de radiaciones ionizantes. Una característica distintiva de la irradiación natural es que afecta a toda la población mundial con una intensidad relativamente constante a lo largo del tiempo con variaciones geográficas.

Parte de la radiación de fondo presente en la superficie de la tierra procede del espacio y se conoce como radiación cósmica. La atmósfera, actuando como filtro natural, evita que la mayor parte de esta radiación alcance la superficie terrestre. La exposición a la radiación procedente del espacio es variable dependiendo de la altitud, siendo mínima a nivel del mar. También varía, aunque en menor medida, en función de la latitud, siendo de menor intensidad en el ecuador que en los polos, debido a la acción del campo magnético terrestre.

Además hay que tener en cuenta que los rayos cósmicos al interaccionar con la atmósfera, la biosfera y la litosfera generan radionucleidos denominados cosmogénicos, que también forman parte del fondo natural.

La radiación procedente del suelo es denominada radiación terrestre. Depende de la concentración de radionucleidos en la corteza terrestre



Radiación cósmica.

y por lo tanto la exposición de las personas, debida a esta radiación varía considerablemente dependiendo de la zona en la que habitan.

Otras sustancias radiactivas naturales se encuentran presentes en el aire, los alimentos y el agua, y son incorporadas al interior del organismo con la dieta y la respiración, dando lugar a la conocida como exposición interna.

En la tabla de dosis medias mundiales se aprecia el rango de variación de la dosis efectiva anual (ver apartado sobre magnitudes y unidades) para las diversas fuentes de radiación natural. La dosis efectiva debida a la irradiación natural para un individuo medio hipotético está estimada en 2,42 mSv por año, pero el rango de variación osci-

Ejemplos de radionucleidos naturales

Radionucleidos naturales	Período de semidesintegración
Cosmogénicos	
Hidrógeno-3	12,3 años
Berilio-7	53,2 días
Carbono-14	$5{,}7 \times 10^3$ años
Sodio-22	2,6 años
De la corteza terrestre	
Potasio-40	$1{,}3 \times 10^9$ años
Rubidio-87	$4{,}7 \times 10^{10}$ años
Serie uranio-235	$7{,}0 \times 10^8$ años
Serie uranio-238	$4{,}5 \times 10^9$ años
Serie torio-232	$1{,}4 \times 10^{10}$ años

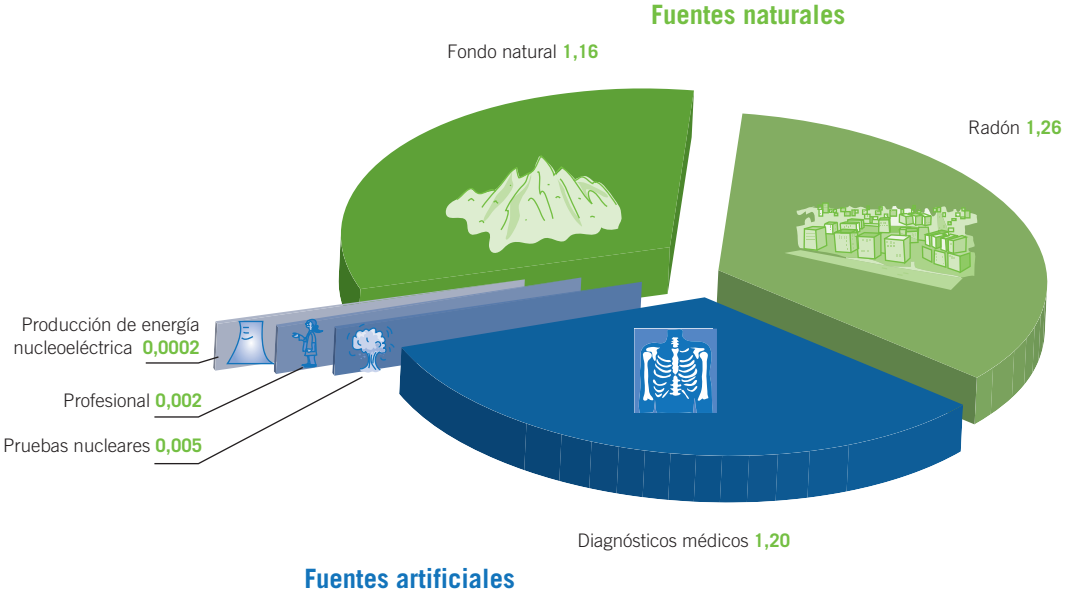
Dosis medias mundiales

Fuente	Dosis efectiva (mSv por año)	Rango típico (mSv por año)
Exposición externa		
Radiación cósmica	0,39	0,3-1,0
Radiación terrestre (Th-232, U-238, U-235, Ra-226)	0,48	0,3-0,6
Exposición interna		
Inhalación: U, Th, Rn, Tn	1,26	0,2-10
Ingestión: U, Th, K-40	0,29	0,2-0,8
TOTAL	**2,42**	**1-10**

Fuente: UNSCEAR 2000.

la entre 1 y 10 mSv por año según las distintas zonas de la tierra.

Cuando se comparan las dosis individuales medias en la población mundial debidas a las distintas fuentes (naturales y artificiales) se puede observar que la contribución de mayor entidad corresponde al fondo natural y dentro de éste un poco más de la mitad es debida al radón, gas noble procedente de la desintegración del radio (radio-226) y éste a su vez del uranio (uranio-238) que forman parte de la composición natural de los suelos y aguas terrestres. El radón debi-



Contribución en mSv de las diferentes fuentes radiactivas naturales y artificiales a la dosis efectiva por persona y año.

do a su naturaleza gaseosa emana del suelo y de los materiales de construcción pudiendo acumularse en el interior de edificios y cuevas, dando lugar a exposiciones que pueden ser importantes cuando los terrenos sobre los que se asientan los edificios exhalan concentraciones elevadas de estos dos radionucleidos y las condiciones de ventilación son insuficientes.

Radiación artificial

El comportamiento de los radionucleidos artificiales, las leyes por las que se rigen y el tipo de emisiones, son las mismas que para la radiactividad natural.

El período de semidesintegración de estos radionucleidos artificiales es, en general, inferior al de los radionucleidos naturales. De hecho, algunos de estos radionucleidos artificiales tienen períodos de semidesintegración de horas e incluso, excepcionalmente, de minutos.

Características y aplicación de algunos radionucleidos y radioelementos artificiales

Radionucleidos	Tipo de emisión	Periodo	Aplicación
Fósforo-32	β^-	14,3 días	Investigación
Yodo-131	β^-,γ	8 días	Diagnóstico, terapia
Iridio-192	β^-,γ	73,8 días	Terapia
Tecnecio-99m	γ	6 horas	Diagnóstico
Carbono-11	β^+	20,4 min	Diagnóstico

Los radionucleidos artificiales, en el mundo sanitario se utilizan para el diagnóstico en los servicios de Medicina Nuclear, para investigación en el campo de la Inmunología, la Hematología, la Biología Molecular, etc., y en terapia en los servicios de Medicina Nuclear y Oncología Radioterápica. Se utilizan también generadores de radiaciones ionizantes (rayos X y electrones), aplicados tanto en diagnóstico como en terapia.

Detección y medida de la radiación

Algunas manifestaciones de energía como el calor y determinados sonidos pueden ser claramente identificadas por nuestros sentidos. Sin embargo, nuestros sentidos no son capaces de detectar las radiaciones ionizantes, de ahí que se hayan diseñado equipos que ponen de manifiesto su existencia y además miden la cantidad de energía que estas radiaciones van a depositar en cualquier medio.

Magnitudes y unidades

De igual forma, que para determinar la cantidad de materia que poseen los cuerpos, se utiliza una magnitud llamada masa, cuya unidad es el kilogramo con sus múltiplos y submúltiplos,

en el campo de las radiaciones ionizantes, también se han establecido una serie de magnitudes y sus unidades correspondientes.

Actividad radiactiva

Es una magnitud que expresa la velocidad de desintegración de una cantidad determinada de sustancia radiactiva. Corresponde al numero de desintegraciones que sufre por unidad de tiempo y en un momento determinado, la muestra radiactiva considerada. Su unidad es el becquerelio (Bq) en honor del físico francés Becquerel. Un becquerelio es la desintegración de un átomo por segundo. Esta unidad es muy pequeña, los seres humanos en nuestra constitución somos portadores de actividades radiactivas entre 2.000 y 3.000 Bq debidas a dos radionucleidos naturales, (el carbono-14 y el potasio-40). Entre los múltiplos de esta unidad, los más utilizados en el área sanitaria son el kilobecquerelio (kBq), igual a 1.000 Bq, y el megabecquerelio (MBq) que tiene 1.000.000 Bq.

Dosis absorbida

Las radiaciones emitidas por las sustancias radiactivas interaccionan con la materia cediéndole energía. La cantidad de energía cedida se denomina “dosis absorbida”. Se expresa en gray (Gy) que corresponde a la energía de 1 julio cedida en un kilogramo de materia (1 Gy = 1 J/kg). En el campo de la protección radiológica, es frecuente el uso del miligray (mGy), ya que el gray es una unidad muy elevada.

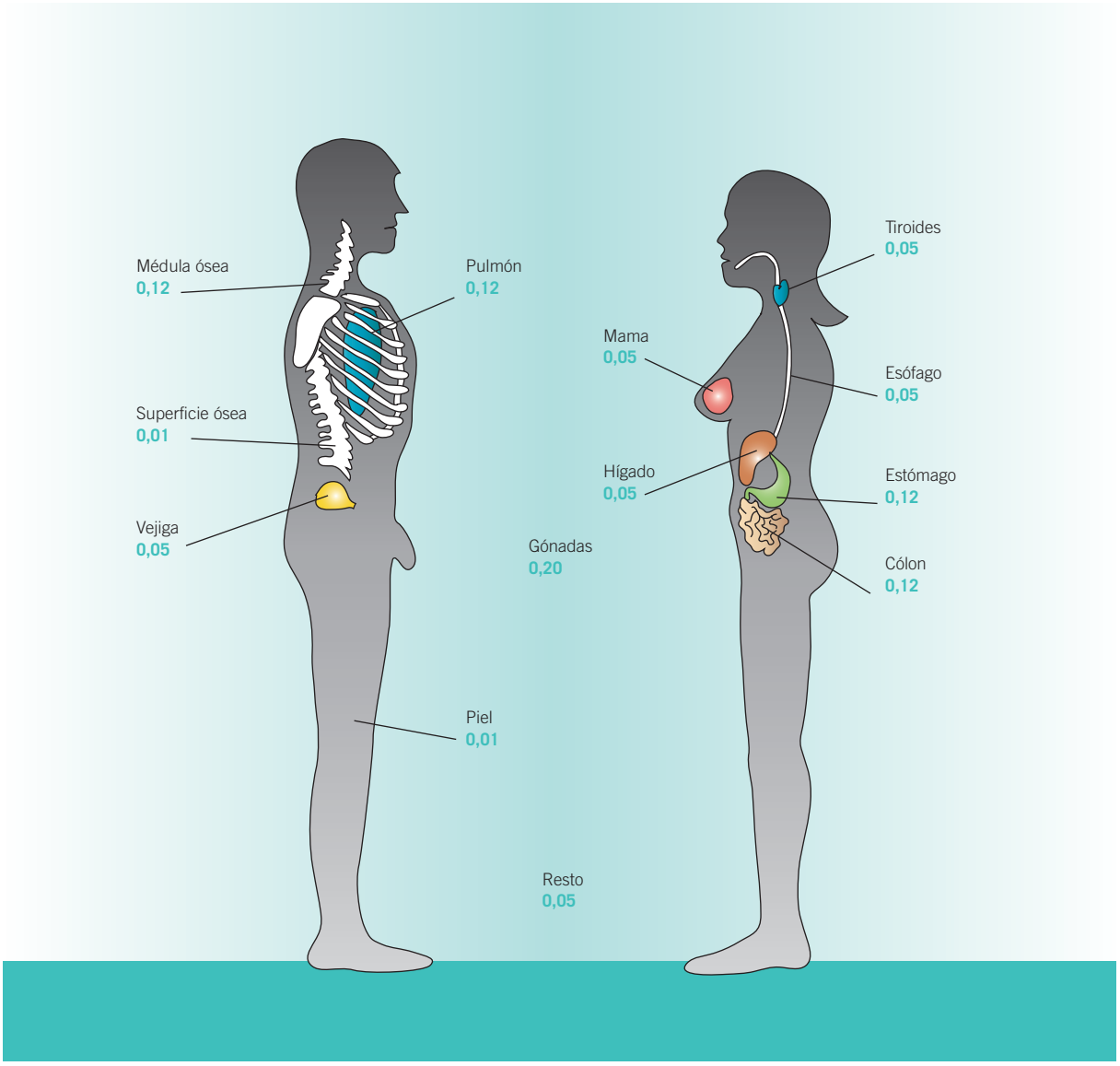
La dosis absorbida es insuficiente para expresar el efecto biológico que produce la radiación, ya que éste depende de la naturaleza y energía de la radiación y del tejido expuesto a la misma. Para tener en cuenta estos aspectos se introducen dos nuevas magnitudes: la dosis equivalente y la dosis efectiva.

Dosis equivalente

Es la dosis absorbida en un órgano o tejido (T), ponderada en función del tipo y calidad de la radiación R. Su unidad es el sievert (Sv). Se expresa mediante la expresión:

$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$
$H_{T,R}$ = Dosis equivalente
$D_{T,R}$ = Dosis absorbida promediada en el órgano o tejido procedente de la radiación R
W_R = Factor de ponderación de la radiación

El valor de la dosis equivalente H permite comparar, desde el punto de vista de la protección radiológica, los diferentes daños que la misma dosis absorbida puede causar, en un órgano o tejido, dependiendo del tipo de radiación y su energía.



Factores de ponderación W_T en el ser humano.
(Fuente: Anexo IIB. Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes)

Factores de ponderación de la radiación

Tipo y rango de energía	Factor de ponderación de la radiación
Fotones de todas las energías	1
Electrones de todas las energías	1
Neutrones (según energía)	5-20
Partículas alfa, fragmentos de fisión y núcleos pesados	20

Dosis efectiva

La dosis efectiva (E) es la suma ponderada de las dosis equivalentes en los distintos órganos y tejidos del cuerpo a causa de irradiaciones internas y externas. Su unidad es también el sievert (Sv). Se expresa mediante la siguiente expresión:

$E = \Sigma_T W_T . H_T$

E = Dosis efectiva

H_T = Dosis equivalente en el órgano o tejido T

W_T = Factor de ponderación del órgano o tejido T

El valor de la dosis efectiva E, nos da información sobre el riesgo global en el organismo humano.

Tanto la dosis equivalente como la dosis efectiva son magnitudes utilizadas en la reglamentación actual para establecer los límites de dosis aplicables a los trabajadores expuestos y a los miembros del público.

Magnitudes y unidades radiológicas

Magnitud	Fórmula	Símbolo	Unidad
Actividad		A	Becquerelio (Bq)
Dosis absorbida		D	Gray (Gy)
Dosis equivalente	$H_{T,R} = W_R . D_{T,R}$	H	Sievert (Sv)
Dosis efectiva	$E = \Sigma_T W_T . H_T$	DE	Sievert (Sv)

Aplicaciones médicas

Radiodiagnóstico

Es la primera de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes en medicina. Pocos meses después del descubrimiento de los rayos X por Roëntgen se efectuaron las primeras imágenes con fines de diagnóstico médico.

Se conoce con el nombre de radiodiagnóstico el conjunto de procedimientos de exploración y visualización de las estructuras anatómicas del interior del cuerpo humano mediante la utilización de rayos X. Ocupa un lugar preponderante entre las técnicas de imagen debido al gran número de instalaciones, de exploraciones que se realizan y de profesionales que se dedican a esta especialidad. La continua aparición de nuevas técnicas e indicaciones hace que día a día se incremente el número de actos médicos en los que se utilizan los rayos X.

Los rayos X se producen de forma artificial en un tubo de vacío aplicando una determinada tensión eléctrica (kV). Cuanto mayor es la tensión aplicada, mayor es la penetración de estos rayos. Ésta puede variar desde 25 kV para la mamografía hasta 140 kV en diagnóstico general.

La imagen radiográfica es una consecuencia de la diferente atenuación, que las distintas estructuras anatómicas del paciente producen en el haz de rayos X que incide sobre él.

Si a un paciente se le hace una radiografía de tórax, la parte de la radiografía correspondiente al pulmón estará más oscura que una zona que represente al hueso, ya que los pulmones fundamentalmente tienen aire y éste atenúa la radiación menos que el hueso, por tanto a esta parte de la película radiográfica llegará más radiación y aparecerá más oscura.

Radiografía convencional

En este caso, el receptor de la imagen radiográfica es una placa fotográfica. Al incidir el haz de rayos X sobre ella, ésta se impresiona formándose una imagen latente que se pondrá de manifiesto al revelar la placa.

Dentro de la radiología convencional, existen distintos tipos de exámenes radiológicos como son: tórax, abdomen, columna lumbar, columna cervical, columna dorsal, etc.

Especial consideración merece la mamografía utilizada para el diagnóstico precoz del cáncer de mama y otras patologías. Es una técnica en la que el equipo y el sistema de imagen utilizados deben poseer unas características especiales, ya que se trata de diagnosticar tumores en su estadio inicial. Por otra parte, los tejidos que forman la mama presentan muy poca variación en su densidad, de ahí que la película radiográfica a utilizar deba presentar unas características singulares que

permita poner de manifiesto variaciones mínimas de densidad y de pequeño tamaño.

Otro tipo de exploraciones convencionales muy habituales son las dentales. Se realizan con equipos especiales. Las radiografías más comunes en este campo son las intraorales y las ortopantomografías.

Fluoroscopia

Es la técnica en la que el receptor de la imagen radiográfica es una pantalla fluorescente que se ilumina al incidir sobre ella el haz de rayos X. La diferente intensidad de la luz emitida en las distintas partes de la pantalla produce la imagen. La intensidad de esta imagen luminosa que aparece en la pantalla es amplificada por medio de intensificadores de imagen y recogida por una cámara de televisión para ofrecerla en un monitor de TV.

En este caso la emisión de radiación puede prolongarse durante un cierto tiempo, para seguir a través de la pantalla de TV el proceso dinámico que se quiera observar.

A veces interesa observar regiones anatómicas cuya densidad es muy semejante a la zona que le circunda, en este caso para visualizarlas se utilizan contrastes. Un ejemplo de esta práctica son los estudios gastroduodenales, en los cuales el paciente debe tomar una papilla de bario durante el estudio.

Radiología digital

La aplicación de la informática al diagnóstico médico ha supuesto una importante incidencia en la obtención, almacenamiento y tratamiento de imágenes. El tratamiento digital de las imágenes médicas se utiliza en técnicas como la tomografía computarizada (TC), la angiografía digital, la medicina nuclear y, desde hace relativamente poco tiempo, se aplica ya en la radiología convencional.

Una característica muy importante de la imagen digital es que ésta se puede tratar, es decir, si una radiografía ha salido muy clara se le puede dar una mayor intensidad de grises, o si ha salido muy oscura se puede reducir su intensidad. También se pueden seleccionar determinadas zonas de la imagen para su estudio más detallado. En la actualidad, el desarrollo de la informática permite no solo el tratamiento sino también la transmisión de dichas imágenes a larga distancia y la posibilidad de su archivo electrónico. Además, permite disminuir el número de estudios repetidos por errores de la técnica de exposición, lo que conlleva una reducción de dosis a los pacientes.

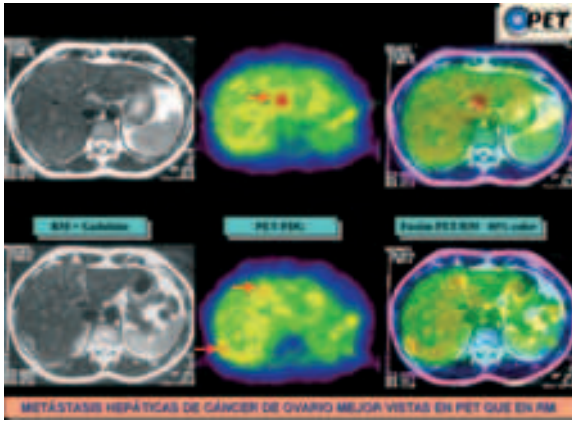
Una aplicación muy importante de este tipo de radiología es la sustracción digital, que consiste

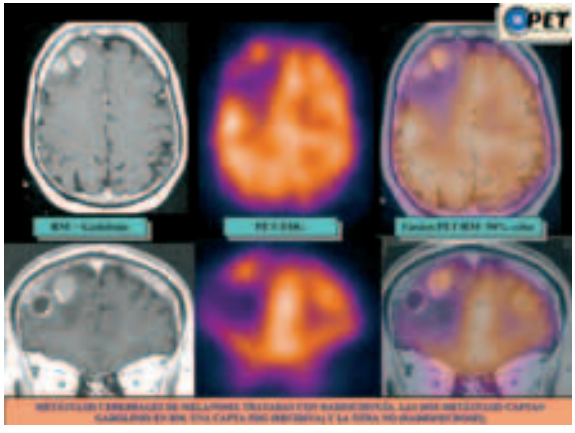
en eliminar de una imagen radiográfica, aquellas estructuras anatómicas que no se desea estudiar, destacando previamente la zona de interés, mediante la administración por vía intravenosa de contrastes.

Tomografía computarizada

Permite obtener imágenes de cortes transversales del cuerpo humano cuyo tratamiento informático posibilita su reconstrucción en tres dimensiones. Éstas, permiten visualizar con nitidez diversas estructuras anatómicas como: huesos, órganos, nervios, etc. y patologías que no se podían diagnosticar con la radiología convencional.

Se utiliza un haz de rayos X muy estrecho que gira alrededor del cuerpo del paciente. Las imágenes se construyen a partir de la información suministrada por unos detectores distribuidos sobre un arco, que reciben la radiación dispersada por el organismo.





Radiología intervencionista

La radiología intervencionista es una rama de la radiología, que mediante procedimientos mínimamente invasivos, diagnostica y trata diversas patologías, tanto en el sistema vascular como fuera de él. Por tanto existe una radiología intervencionista diagnóstica y otra terapéutica.

La radiología intervencionista terapéutica, evita en muchos casos a los pacientes cirugías más dolorosas, más incómodas y reduce el tiempo de hospitalización superior. Esta técnica, hoy día, tiene un campo de aplicación importante en el tratamiento del dolor, cuan-

do han fracasado otros procedimientos más convencionales.

En estos procedimientos, los rayos X se utilizan fundamentalmente para guiado y seguimiento, tanto el especialista que realiza la práctica, como el resto de los profesionales que le ayudan, deben de permanecer a lo largo de la exploración al lado del paciente y por tanto se han de proteger con delantales plomados, para reducir lo más posible la radiación que puedan recibir. A este tipo de profesionales se les suelen colocar tres dosímetros, uno para valorar las dosis que reciben debajo del delantal y, por tanto, la que afectaría a la mayor parte de su cuerpo, otro para valorar la dosis recibida en cristalino y finalmente otro que informa de la dosis en manos y muñecas ya que, a veces, éstas pueden estar muy próximas al haz directo o dentro de el mismo.

Radioterapia

El objetivo de la radioterapia es la destrucción de células y tejidos tumorales mediante la radiación, procurando irradiar lo menos posible los tejidos sanos circundantes del tumor. Ello se consigue mediante una planificación individualizada para cada paciente utilizando simuladores para toma de datos y planificadores, que permiten la reconstrucción de la distribución de la dosis y de la zona a irradiar en una imagen tridimensional.

Un tratamiento en radioterapia tiene que tener en cuenta lo siguiente:

- Características de la radiación que se va a utilizar.
- Condiciones geométricas del haz y de la zona anatómica a tratar.
- Respuesta celular (tipo de tumor, reparación celular, radio sensibilidad, etc.).
- Proximidad de órganos críticos (en los que no se debe sobrepasar un límite de dosis).

Modalidades de radioterapia

Atendiendo a la distancia que existe entre la fuente radiactiva y la zona a tratar recibirá el nombre de teleterapia o braquiterapia, según que ésta sea superior o inferior a 5 cm respectivamente. Como puede observarse en la tabla, las radiaciones utilizadas en radioterapia pueden provenir de equipos o tener su origen en determinados radionucleidos. En el caso de que provengan de equipos, la emisión de estas radiaciones cesa una vez finalizado el tratamiento. En cambio cuando provienen de radionucleidos, como es el caso de los equipos de telecobaltoterapia, la emisión permanece una vez finalizado el tratamiento, por ello estas fuentes radiactivas, cuando no se están utilizando en terapia, están alojadas en un cabezal debidamente

protegido con plomo, para que de esta forma se pueda entrar y salir de la sala de tratamiento sin riesgo radiológico.

Las actividades de los radionucleidos utilizados en radioterapia son muy elevadas, pudiendo llegar a ser del orden de billones de becquerelios.

Las fuentes utilizadas en braquiterapia están generalmente encapsuladas y se pueden presentar en forma de granos, hilos, agujas, horquillas, placas y tubos. También pueden utilizarse fuentes no encapsuladas como sería el caso del Itrio-90, aplicado para tratamientos intra-articulares, en medicina nuclear.

Terapia metabólica

Es un método de tratamiento en el que se administra al paciente, en las instalaciones de medicina nuclear, determinados radionucleidos, que se incorporan a las células que forman al órgano o tejido a tratar.

Radiaciones ionizantes utilizadas en radioterapia y modalidades de tratamiento

Radiación	Equipos o radionucleidos	Modalidad	Energía
Rayos X	Equipos de rayos X	Radioterapia convencional	De 50 a 300 kV Muy poco utilizada
Rayos X	Aceleradores	Radioterapia externa (teleterapia)	Lo más habitual hasta 25 MeV
Radiación γ	Cobalto-60	Radioterapia externa (telegammaterapia)	1,33 y 1,17 MeV
Electrones	Aceleradores	Radioterapia externa	Lo más habitual hasta 25 MeV
Emisión β^-,γ	Iridio-192	Braquiterapia	Máxima energía γ 612 KeV
Emisión β^-,γ	Cesio-137	Braquiterapia	Máxima energía γ 662 KeV

Radionucleidos más utilizados en terapia metabólica

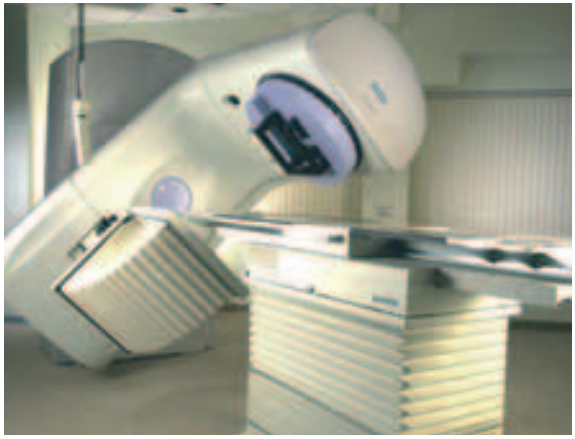
Radionucleidos	Tipo de emisión	Periodo de semidesintegración	Aplicación
Yodo-131	β^-,γ	8,04 días	Tratamiento de patologías tiroideas
Estroncio-89	β^-	50,5 días	Tratamiento del dolor en metástasis oseas
Samario-153	β^-,γ	47 horas	Tratamiento del dolor en metástasis oseas

Medicina nuclear

La medicina nuclear permite la obtención de imágenes diagnósticas utilizando radiotrazadores. El radiotrazador es una molécula marcada con un radionucleido. Para cada órgano o proceso biofisiológico a estudiar se utiliza un trazador específico. Como radionucleido se utiliza generalmente el tecnecio-99m por sus características físicas entre las que cabe destacar su corto periodo de semidesintegración de 6 horas y la naturaleza de su energía (140 KeV). Este radiotrazador se administra por vía intravenosa al paciente. Posteriormente se le sitúa ante un equipo para obtener la imagen diagnóstica a partir de la detección de la radiación emitida por el radionucleido que se ha incorporado en la zona a estudiar. El radiotrazador se elimina, generalmente, por vía renal.

El equipo básico para obtención de los estudios funcionales y morfológicos es la gammacámara y su variante, la tomogammacámara (SPECT), obteniendo con ella imágenes de cualquier órgano en tres dimensiones. Estas imágenes, posteriormente se pueden tratar y obtener diferentes planos.

Existe otra técnica denominada Tomografía por Emisión de Positrones (PET). Se trata de un proceso de diagnóstico por imagen en el que se administran a los pacientes radionucleidos emisores β^+ (positrones) que se caracterizan por su corto periodo de semidesintegración.



Mediante este método de diagnóstico, se obtiene información de cómo funcionan las células de los órganos o tejidos objeto de estudio, suministrando por tanto información metabólica de los mismos.

El radionucleido más utilizado es el fluor-18, con el cual se marcan moléculas de glucosa que permiten estudiar el metabolismo cerebral, hepático, renal o de cualquier otro órgano.

Radionucleidos más frecuentemente utilizados en PET

Radionucleidos	Tipo de emisión	Periodo de semidesintegración
Oxígeno-15	β^-	20,4 min.
Nitrógeno-13	β^-	9,97 min.
Carbono-11	β^-	20,4 min.
Fluor-18	β^-	109,8 min.

Para la utilización del PET son necesarios tres componentes, el ciclotrón, donde se producen los radionucleidos a utilizar, el laboratorio de radioquímica, donde se realizan los procesos de síntesis y marcaje de las diversas moléculas utilizadas y la cámara de positrones, mediante la cual se hace el diagnóstico del paciente.

Radioinmunoanálisis

Es una técnica analítica utilizada para medir la cantidad y concentración de numerosas sustancias (hormonas, fármacos, etc.) en muestras biológicas obtenidas, previamente, del paciente. Tiene una elevada sensibilidad, permitiendo medir concentraciones muy pequeñas. Se utiliza tanto en diagnóstico clínico como en investigación biológica.

Son técnicas realizadas *in vitro* (en un tubo de ensayo) por lo que el paciente no está en contacto con el material radiactivo.

Generalmente, las muestras se marcan radiactivamente con yodo-125 y, en otros casos, con hidrógeno-3 (tritio). Se utilizan actividades muy pequeñas. Se cuantifican utilizando un contador de centelleo.

Riesgos de la radiación

Introducción

La presencia de radiaciones ionizantes en el medio ambiente y lugares de trabajo puede producir daños en la salud de las personas. La exposición en exceso a estas radiaciones puede dar lugar a la aparición de ciertos efectos negativos para la salud. Debe tenerse en cuenta que todas las actividades humanas generan ciertos riesgos, si bien muchos de ellos pueden considerarse muy bajos. La sociedad acepta ciertos niveles de riesgo en determinadas actividades con el fin de obtener los beneficios que se generan.

En el lenguaje cotidiano, el término "riesgo" tiene diferentes acepciones. Una de ellas es "la amenaza de un suceso indeseable" que incluye tanto la probabilidad de aparición como el tipo de suceso. En el campo de la protección radiológica, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) utiliza el término "riesgo" como la probabilidad de que se produzca un efecto perjudicial teniendo en cuenta no solo su probabilidad sino también la gravedad del suceso.

Riesgos radiológicos asociados a la práctica médica

Como se ha dicho en el capítulo anterior, en un centro sanitario se utilizan diversos tipos de fuentes de radiación. En un caso, serán radionucleido, que pueden presentarse como fuentes de radiación encapsuladas o fuentes de radiación no encapsuladas. En otros casos se utilizarán equipos generadores de radiaciones ionizantes, como es el caso de los equipos de rayos X para diagnóstico y el de los aceleradores lineales para el tratamiento de tumores.

Una fuente encapsulada o sellada, es aquella en la que el radionucleido está protegido mediante una cápsula lo suficientemente segura, como para evitar que éste pueda tomar contacto con el exterior. Sólo emergerá de esta fuente la radiación que, emitida por el radionucleido, sea capaz de atravesar la mencionada cápsula. Este tipo de fuentes selladas, solamente presentan el riesgo de irradiación mientras la cápsula no pierda la hermeticidad.

Se habla de fuentes no encapsuladas o abiertas, cuando el radionucleido puede fácilmente tomar contacto con el exterior. La manipulación de este tipo de fuentes implica riesgo de irradiación y de contaminación.

La irradiación es el proceso por el cual determinados equipos o radionucleidos depositan energía en un medio determinado. En el caso de irradiación externa, la fuente emisora de radiación, está a una determinada distancia de la zona irradiada. Éste es el fundamento de algunos tipos de tratamiento de tumores en los servicios de oncología

radioterápica, y también mediante el cual se hacen radiografías en los servicios de radiodiagnóstico.

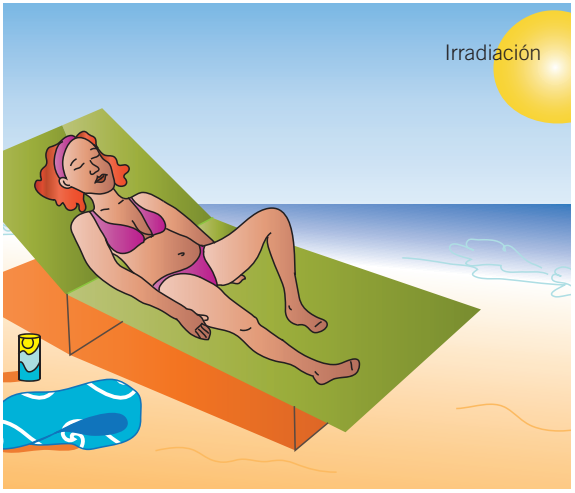
En el caso de una irradiación externa, el riesgo asociado va a depender del tipo de radiación que incide en el medio biológico, de la energía de esa radiación y también de la cantidad de radiación que llega en la unidad de tiempo.

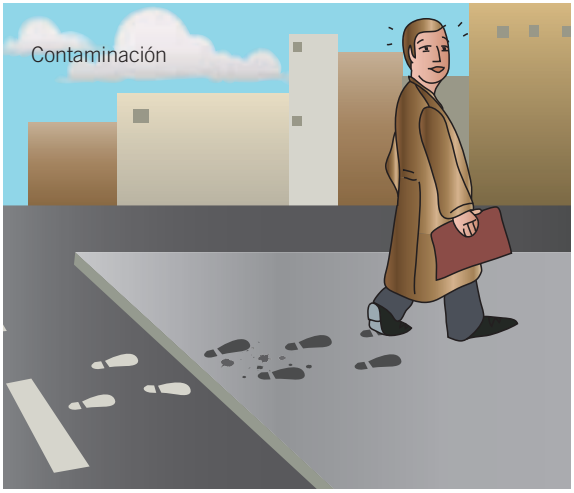
La dosis de radiación que un paciente puede recibir como consecuencia de un estudio diagnóstico, va a depender de muchos factores como son: el tipo de estudio, las características del paciente y también el equipamiento utilizado.

La contaminación se define como la presencia indeseada de radionucleidos en el ser humano (contaminación personal) o en el entorno que nos rodea (contaminación ambiental). En el caso de que la contaminación afecte al ser humano, ésta puede ser externa o interna. Se trata de una contaminación externa, cuando los radionucleidos se depositan en la piel y se trata de contaminación interna, cuando son incorporados al interior del organismo humano (a través de los alimentos que ingerimos, del aire que respiramos y excepcionalmente a través de heridas).

Riesgos en las aplicaciones médicas

Área	Irradiación externa	Contaminación
Radiodiagnóstico	Sí	No
Radioterapia	Sí	Infrecuente
Medicina nuclear	Sí	Sí
Radioinmunoensayo	Muy bajo	Sí



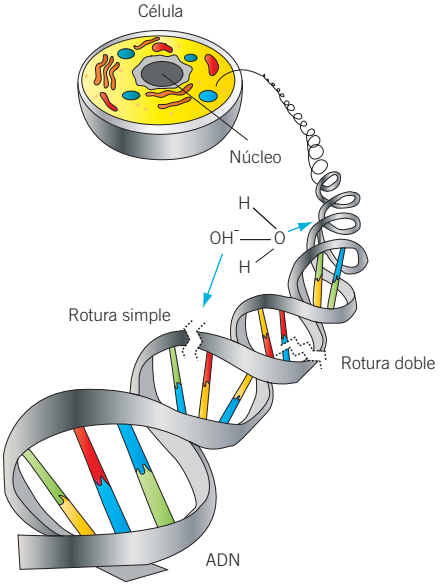


En el caso de contaminación, las dosis recibidas y por tanto los posibles riesgos derivados de las mismas van a depender de varios factores como son: el tipo de emisión o emisiones producidas, la energía asociada a las mismas, la cantidad de radionucleido que ha producido la contaminación, ya sea interna o externa, el tiempo durante el cual emitirá radiación el radionucleido contaminante, y en caso de contaminación interna, la facilidad con la que el organismo humano eliminará el radionucleido. En este caso, también hay que tener en cuenta el órgano crítico, es decir, ese órgano, que va a recibir una mayor dosis de radiación, y por tanto en el cual se puede producir un mayor daño.

En el caso de que se utilicen equipos que lleven incorporada una fuente de cobalto-60, el riesgo fundamental es de irradiación, aunque periódicamente hay que realizar pruebas para comprobar que la cápsula en la que está introducido el cobalto, no ha perdido su hermeticidad y por tanto no puede contaminar.

Efectos biológicos

Los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes son consecuencia de las modificaciones que a nivel de átomos y moléculas tienen lugar en la materia viva. En la célula algunas de estas modificaciones pueden tener consecuencias graves a corto y largo plazo. Los efectos más graves se producen al nivel de la molécula de ADN, que puede romperse por una de sus cadenas ("rotura simple") o por las dos ("rotura doble"). Estas roturas pueden producirse por el efecto directo de las radiaciones sobre la molécula de ADN o de un ataque secundario de un radical libre OH^-, muy reactivo que se forma por la acción de la radiación sobre las moléculas de agua que circundan la molécula de ADN. El 75% del daño causado por la radiación se debe a estos radicales libres.



Cadena de ADN.

Estas roturas pueden producirse igualmente espontáneamente por causas endógenas ligadas al metabolismo celular. Hoy día se estima que se producen del orden de 3.000 roturas por día y célula del tipo "rotura simple" y que el 1% de ellas se transforman en "roturas dobles".

Si estas lesiones se reparan perfectamente por los mecanismos enzimáticos de la célula, situación que es la frecuente en el caso de "rotura simple", la supervivencia celular será normal. Por el contrario si no se produce la reparación la célula

Efectos deterministas y sus umbrales de dosis

Tejido y efecto	Dosis umbral	
	Exposición única	Exposición prolongada durante años
Testículos		
Esterilidad temporal en el varón	0,15 Gy	0,4 Gy/año
Esterilidad permanente en el varón	3,5-6 Gy	2 Gy/año
Ovarios		
Esterilidad	2,5-6 Gy/año	>0,2 Gy/año
Cristalino		
Opacidades detectables	0,5-2 Gy	>0,1 Gy/año
Cataratas	5 Gy	>0,15 Gy/año

morirá. Entre estas dos situaciones extremas, para dosis de irradiación pequeñas se pueden producir situaciones en las que las lesiones no se reparan correctamente, dando lugar a una mutación no mortal. Esta mutación puede ser benigna y sin efecto grave a largo plazo pero también puede dar lugar a patologías genéticas o cancerosas.

La aparición de estos efectos va a depender, entre otros factores, del tipo de tejido, y de la capacidad de reparación del mismo. También van a influir la edad del individuo en el momento de la exposición, su estado de salud y su predisposición genética. Por tanto no todas las personas expuestas a radiaciones ionizantes tienen la misma respuesta.

Los efectos biológicos asociados con la exposición a radiaciones ionizantes se pueden clasificar en dos categorías:

- Efectos deterministas. Se producen cuando la exposición a radiaciones ionizantes origina la muerte de tal cantidad de células que da lugar a un mal funcionamiento de un tejido u órgano. La aparición de estos efectos se produce sólo cuando la dosis supera un cierto valor denominado umbral de dosis. La gravedad del efecto va a depender de la dosis recibida. No todos los tejidos y órganos tienen la misma respuesta frente a las radiaciones ionizantes. Entre los más radiosensibles están los ovarios, testículos, cristalino y médula ósea. Entre los efectos deterministas se encuentran, entre otros, la radiodermatitis, esterilidad y cataratas.
- Efectos estocásticos. Si se producen transformaciones celulares, debido a la exposición a radiaciones ionizantes, éstas pueden dar lugar a la aparición de un cáncer o a enfermedades hereditarias sobre los descendientes de la persona expuesta. A diferencia de los efectos deterministas para estos efectos no existe un umbral de dosis. Ahora bien, la probabilidad de que aparezcan sí depende de la dosis. Clínicamente no es posible distinguir los que tiene su origen en una exposición a radiaciones ionizantes de los que se producen por otros agentes.

El tipo de efectos que la radiación origina sobre el embrión y el feto dependen del momento en que se produzca la exposición respecto al tiempo de gestación.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

Efecto	Ejemplo
Estocásticos · Probabilidad de aparición proporcional a la dosis. · No existe dosis umbral. · Gravedad independiente de la dosis recibida. · Somáticos o genéticos.	**Cáncer radioinducido** La probabilidad de que un individuo expuesto desarrolle un cáncer es tanto mayor cuanto mayor es la dosis.
Deterministas · Existe una dosis umbral. · Gravedad proporcional a la dosis. · Somáticos.	**Eritema y descamación seca en la piel** Dosis umbral: 3-6 Gy aparición: tres semanas. Con una dosis de 50 Gy se produce la muerte celular en las capas de la piel y la necrosis del tejido.

El sistema de protección radiológica

Objetivos de la protección radiológica

Poco o nada se puede hacer para evitar el fondo natural, pero la dosis de radiación consecuencia de las actividades humanas sí puede optimizarse y llegar a valores que supongan un riesgo despreciable para la salud. En este sentido actúa una disciplina que se denomina Protección Radiológica y en la que trabajan profesionales tan diversos como físicos, médicos, biólogos, ingenieros, colaborando con sus conocimientos para que el desarrollo de las tecnologías que utilizan radiaciones ionizantes sea lo más seguro posible.

La finalidad de la protección radiológica es proteger a los individuos, a sus descendientes y a la humanidad en su conjunto, contra los riesgos derivados de las actividades humanas que, por las características de los materiales o equipos que utilizan, producen radiaciones ionizantes.

La ICRP, en su publicación nº 60, de 1990 presenta sus recomendaciones para el establecimiento del Sistema de Protección Radiológica, recientemente en su publicación n.° 103 de 2007, realiza una puesta al día de sus recomendaciones, manteniendo básicamente el mismo esquema y objetivos para dicho sistema.

Definición del sistema de protección radiológica

El objetivo del sistema de protección radiológica es disponer de una metodología estructurada para la protección contra los efectos adversos de las radiaciones ionizantes.

Para lograr ese objetivo el sistema pretende evitar la aparición de efectos biológicos deterministas, manteniendo la dosis que reciben las personas por debajo de los valores (umbrales) en que estos se producen, así como en la exigencia de que se apliquen todas las medidas razonables para reducir la aparición de los efectos biológicos estocásticos a niveles aceptables.

Como punto de partida para la definición del sistema de protección, la ICRP identifica todas las posibles situaciones de exposición que pueden presentarse, agrupándolas en tres tipos: planificadas, las que se producen en el desarrollo normal de actividades beneficiosas para el ser humano; de emergencia, las que se producen en casos de incidentes o accidentes; y existentes, las que ya se han producido en el momento en que se platea la necesidad de realizar alguna actuación sobre ellas, en este último grupo están las que tienen su origen en actividades realizadas en el pasado o las relacionadas con la radiación natural.

La siguiente etapa es la identificación de los individuos que resultan expuestos a las radiacio-

nes en cada una de las situaciones identificadas, que se agrupan en tres tipos fundamentales: trabajadores expuestos, personas que reciben dosis de radiación debido al desempeño de su actividad laboral o profesional; miembros de público, personas de la población general que reciben dosis debido a la existencia de fuentes de radiación en el entorno en el que viven, y pacientes, personas que reciben dosis de radiación con motivo de que se ven sometidas a pruebas para diagnóstico médico o a tratamientos médicos con radiaciones.

A continuación es necesario realizar dos tipos de evaluaciones, el primero orientado a reducir la exposición actuando sobre las fuentes que la originan y el segundo orientado a reducir las dosis que reciben los individuos expuestos a ellas. Como resultado del primero se identifican las condiciones de seguridad que deben aplicarse a las diferentes fuentes de radiación tanto en condiciones normales como en caso de ocurrencia de incidentes o accidentes. Como resultado del segundo se establecen niveles de dosis individuales que es necesario evitar que sean recibidos por las personas.

Finalmente se identifican las medidas específicas a adoptar para lograr esas condiciones de seguridad y que las dosis recibidas por las personas se mantengan por debajo de los niveles establecidos.

Para la correcta definición del sistema de protección aplicable en cada caso resulta especialmente importante la formulación y aplicación de los principios básicos de Protección Radiológica.

Principios básicos y límites de dosis

El Sistema de Protección Radiológica se fundamenta en los principios siguientes:

- Justificación. No debe adoptarse ninguna práctica con radiaciones ionizantes que no conlleve un beneficio neto para el individuo o la especie humana en su conjunto.

- Optimización. Para una fuente dada, las dosis deberán ser lo más bajas que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas (principio ALARA).

- Limitación de dosis y riesgo. La dosis total recibida por una persona debido a actividades autorizadas con exposición a radiaciones, sin contar las recibidas como paciente en diagnósticos o tratamientos médicos, no debe superar los límites de dosis establecidos en la legislación.

Los dos primeros principios están orientados a reducir las fuentes de radiación, el tercero está orientado a la protección de las personas.

Los límites de dosis sólo se establecen para las exposiciones de los trabajadores expuestos y de los miembros del público. Son el resultado de una

serie de estudios realizados en individuos y poblaciones expuestos a diferentes dosis de radiación y en sus descendientes. Los valores recomendados por ICRP se han incorporado a la normativa española.

La protección de los pacientes es objeto de tratamiento especifico por la ICRP ya que en este caso se produce la exposición intencionada de la persona a radiaciones con el objetivo de obtener un eficaz diagnóstico o un adecuado tratamiento médico, de los que se deriva un beneficio evidente para su salud.

La aplicación del principio de justificación para los pacientes exige la demostración de que la utilización de radiaciones en un determinado procedimiento médico produce, con carácter general, un beneficio sobre la salud que compensa los riesgos derivados de la exposición a radiaciones. Además la aplicación de ese procedimiento a cada paciente concreto debe analizarse para verificar que se mantiene ese balance positivo entre beneficio para la salud y riesgo debido a la exposición.

En cuanto al principio de optimización su aplicación a los pacientes no consiste forzosamente en reducir las dosis que estos reciben, las dosis deben ser las necesarias para asegurarse de que se cumplen los objetivos previstos para la prueba diagnóstica o el tratamiento prescritos por los responsables de la atención médica de la persona. En el caso de las pruebas diagnósticas la ICRP recomienda la utilización de niveles de referencia que son valores de dosis obtenidos de la experiencia y que sirven para identificar situaciones en las que los pacientes reciben dosis de radiación inusualmente elevadas o inusualmente bajas. En el caso de los tratamientos médicos las recomendaciones pretenden conseguir la dosis prevista en la zona del organismo a tratar, reduciendo al mínimo la dosis recibida por tejidos sanos, todo ello mediante un análisis individualizado para cada paciente.

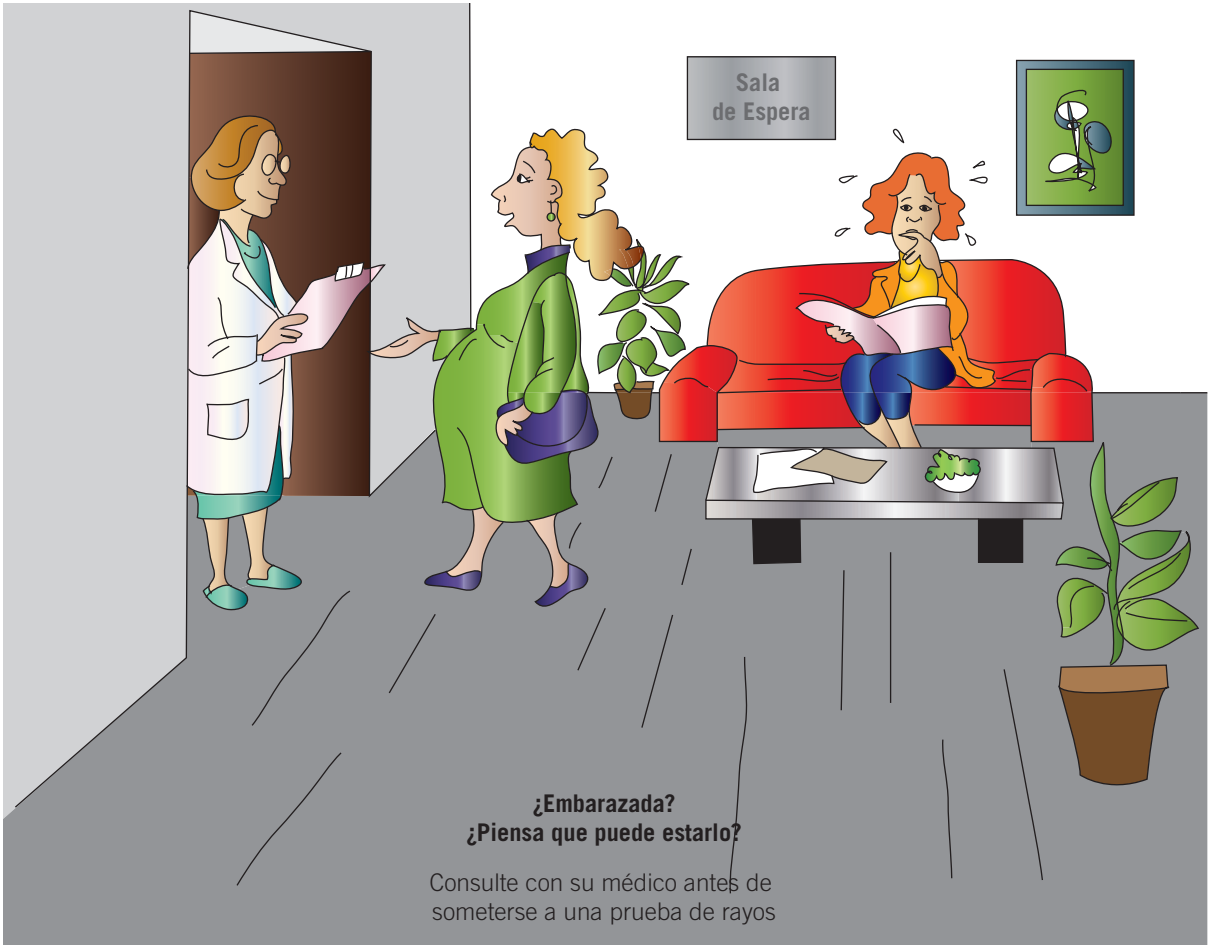
Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

	Trabajadores expuestos	Miembros del público
Dosis efectiva	100 mSv/5 años (máximo 50 mSv/año)	1 mSv/año
Dosis equivalente cristalino	150 mSv/año	15 mSv/año
Dosis equivalente piel y extremidades	500 mSv/año	50 mSv/año

	Límites especiales
Trabajadora expuesta embarazada	1 mSv/embarazo
Personas en formación y estudiantes	6 mSv/año

Situaciones especiales: mujeres embarazadas o en periodo de lactancia

Es poco probable que la exposición del feto o embrión en el embarazo durante las exploraciones radiodiagnósticas y de medicina nuclear produzca efectos deterministas o estocásticos en el niño ya nacido. No obstante, la ICRP recomienda que se eviten aquellos procedimientos diagnósticos o terapéuticos que supongan la exposición del abdomen de mujeres embarazadas o con riesgo de estarlo salvo que existan indicaciones clínicas justifi-



cadas, asimismo recomienda que se eviten en lo posible situaciones que puedan dar lugar a que las mujeres en periodo de lactancia incorporen sustancias radiactivas al organismo que puedan posteriormente transferir al lactante.

Se acepta que la dosis que puede recibir el feto como consecuencia de la actividad laboral de la madre, desde el momento en que se toma conciencia del embarazo hasta el final de la gestación, es de 1 mSv. Éste es el límite de dosis que puede recibir el público y por tanto ha sido establecido para el feto atendiendo a consideraciones éticas ya que él no participa en la decisión y no recibe beneficio alguno de ella.

La aplicación de este límite en la práctica, se corresponde con una dosis recibida en la superficie del abdomen (tronco inferior) de la mujer hasta el final de la gestación.

Ese límite de dosis es muy inferior a las dosis que se requieren para la aparición de efectos deterministas en el feto, ya que, el aborto, las malformaciones congénitas, la disminución del cociente intelectual o el retraso mental severo, requieren dosis muchísimo mayores.

Con el fin de proteger adecuadamente al feto, es imprescindible que la trabajadora expuesta gestante, en cuanto tenga conocimiento de su embarazo, lo comunique al encargado de la protección radiológica del centro en el que trabaja y al responsable de la instalación, quienes establecerán las medidas de protección oportunas para garantizar que el desempeño de su trabajo no suponga un riesgo añadido para su hijo.

A Las trabajadoras expuestas embarazadas se les asigna un dosímetro especial para determinar dosis en abdomen, a partir de esos datos se determina la dosis recibida por el feto. Asimismo se tiene que llevar a cabo una evaluación cuidadosa de su puesto de trabajo, de modo que, las probabilidades de incidentes en los que reciba dosis altas o pueda incorporar cantidades apreciables de sustancias radiactivas al interior del organismo sean insignificantes.

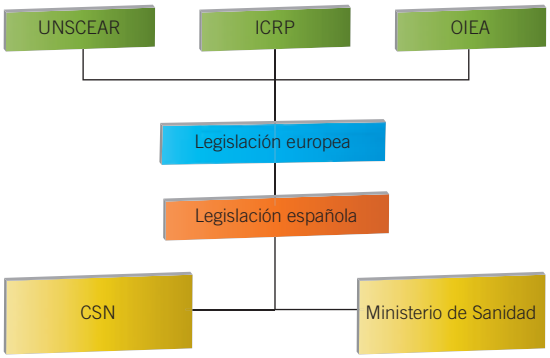
Organismos internacionales relacionados con la protección radiológica

El Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), fue creado en 1955 con la misión de estimar e informar sobre los niveles y efectos de la exposición a las radiaciones ionizantes en la población humana y en el medio ambiente. Gobiernos y organizaciones en todo el mundo se apoyan en estas evaluaciones como base científica para establecer criterios y normas de seguridad.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) es una organización no gubernamental creada en 1928, que se encarga actualmente de

establecer la filosofía de la protección radiológica, proporcionando las recomendaciones generales y fundamentales para utilizar de forma segura las radiaciones ionizantes en todas sus aplicaciones. Para cumplir este objetivo se basa, tanto en los datos aportados por UNSCEAR, como en el juicio de los expertos que componen sus comités. La ICRP es independiente porque estos expertos son designados por sus méritos científicos y no representan a sus países.

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), dependiente también de Naciones Unidas, desarrolla todas aquellas funciones que tienden a fomentar el uso pacífico de la energía nuclear y su seguridad. Ha incorporado las recomendaciones de la ICRP en sus normas básicas de seguridad para la protección contra las radiaciones ionizantes y la seguridad de las fuentes de radiación, denominadas en general como normas internacionales ya que se han realizado en colaboración con la Agencia de la Energía Nuclear de la OCDE (NEA-OCDE), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la Oficina Panamericana de la Salud (OPS)



y la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Así mismo la Unión Europea, por el Tratado EURATOM, establece también los requerimientos europeos (Directiva 96/29 EURATOM) que incorporan las recomendaciones de la ICRP. Esta directiva es de obligado cumplimiento para los Estados miembros de la UE, que posteriormente han realizado la transposición de ésta en sus respectivas legislaciones. En el caso de España se recoge en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001, de 6 de julio).

Aplicación del sistema de proteccion radiológica

Trabajadores expuestos

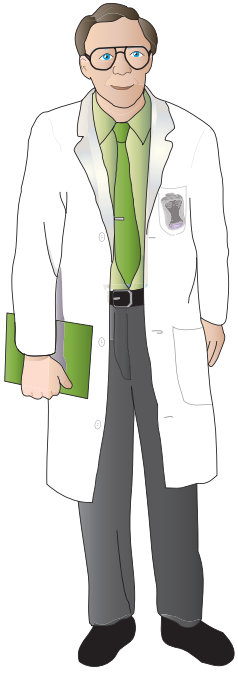
Son las personas que, por razones de su trabajo profesional, están sometidas a un riesgo de exposición a las radiaciones en el que pueden recibir dosis anuales superiores a 1 mSv. La protección radiológica de los trabajadores expuestos se lleva a cabo mediante la adopción de un programa de medidas operacionales basado en los siguientes principios generales:

- Evaluación previa de las condiciones de trabajo. Determinación de la exposición y aplicación del principio de optimización.
- Clasificación de los lugares de trabajo en función de la exposición presente en ellos.
- Clasificación de los trabajadores en función de las dosis que podrían recibir.
- Aplicación de medidas acordes con la clasificación de cada zona de trabajo y con la clasificación de los trabajadores que desempeñan tareas en ellas.

Las medidas a aplicar tendrán fundamentalmente dos objetivos: prevenir la exposición y evaluar y vigilar las dosis recibidas.

Entre las medias de prevención están:

- Identificación de zonas de trabajo con exposición a radiación.
- Clasificación de las zonas: la clasificación de las zonas de trabajo en función de las dosis anuales previstas y el riesgo de una contaminación o exposición potencial son las siguientes:



La dosimetría individual, tanto externa como interna, se efectúa por servicios de dosimetría personal expresamente autorizados por el CSN.

– Zona vigilada, cuando existe la posibilidad en las mismas de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/año (límite del público) e inferiores a 6 mSv/año, o dosis equivalentes superiores a 1/10 de los limites para el cristalino, piel y extremidades.

– Zona controlada cuando se pueden superar los 6 mSv/año para la dosis efectiva o dosis equivalentes superiores a 3/10 de los límites para el cristalino, piel y extremidades. Dentro de esta última categoría, se considera la "zona de permanencia limitada", cuando existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales establecidos, la "zona de permanencia reglamentada", cuando se puede recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios en cortos periodos de tiempo o la "zona de acceso prohibido", cuando se puede recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios.

- Delimitación y señalización de zonas: las zonas en la que se trabaja con exposición a radiaciones se señalizan con el símbolo internacional de radiactividad: trébol con puntas radiales (riesgo de irradiación externa) o con campo punteado (riesgo de contaminación), y tienen los siguientes colores:
  – Zona vigilada: gris azulado.
  – Zona controlada: verde.
  – Zona de permanencia limitada: amarillo.
  – Zona de permanencia reglamentada: naranja.
  – Zona de acceso prohibido: rojo.

- Control de accesos: sólo se permite el acceso a cada zona a los trabajadores autorizados.

- Clasificación de los trabajadores: los trabajadores expuestos, en función de las condiciones de trabajo, pueden ser de categoría A (cuando pueden recibir una dosis superior a 6 mSv por año) o de categoría B (cuando es muy improbable que reciban estas dosis).

Señalización internacional de radiactividad.

- Formación e información de los trabajadores: antes de incorporarse a un puesto de trabajo con exposición a radiaciones, los trabajadores tienen que ser informados sobre los riesgos existentes y sobre las normas, procedimientos y precauciones de protección que deben adoptar en cada puesto de trabajo a que pueda asignárseles. El empresario está obligado a facilitar formación y entrenamiento sobre protección radiológica antes de empezar a trabajar y periódicamente. La legislación española exige, en las instalaciones radiactivas, que los trabajadores posean unas licencias (de operador o supervisor según sus responsabilidades), otorgadas por el CSN, que garanticen su formación en protección radiológica. En el caso de las instalaciones médicas de diagnóstico mediante rayos X, los trabajadores expuestos deben poseer una acreditación para operar o dirigir la instalación.

- Comprobación de las disposiciones de protección. El proyecto de las instalaciones en las que se produce exposición a radiaciones tiene que ser sometido a una evaluación para comprobar que se han tenido en cuenta las necesidades de protección radiológica adecuada. Cada nueva fuente o equipo radiactivo debe someterse a un proceso de autorización que garantiza que esa evaluación se ha realizado correctamente. Los dispositivos y técnicas de protección disponibles deben además revisarse periódicamente para comprobar que funcionan correctamente y mantienen su eficacia. Los instrumentos utilizados para la detección y medida de la radiación tienen que ser calibrados, verificados y comprobados periódicamente.

Entre las medidas para la vigilancia y evaluación de las dosis recibidas por los trabajadores están:

- Vigilancia del ambiente de trabajo. Las dosis por unidad de tiempo que se pueden recibir por irradiación externa y la contaminación existente en los distintos puestos de trabajos tiene que medirse periódicamente, deben anotarse y ser evaluadas por los especialistas a cargo de la protección radiológica para asegurarse de que se mantienen en los valores previstos.

- Vigilancia dosimétrica. Las dosis recibidas por los trabajadores expuestos se determinan por dosimetría externa (cuando existe riesgo de irradiación) o dosimetría interna (cuando existe riesgo de contaminación), mediante medidas o análisis pertinentes.
  Para los trabajadores de categoría A o que desempeñan su actividad en zonas controladas tiene que realizarse una vigilancia dosimétrica individual. Habitualmente se lleva a cabo utilizando dosímetros personales basados en el fenómeno de la termoluminiscencia (TLD) que deben procesarse todos los meses para determinar la dosis superficial y la dosis profunda recibidas. La dosimetría interna, en función de las sustancias radiactivas que pueden incorporarse al

organismo, se realiza mediante equipos contadores de radiactividad corporal o mediante la realización de análisis de laboratorio de muestras de orina o heces. La periodicidad para las determinaciones de dosimetría interna se establece por los responsables de protección radiológica en cada caso.

La dosimetría individual, tanto externa como interna, se efectúa por servicios de dosimetría personal expresamente autorizados por el CSN. En el caso de los trabajadores de categoría B o que desempeñan su actividad en zonas vigiladas la vigilancia dosimétrica puede realizarse mediante dosimetría de área o ambiental, permite estimar la dosis de los trabajadores a partir de las dosis medidas en los puestos de trabajo y en las dependencias radiológicas o radiactivas.

Los resultados de la vigilancia dosimétrica de cada trabajador deben anotarse en un historial dosimétrico individual que debe conservarse a largo plazo.

El CSN exige en las instalaciones radiactivas que los trabajadores posean unas licencias (de operador o supervisor según sus responsabilidades) que garanticen su formación en protección radiológica. En el caso de las instalaciones de radiodiagnóstico médico, los trabajadores expuestos deben poseer una acreditación para operar o dirigir la instalación.

Además de las medidas de prevención y vigilancia mencionadas, los trabajadores expuestos tienen que someterse a una vigilancia sanitaria basada en los principios generales de medicina en el trabajo. Esta vigilancia médica se realiza por servicios de prevención de riesgos laborales expresamente autorizados para ello por las autoridades sanitarias.

Los trabajadores de categoría A deben realizar un reconocimiento médico antes de incorporarse a su puesto de trabajo y posteriormente un reconocimiento médico anual. Los trabajadores de categoría B deben realizar los reconocimientos médicos periódicos que establezca su Servicio de Prevención.

Como resultado de esos reconocimientos médicos se determinará si el trabajador puede o no trabajar en presencia de radiaciones o si debe hacerlo en condiciones especiales. Los resultados de la vigilancia sanitaria se tienen que recoger en un historial médico individual que debe conservarse a largo plazo.

Miembros del público

Está formado por las personas que no trabajan en instalaciones con riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes.

La protección de los miembros del público se basará fundamentalmente en la estimación, ano-

tación y evaluación de las dosis que pudieran recibir en régimen de funcionamiento normal de las instalaciones radiactivas y en caso de accidente. El responsable de llevar a cabo esas actividades en cada caso es el titular de la instalación.

Puesto que la población puede estar expuesta a radiaciones procedentes de diversas instalaciones es necesario asegurarse de que la contribución de cada una de ellas resulte lo mas reducida posible. Para ello se establecen valores máximos de las dosis que se pueden recibir debidas a cada una de ellas muy por debajo de los límites.

Las exposiciones de los miembros del publico pueden producirse debido a que estos se sitúen en las inmediaciones de la instalaciones, debido a los efluentes vertidos por ellas o debido a los residuos evacuados desde las mismas.

Las instalaciones deberán tener unos blindajes y sistemas de contención que aseguren que las dosis recibidas por el público, debidas a la exposición externa o interna, no superen el límite reglamentado. Estas instalaciones, aparte de estar señalizadas, deberán tener dispositivos luminosos o acústicos que avisen cuando estén en funcionamiento.

Los efluentes radiactivos emitidos por las instalaciones están sometidos a una autorización expresa y deben mantenerse por debajo de límites muy bajos establecidos para cada caso específico. Los estudios y estimaciones que deben realizar los responsables de cada instalación deben considerar las cantidades vertidas al medio ambiente y la capacidad de éste para recibirlas. Tienen que utilizarse métodos de estimación realistas, repetirse periódicamente y tener capacidad para determinar las dosis, debidas tanto a irradiación externa como a contaminación interna, a través de todos los posibles caminos por los que la radiación procedente de las instalaciones pueda afectar a los miembros del público, seleccionando para el estudio el grupo de población más representativo de las personas que podrían recibir mayores dosis.

En caso necesario, las instalaciones deberán disponer de sistemas específicamente diseñados y construidos para almacenar, tratar y evacuar los efluentes y residuos radiactivos. Estos sistemas deberán someterse a revisiones periódicas para comprobar que mantienen su eficacia y evitar que se produzcan descargas incontroladas al medio ambiente. Del mismo modo, los instrumentos utilizados para la detección y medida de la radiación tienen que ser calibrados, verificados y comprobados periódicamente.

El CSN, aparte de vigilar estas instalaciones, vigila también el medio ambiente mediante un sistema de redes para la medición continua de la radiactividad ambiental en toda España.

Toda instalación nuclear, radiactiva o radiológica debe cumplir unos requisitos técnicos que aseguren la protección radiológica del público en gene-

Toda instalación nuclear, radiactiva o radiológica debe cumplir unos requisitos técnicos que aseguren la protección radiológica del público en general y de los trabajadores que operan en ella. Estos requisitos son evaluados, controlados y autorizados por el CSN. Ninguna instalación puede operar sin la debida autorización

ral y de los trabajadores que operan en ella. Estos requisitos son evaluados, controlados y autorizados con el informe previo del CSN. Ninguna instalación puede operar sin la debida autorización.

Pacientes

Los pacientes merecen consideración especial, ya que las exposiciones médicas suponen un gran beneficio diagnóstico o terapéutico frente al posible daño que puedan causar. Por ello estas exposiciones deben estar siempre "justificadas", la exposición que no pueda justificarse deberá prohibirse, y realizarse siempre bajo la supervisión y la responsabilidad de un especialista médico.

Los procedimientos diagnósticos deben optimizarse a fin de obtener una imagen diagnóstica adecuada con la menor dosis posible y en el caso de los tratamientos terapéuticos se deberá dar la dosis prescrita en el órgano a tratar, procurando irradiar lo menos posible a los órganos sanos.

Para la adecuada protección de los pacientes es fundamental que tanto los especialistas médicos como todo el personal técnico que interviene en los procedimientos con radiaciones disponga de formación específica en materia de protección radiológica.

En cualquier caso, todos los aspectos relacionados con procedimientos médicos de diagnostico o tratamiento con radiaciones deben someterse a protocolos establecidos que garanticen su calidad. La legislación española contiene normas especificas para el control de calidad que debe aplicarse en cada una de las especialidades: radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia.

Valores de referencia en radiografía para adultos

Exploración	Dosis superficie a la entrada (DSE) en mGy
Abdomen AP	10,0
Columna lumbar AP/PA	10,0
Columna lumbar L	30,0
Columna lumbo-sacra L	40,0
Cráneo AP	5,0
Cráneo L	3,0
Cráneo PA	5,0
Mamografía	10,0
Pelvis AP	10,0
Tórax L	1,5
Tórax PA	0,3
Dental	7,0

La utilización de radiaciones en medicina debe realizarse contando con la supervisión de especialistas en radiofísica hospitalaria, profesionales específicamente cualificados para establecer y aplicar los controles de calidad necesarios para la protección del paciente. Su presencia es obligatoria en todos los servicios de radioterapia, en el caso de los servicios de radiología y medicina nuclear cuando los equipos o las técnicas utilizadas lo aconsejen.

Especial atención merecen los niños, por tener una mayor sensibilidad a la radiación, así como las mujeres embarazadas para la protección del feto, y las mujeres lactantes en caso de procedimientos de medicina nuclear para la protección del bebé.

Supervisión de la aplicación del sistema

La legislación española prevé que, en el caso de múltiples instalaciones o instalaciones singulares complejas, el titular disponga de una organización específica para asesorarle en materia de protección radiológica y a la que encomendar las funciones, no la responsabilidad, que le son exigibles en esta materia. Estas organizaciones son los servicios y unidades de protección radiológica y deben ser expresamente autorizados por el CSN.

En el caso de las instalaciones de rayos X para diagnóstico médico esas organizaciones son las encargadas de verificar y certificar que el diseño y construcción de las instalaciones es adecuado desde el punto de vista de seguridad y protección radiológica. Durante el funcionamientos de esas instalaciones también verifican que se mantienen las condiciones de seguridad y que aplican las medidas necesarias para la protección radiológica de los pacientes, los trabajadores y el público.

Los servicios de protección radiológica se constituyen dentro de la organización de los titulares de las instalaciones, las unidades técnicas de protección radiológica son empresas privadas que trabajan para las instalaciones mediante contrato.

Al frente de estas organizaciones tiene que haber un profesional con un diploma otorgado por el CSN, este constituye la titulación de mayor categoría en nuestro país en materia de protección radiológica. Cuando estos profesionales actúan en el ámbito de las instalaciones médicas la legislación exige que sean además especialistas en radiofísica hospitalaria. El resto de los técnicos que trabajan en los servicios y unidades de protección radiológica también tiene que disponer de formación y experiencia especificas en protección radiológica.

Los servicios y unidades de protección radiológica actúan como entidades muy especializadas que velan por la correcta aplicación del sistema de protección radiológica en las instalaciones a las que atienden.

En España existen servicios de protección radiológica autorizados en la práctica totalidad de los grandes hospitales de la red de sanidad pública y privada. En el caso de los hospitales públicos dan también servicio a las instalaciones que utilizan radiaciones en otros establecimientos sanitarios como pequeños hospitales o centros de salud de su zona.

Las funciones más importantes de los servicios y unidades de protección radiológica son:

- Participar o supervisar las fases de diseño, montaje, instalación, operación, modificaciones y clausura de las instalaciones radiactivas y radiológicas.
- Supervisar la adquisición de material y equipos radiactivos y radiológicos.
- Efectuar la estimación de los riesgos radiológicos asociados a las instalaciones.
- Clasificar, señalizar y vigilar las zonas y condiciones de trabajo en función del riesgo radiológico, así como clasificar en las diferentes categorías a los trabajadores expuestos.
- Establecer las normas de acceso, permanencia y trabajo en zonas con riesgo radiológico.
- Vigilar la radiación y contaminación.
- Vigilar la gestión de los residuos y efluentes radiactivos.
- Controlar el mantenimiento, verificación y calibración de los sistemas de detección y medida de las radiaciones.
- Vigilar y controlar la dosimetría personal de los trabajadores expuestos.
- Formar y entrenar a los trabajadores expuestos en materia de protección radiológica.
- Comprobar que se lleva a cabo la vigilancia sanitaria de los trabajadores expuestos, en colaboración con el Servicio de Prevención de Riesgos.
- Conocer o analizar el impacto radiológico derivado del funcionamiento de la instalación.
- Optimizar las medidas de control de calidad del equipamiento radiológico, de medicina nuclear y de radioterapia.

Control de las autoridades

En España, el organismo competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica es el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), ente de Derecho Público independiente de la Administración Central del Estado.

Desde su creación en 1980 el CSN ha asumido la vigilancia y el control del funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas del país. Se rige por un estatuto propio, pudiendo encomendar algunas de sus funciones en las comunidades autónomas. Debe informar anualmente al Congreso, al Senado y a los parlamentos de las comunidades autónomas en cuyo territorio están ubicadas las instalaciones nucleares sobre el desarrollo de sus actividades. Entre sus funciones, en relación con la protección radiológica, destacan:

- Vigila y controla los niveles de radiación medioambiental en el territorio nacional.
- Examina y concede licencias a las personas que trabajan en las instalaciones radiactivas y acredita a las personas que trabajan en las instalaciones de radiología médica.
- Estudia e informa cada proyecto de instalación nuclear o radiactiva.
- Inspecciona y controla el funcionamiento de las instalaciones nucleares y radiactivas e impone la corrección de posibles deficiencias.
- Proporciona apoyo técnico en caso de emergencia nuclear o radiactiva y participa en la elaboración de los planes de emergencia exteriores de las instalaciones.
- Controla las dosis de radiación que pueden recibir tanto los trabajadores expuestos como la población en general.
- Realiza y promueve planes de investigación.
- Propone al gobierno las reglamentaciones necesarias en materia de seguridad nuclear y protección radiológica.
- Informa a la opinión pública.

En el caso de la protección radiológica de los pacientes son las autoridades sanitarias, el Ministerio de Sanidad y las consejerías de Sanidad de las comunidades autónomas, las encargadas de establecer la reglamentación aplicable, de velar por la correcta aplicación de los principios de protección radiológica y de controlar la implantación de los programas de control de calidad en las instalaciones.

Entre las funciones del CSN figura la de colaborar con las autoridades sanitarias en todo lo relacionado con la protección radiológica de los pacientes.

Medidas de protección radiológica

Radiodiagnóstico

Para evitar la irradiación innecesaria de los trabajadores expuestos, y la de los miembros del público, las salas radiológicas están debidamente diseñadas, adecuadamente blindadas y convenientemente señalizadas. Las normas deben ir encaminadas a minimizar el riesgo de irradiación externa. En las salas de radiodiagnóstico se deberá:

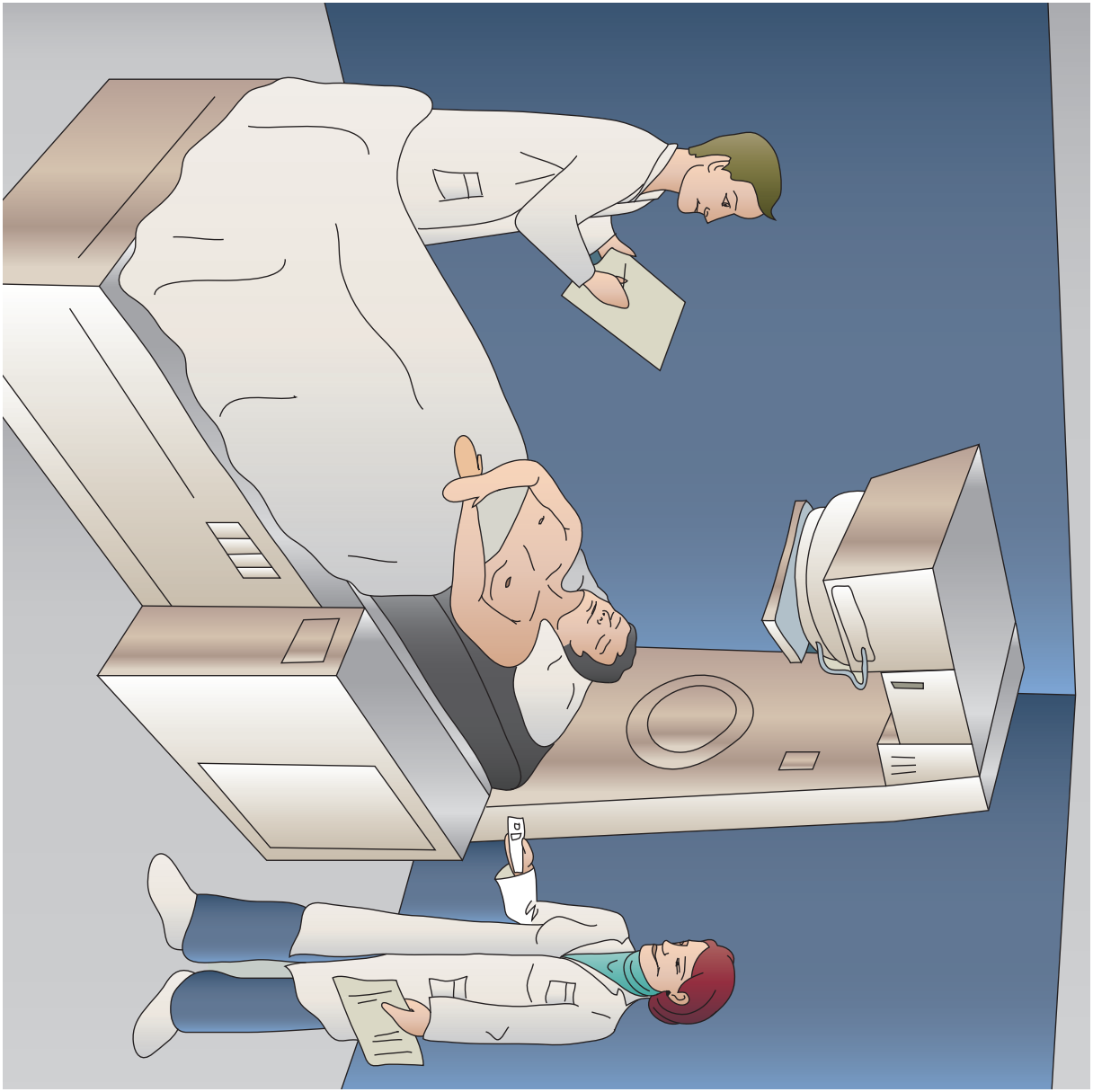
- Cerrar las puertas de las salas durante el funcionamiento del equipo.
- Los trabajadores que manejan los equipos estarán siempre protegidos por blindajes estructurales (paredes y cristales plomados).
- Cuando sea necesaria la inmovilización del paciente las personas que la realicen serán el menor número posible, establecerán turnos y evitarán situarse debajo del haz de radiación directo
- En el caso de que deban permanecer en el interior de la sala, se protegerán con prendas adecuadas tales como delantales y protectores plomados, gafas plomadas y guantes, siempre que con ellos no se comprometa la finalidad perseguida por la exploración. En general actuarán de forma que se reduzca al mínimo posible su exposición a radiaciones.
- Con esos mismos objetivos, dentro de las salas se utilizarán blindajes fijos o móviles.

Para la protección del paciente se deberá:

- Elegir los parámetros en el equipo de rayos X adecuados a las características del paciente para obtener la calidad necesaria de las imágenes para su utilización en el diagnóstico.
- Reducir el tamaño de la zona del organismo que se irradia, limitándola, siempre que sea posible, al área que interesa explorar.
- Elegir el sistema de imagen adecuado, de forma que se obtenga la mejor calidad con el mínimo de exposición a radiaciones para el paciente.
- Dotar al paciente de protectores gonadales siempre que sea posible.
- Preguntar a las pacientes en edad de procrear sobre la posibilidad de estar embarazadas.

Radioterapia

Las fuentes y los equipos generadores de radiación utilizadas en radioterapia son de gran intensidad por lo que producen una gran dosis absorbida, esto implica que haya que tomar medidas especiales de protección radiológica a la hora de trabajar con ellas.



Las salas de tratamiento donde están situadas estas fuentes y equipos poseen muros de hormigón (plomo en algunas ocasiones) para blindaje de la radiación de espesores superiores a 1 metro. Se comprobará que durante el tratamiento ninguna persona permanece en la sala. Los equipos se controlan desde una consola de mandos situada fuera de esta habitación y la vigilancia del paciente se efectúa generalmente por medio de cámara de TV. Existen además, alarmas luminosas y acústicas que indican el funcionamiento de la instalación así como diversos pulsadores y automatismos que permiten detener la emisión de radiación en caso ncesario.

Los blindajes deben comprobarse periódicamente en condiciones de funcionamiento reales para verificar que mantienen su efectividad. Asimismo deben realizarse medidas de niveles de radiación en los espacios contiguos para comprobar que las dosis de radiación se mantienen en los valores previstos en diseño.

En el caso de la braquiterapia, todo el material radiactivo que no esté en uso, deberá estar almacenado en contenedores blindados en la gammateca de la instalación, identificados y registrados. Las normas de preparación de las fuentes, así como de manipulación, traslado, implantación y retirada, estarán reflejadas en el Reglamento de Funcionamiento de la instalación. Los pacientes portadores de las fuentes radiactivas deberán permanecer en habitaciones blindadas y se controlará la permanencia de visitantes o familiares.

Para reducir la irradiación externa es necesario controlar los siguientes parámetros:

Distancia

Debe ser la máxima posible respecto de la fuente emisora de radiación. Hay que recordar que la dosis disminuye con la distancia (de acuerdo con la ley del inverso del cuadrado de la distancia).

Tiempo

Debe ser el menor posible. La dosis es directamente proporcional al tiempo de exposición, si se reduce éste a la mitad, la dosis se reduce de forma proporcional.

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 .

En braquiterapia durante la utilización de las fuentes radiactivas deben usarse blindajes fijos o móviles en el interior de las salas de tratamiento. Es muy importante que al terminar los tratamientos se realicen mediciones con detectores de radiación adecuados de las salas, paciente, vestuarios, materiales y residuos para verificar que no se ha perdido ninguna fuente ya que este suceso podría dar lugar a elevadas dosis de los trabajadores o el publico.

Desde el punto de vista de protección del paciente, en radioterapia resulta muy importante efectuar una planificación muy precisa y detallada de las operaciones a realizar, de las dosis de radiación a suministrar y las protecciones que deben utilizarse.

Tiene que prestarse gran atención a la protección de los órganos y tejidos próximos a la zona que se desea tratar con el objetivo de que las dosis que reciban sean tan bajas como sea posible.

En radioterapia, debido a la alta intensidad de radiación que se utiliza, es muy importante aplicar el mayor rigor en las revisiones y comprobaciones periódicas (diarias, semanales, mensuales y anuales) de los equipos, anotando y comunicando inmediatamente al personal especializado o la empresa encargada de la asistencia técnica cualquier anomalía que se detecte.

Asimismo durante el desarrollo de los tratamientos cualquier indicación, alarma o anomalía debe ser cuidadosamente evaluada, suspendiendo la emisión de radiación ante cualquier sospecha de malfuncionamiento.

Medicina nuclear y laboratorios de análisis

Todos los radionucleidos empleados en este campo se presentan de forma no encapsulada por lo que pueden entrar en contacto con el entorno, es decir, que no solamente pueden irradiar sino también dar lugar a la contaminación de superficies estructurales, de materiales y de personas (ropa y piel) e incluso pueden producir contaminación interna al ser incorporados al organismo a través de la respiración, la saliva, las mucosas o heridas abiertas. Por ello se establecen unas normas generales para minimizar esos riesgos:

Para reducir la contaminación se aplicarán las siguientes normas:

- **Utilizar sistemas de contención en las superficies de trabajo (bandejas, papel plastificado o similares).**
- **Utilizar equipos de protección individual (bata y calzas desechables, guantes de látex, gafas de plástico, etc.)**
- **Cumplir las normas de trabajo con material radiactivo.**

- La manipulación de estas fuentes radiactivas utilizando guantes desechables, se realizará siempre sobre superficies no porosas y en el caso de fuentes líquidas, cubiertas de papel de filtro para absorberlas en caso de derrames o salpicaduras.

- El transporte del material radiactivo se realizará utilizando contenedores adecuados.

- La orina y heces de los pacientes pueden ser fuentes de contaminación, por lo que se debe analizar la necesidad de gestionarlas como residuos radiactivos.

- Se establecerá una metodología de trabajo para minimizar la irradiación externa y la contaminación tanto de personas como de superficies.

- Se tomarán medidas para el control del material radiactivo en relación a la adquisición, almacenamiento, traslado y posterior gestión de residuos.

- Se realizarán periódicamente medidas de contaminación utilizando métodos adecuados y procediendo a eliminar cualquier contaminación que se encuentre.

- El responsable de protección radiológica establecerá unas normas específicas para los pacientes sometidos a tratamientos con ingestión de sustancias radiactivas. El propio pacientes en estos casos es una fuente de irradiación externa y contaminación radiactiva.

Para reducir la contaminación se aplicarán las siguientes normas:

- Utilizar sistemas de contención en las superficies de trabajo (bandejas, papel plastificado o similares).

- Utilizar equipos de protección individual (bata y calzas desechables, guantes de látex, gafas de plástico, etc.).

- Cumplir las normas de trabajo con material radiactivo.

En los laboratorios donde se utilizan radionucleidos para su aplicación *in vitro* se usarán, cuando sea necesario, blindajes:

- Para radioisótopos emisores beta: materiales plásticos, metacrilato, PVC o similares.

- Para radioisótopos emisores gamma: elementos de alta densidad, generalmente plomo o vidrio plomado.

Las normas fundamentales de trabajo en estos laboratorios son las siguientes:

- No fumar ni ingerir alimentos durante la manipulación de material radiactivo.

- Se utilizarán siempre pipetas automáticas con puntas desechables.

- Restringir trabajos con material radiactivo a la zona radiológica autorizada de laboratorio.

- El material radiactivo volátil se manipulará siempre en vitrinas de extracción de gases equipadas con los filtros adecuados, para poder evitar de esta manera su posible dispersión.

- Utilizar material desechable.

- Gestionar los residuos radiactivos generados de la forma adecuada.

En relación con la protección del paciente en medicina nuclear diagnóstica es muy importante que se administren a los pacientes cantidades de sustancias radiactivas acordes con los niveles de referencia establecidos en la legislación y lo más reducidas posible siempre que permita una adecuada calidad de la exploración médica a realizar.

Asimismo es importante la adecuada calibración, verificación y comprobación de los instrumentos utilizados para medir las cantidades de sustancias radiactivas a suministrar y para obtener las imágenes para el diagnóstico.

Producción y gestión de residuos radiactivos

El residuo radiactivo

Se denomina residuo radiactivo a cualquier material o producto de desecho para el cual no está previsto ningún uso, está contaminado o que contiene radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por la autoridad competente.

En el sector sanitario los residuos radiactivos son de baja y media actividad. Suelen constituir este tipo de residuos objetos tales como toallas de papel, algodones y gasas, jeringas usadas y viales, guantes de goma y cubiertas para calzado, filtros de aire, etc.

Gestión de los residuos radiactivos

Un aspecto importante en el desarrollo de la protección radiológica es realizar una correcta gestión con los residuos radiactivos que permita minimizar los riesgos de contaminación e irradiación para los trabajadores expuestos y el público en general y reducir el impacto de los mismos sobre el medio ambiente. Para ello es necesario realizar las siguientes acciones:

- Caracterización de los residuos, determinando las propiedades físicoquímicas y radiológicas de los mismos.

- Clasificación atendiendo a diferentes parámetros tales como la actividad, el periodo de semidesintegración, etc.

- Segregación, etiquetado y recogida. Los residuos radiactivos se guardan en contenedores adecuados atendiendo al tipo de radiación emitida y al estado físico de los mismos, utilizando contenedores blindados y debidamente señalizados. Existirán contenedores para los residuos en todos los lugares donde se estén generando.

Características	Residuo de baja y media actividad	Residuo de alta actividad
Periodo de semidesintegración	No debe ser superior a 30 años	Casi siempre superior a 30 años
Actividad específica por elemento	Baja, no supera ciertos valores establecidos para esta categoría	Alta, supera los valores establecidos para la categoría anterior
Calor	No desprenden	Pueden desprender calor
Tipo de emisores	Beta, gamma y alfa < 0,37 GBq/T	Beta, gamma y alfa > 0,37 GBq/T
Blindaje	No los necesitan muy potentes	Necesitan potentes blindajes

- Almacenamiento. Las instalaciones generadoras de residuos radiactivos disponen de lugares específicos para el almacenamiento seguro de los mismos hasta su posterior evacuación. El diseño de estos almacenes incluye los blindajes necesarios, bandejas o sistemas de contención para residuos líquidos y sistemas de ventilación provistos de filtros adecuados para los gaseosos.

Procedimientos de evacuación y acondicionamiento

Como primera consideración hay que tener en cuenta que una parte de los residuos generados como consecuencia de las actividades en el sector sanitario presentan niveles de actividad muy bajos, por lo que podrían ser evacuados como residuos convencionales.

La evacuación o disposición final de los residuos radiactivos se realiza de acuerdo a las siguientes modalidades de actuación: vertido controlado y evacuación de residuos de baja y media actividad para su almacenamiento.

- Vertido controlado. Se aplica a residuos contaminados con radionucleidos de corto periodo de semidesintegración y baja actividad que tras un periodo de almacenamiento adecuado pueden ser eliminados, de forma controlada, por dilución al medio ambiente o gestionados como residuos convencionales.
- Evacuación de residuos de media y baja actividad. La solución más generalizada es el "almacenamiento en superficie" pudiendo incluir o no, barreras adicionales de ingeniería.

Previamente a su disposición en las instalaciones dedicadas a tal fin, los residuos han de estar debidamente acondicionados. El acondicionamiento de los residuos comprende un conjunto de procesos desde que se producen hasta que son envasados. Durante este proceso los residuos son primeramente clasificados para posteriormente reducir su volumen generalmente por compactación o incineración. Los residuos líquidos de baja y media actividad se someten a una serie de procedimientos (precipitación química, filtración, centrifugación, evaporación, intercambio iónico), con el fin de separar los radionucleidos de la solución que los contiene. También puede utilizarse la incineración en el caso de líquidos combustibles (aceites, líquidos de centelleo...), o sustancias orgánicas (cadáveres de animales, tejidos, líquidos orgánicos, etc.).

El último paso en el acondicionamiento es la inmovilización de los residuos para evitar la dispersión de los radionucleidos. Se realiza mediante procesos de solidificación o inclusión en matrices sólidas (asfaltos, cementos y resinas plásticas principalmente). Una vez incluidos los residuos en la matriz solidificada, se envasan en contenedores metálicos que pueden ir provistos de un blindaje de hormigón armado.

Para conseguir aislar los residuos radiactivos durante un largo periodo de tiempo, pueden interponerse entre el residuo y el entorno humano una serie de barreras artificiales cuyo objetivo esencial es impedir que el agua superficial o subterránea entre en contacto con los bidones o contenedores en los que se encuentran los residuos acondicionados. Estos sistemas deben cumplir tres premisas: estar situados por encima del nivel de las aguas subterráneas (nivel freático), estar protegidos de las lluvias por una cobertura impermeable y disponer de sistemas colectores de las aguas que pudieran filtrarse hasta el interior del almacenamiento.

En España, los residuos de media y baja actividad producidos en hospitales, son acondicionados en las instalaciones de almacenamiento de residuos de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) en El Cabril (Córdoba), donde son, finalmente, almacenados.

Instalaciones de almacenamiento de residuos de la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (Enresa) en El Cabril (Córdoba).

Funciones y responsabilidades

Las sustancias radiactivas y los equipos productores de radiaciones ionizantes no pueden ser utilizados por personas (físicas o jurídicas) que no estén expresamente autorizados para ello. Así mismo, es necesario disponer de la autorización de funcionamiento para la instalación radiactiva donde se utilizará el material o equipos indicados. Estas autorizaciones son concedidas por el organismo competente de Industria de la comunidad autónoma correspondiente.

A continuación se reflejan las obligaciones y responsabilidades asignadas a los centros, entidades, empresas y personas implicadas en el uso de radiaciones ionizantes, definidas en la legislación vigente.

Protección radiológica del trabajador expuesto y del público

El titular es el máximo responsable de la aplicación de los principios de protección radiológica reflejados en la legislación vigente, en el ámbito de la instalación radiactiva. Sus obligaciones y responsabilidades, fundamentales, en materia de protección radiológica son:

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones de la autorización de funcionamiento de la instalación radiactiva, las normas establecidas en el correspondiente Manual de Protección Radiológica, así como las disposiciones legales vigentes sobre instalaciones radiactivas.

- Asegurar que se imparte una formación en protección radiológica adecuada previa y continuada a todo el personal de la instalación.

- Comunicar al Consejo de Seguridad Nuclear cualquier situación, accidente o incidente que reduzca la seguridad de los trabajadores en materia de protección radiológica.

- Tomar las medidas oportunas en caso de incumplimiento de las normas de protección radiológica establecidas.

- Firmar y tramitar la documentación preceptiva de la instalación radiactiva y aprobar los procedimientos relativos a la protección radiológica.

- Facilitar a los inspectores del Consejo de Seguridad Nuclear el acceso, la documentación y los medios necesarios para el cumplimiento de su misión.

El personal que manipule material o equipos radiactivos y el que dirija dichas actividades, deberá disponer de una licencia específica concedida por el Consejo de Seguridad Nuclear. Existen dos tipos de licencias: supervisor y operador.

La licencia de supervisor capacita para dirigir y planificar el funcionamiento de una instalación radiactiva y las actividades de los operadores.

La licencia de operador capacita para la manipulación de materiales o equipos productores de radiaciones ionizantes, conforme a procedimientos e instrucciones preestablecidos.

Especial relevancia tiene la formación en materia de protección radiológica. Todas las personas que trabajan en una instalación radiactiva reciben una formación previa y continuada en esta disciplina. Los programas de formación, adecuados a las tareas realizadas por el personal implicado, son homologados por el Consejo de Seguridad Nuclear.

La formación previa debe cubrir como mínimo los aspectos relativos a los riesgos radiológicos asociados, las normas y procedimientos de protección radiológica, reflejando todas las normas de trabajo con radiaciones ionizantes, la gestión de residuos radiactivos, las pautas de actuación a seguir ante un incidente o accidente radiológico así como las normas de descontaminación. Así mismo, deberán conocer las características de los radionucleidos u otras fuentes de radiación ionizante utilizadas en su trabajo. En el caso de mujeres embarazadas, se indicará la necesidad de efectuar rápidamente la declaración de embarazo y notificación de lactancia. Esta información será entregada en documentos escritos.

Las obligaciones y responsabilidades asignadas al supervisor de una instalación nuclear o radiactiva son las siguientes:

- Conocer y autorizar los trabajos y las operaciones que se realizan en la instalación.
- Cumplir y hacer cumplir las especificaciones indicadas en la autorización de la instalación, Reglamento de Funcionamiento, Manual de Protección Radiológica específico, Plan de Emergencia y cualquier otro documento oficialmente aprobado.
- Elaborar los informes anuales relativos al funcionamiento de la instalación y enviarlos al Consejo de Seguridad Nuclear.
- En caso de emergencia, accidente o incidente, adoptar las medidas necesarias, dejar constancia de ellas, comunicárselas al jefe de protección radiológica y al titular de la instalación.
- Detener en cualquier momento el funcionamiento de la instalación si estima que se han reducido las condiciones de seguridad.
- Vigilar el funcionamiento de los diferentes equipos de medida de la instalación radiactiva
- Mantener un inventario actualizado del material radiactivo
- Gestionar los residuos radiactivos.

Las obligaciones y responsabilidades asignadas al operador de una instalación nuclear o radiactiva son las siguientes:

- Conocer y cumplir las normas establecidas en el Manual de Protección Radiológica y las medidas a tomar en caso de emergencia radiológica.
- Comunicar al supervisor, de forma inmediata, cualquier accidente o incidente.
- Utilizar de forma correcta los equipos productores de radiaciones ionizantes.
- Utilizar los equipos de protección radiológica necesarios en cada situación.
- Detener en cualquier momento el funcionamiento de la instalación radiactiva si estima que se han reducido las condiciones de seguridad si no es posible localizar al supervisor.

Las instalaciones radiactivas están sometidas a un doble control. Por una parte, existe un control externo a la instalación realizado por la Administración Pública y por otra parte hay un control interno realizado en la propia instalación.

El control externo realizado desde la Administración se lleva a efecto a través de la evaluación de los documentos preceptivos, y de las inspecciones realizadas por el personal técnico del Consejo de Seguridad Nuclear, oficialmente designado para ello.

El resultado de las inspecciones quedará reflejado en actas que serán debidamente firmadas por el inspector correspondiente así como por el supervisor de la instalación.

El control interno de las instalaciones nucleares o radiactivas se realiza por el supervisor y el Servicio de Protección Radiológica. Este servicio es responsable de velar por el cumplimiento de las normas de protección radiológica establecidas.

Existe la posibilidad de que una instalación contrate los servicios de protección radiológica a una Unidad Técnica de Protección Radiológica (UTPR) ajena al propio centro. En esta situación, la UTPR tendrá las mismas obligaciones y responsabilidades que los propios servicios de protección radiológica.

La fabricación de aparatos, equipos y accesorios que incorporen sustancias radiactivas o sean generadores de radiaciones ionizantes requieren una autorización específica de la autoridad competente, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

Protección radiológica del paciente

La legislación española se ha elaborado a partir de la normativa aprobada en la Unión Europea. Las medidas de protección radiológica de los pacientes están establecidas en varios reales

decretos. El objetivo es garantizar la mejora de la calidad y eficacia del acto radiológico médico, evitando exposiciones inadecuadas o excesivas, sin impedir el uso de las radiaciones ionizantes en el plano de la detección precoz, diagnóstico o tratamiento de enfermedades.

Las responsabilidades recogidas en esa normativa incluye:

- Toda exposición a las radiaciones en un acto médico debe llevarse a cabo bajo la supervisión de un especialista médico.

- Todo el personal involucrado (médicos y operadores) deben poseer los conocimientos adecuados sobre técnicas aplicadas y las normas de protección radiológica.

- Todas las instalaciones de radiodiagnóstico, radioterapia y medicina nuclear deben contar con un especialista en Radiofísica Hospitalaria, propio o externo contratado.

- Las instalaciones serán objeto de vigilancia por parte de las autoridades sanitarias de las comunidades autónomas en cuanto al cumplimiento de los criterios de calidad para garantizar la protección al paciente y deberán estar inscritas en el Censo Nacional del Ministerio de Sanidad.

Las instalaciones deben inscribirse en la Consejería de Sanidad de su comunidad autónoma presentando la documentación reglamentada a tal efecto y el Programa de Garantía de Calidad correspondiente.

El Programa de Garantía de Calidad debe incluir, entre otros aspectos, el control de calidad de los aspectos clínicos y de la instrumentación y una evaluación de los indicadores de dosis al paciente y, cuando sea aplicable, de la calidad de la imagen.

Glosario

ACTIVIDAD RADIACTIVA

Velocidad con la que tienen lugar cambios, transformaciones o desintegraciones en el núcleo atómico. La actividad se expresa en becquerelios (Bq). Un becquerelio, representa una desintegración en un segundo. La antigua unidad era el curio.

ACELERADOR

Equipo de uso clínico o industrial, que tiene capacidad para emitir fotones y electrones de varios MeV.

ACTIVIDAD ESPECÍFICA

Es la actividad radiactiva por unidad de masa o volumen. Sus unidades son: el Bq/gr o el Bq/ml.

ADN

Acido desoxiribonucleico. Macromolécula esencial del material genético. Es la base de la herencia biológica.

ÁTOMO

Es la más pequeña porción de un elemento que presenta las propiedades químicas del mismo. Constituido por un núcleo con carga positiva, rodeado de electrones con carga negativa.

BECQUERELIO(Bq)

Es la unidad de actividad radiactiva, representa una desintegración en un segundo.

BLINDAJE

Sistema constituido por un material que se utiliza para absorber o atenuar una determinada radiación. Cuando se desea atenuar radiación gamma o rayos X, se suele utilizar hormigón normal, hormigón baritado, plomo, etc. Cuando se desea atenuar radiación beta, se suelen utilizar sustancias como el metacrilato.

CÁMARA DE IONIZACIÓN

Equipo electrónico que se utiliza para detectar y medir la radiación. El fundamento físico en el que se basa su funcionamiento es la ionización que la radiación produce en el gas que contiene.

CÉLULA

Unidad funcional más pequeña capaz de existir de forma independiente. Está formada por el núcleo y el citoplasma, ambos separados por la membrana nuclear. El citoplasma está separado del medio en el cual se encuentra la célula por otra membrana llamada membrana celular.

CITOPLASMA

Comprende la parte de la célula contenida entre la membrana celular y el núcleo de la misma. El citoplasma es el lugar donde se realizan todas las funciones metabólicas de la célula

CONTAMINACIÓN RADIACTIVA

Presencia indeseada de uno o más radionucleidos en el ser humano (contaminación personal) o en el entorno que le rodea (contaminación ambiental). Para que se produzca una contaminación radiactiva los radionucleidos han de estar como fuentes abiertas (no encapsulados).

CROMOSOMAS

Componentes celulares contenidos en el núcleo de la célula, portadores de genes (unidades de material genético). Son los responsables de transmitir la información hereditaria que contiene la célula y también dirigen la actividad del citoplasma de la misma.

CURIO

Unidad antigua de actividad radiactiva, equivale a: $3{,}7 \times 10^{10}$ Bq. Esta cantidad se denomina como un giga becquerelio (GBq).

DESCONTAMINACIÓN

Proceso mediante el cual se elimina toda o parte de la contaminación radiactiva.

DESINTEGRACIÓN
Transformación nuclear, mediante la cual el núcleo de los átomos radiactivos emite partículas o radiación con el fin de conseguir su estabilidad.

DNA
Véase ADN

DOSÍMETRO
Sistema detector utilizado para estimar la dosis de radiación.

DOSÍMETRO DE TERMOLUMINISCENCIA
Sistema detector formado por una sustancia que al ser irradiada, retiene la energía depositada por la radiación en su proceso de interacción con la misma y la emite a continuación en forma de luz al ser calentada en un proceso de lectura del mismo. La luz emitida es proporcional a la energía absorbida por el dosímetro.

DOSIS
Término genérico utilizado para designar distintas cantidades utilizadas para estimar la energía transferida a un medio en el proceso de interacción de la radiación con el mismo, o el daño biológico ocasionado.

DOSIS ABSORBIDA
Energía absorbida por unidad de masa.

DOSIS EQUIVALENTE
Dosis absorbida en órgano o tejido, ponderada según el tipo y calidad de la radiación.

DOSIS EFECTIVA
Suma de las dosis equivalentes ponderadas en los tejidos y órganos del cuerpo.

DOSIS INTERNA
Dosis de radiación recibida como consecuencia de los radionucleidos depositados en el organismo humano.

EFECTOS DETERMINISTAS
También llamados no estocásticos y que se caracterizan por tener umbral a la hora de su aparición. La gravedad de este efecto depende de la dosis. Ejemplos de estos efectos son las cataratas radioinducidas, caída del cabello, esterilidad, etc.

EFECTOS ESTOCÁSTICOS
También llamados probabilísticos. Estos efectos no tienen umbral y la probabilidad de su aparición aumenta con la dosis. Son siempre graves y ejemplos de ellos son la inducción de cáncer y los posibles efectos genéticos.

EFECTOS GENÉTICOS
Los que afectan a la salud de los descendientes de la persona irradiada. Son mutaciones producidas en los genes y que originan malformaciones de cualquier tipo.

EFECTOS SOMÁTICOS
Son aquellos que afectan a la salud de la persona irradiada, ejemplo de ellos es el cáncer radioinducido

ELECTRÓN
Partícula constituyente de la corteza atómica. Tiene carácter negativo y su masa es muy pequeña comparada con la masa del protón.

ELECTRÓNVOLTIO
Es la energía que adquiere un electrón cuando es acelerado en el vacio a una diferencia de potencial de un voltio. Es la unidad de energía de uso en la física nuclear. Sus múltiplos mas utilizados son: el kiloelectrónvoltio (keV) 1.000 eV y el megaelectrónvoltio (MeV) 1.000.000 eV.

ELEMENTO
Sustancia en la cual los átomos que la forman tienen todos los mismos números atómicos, ejemplo el oxígeno, el hidrógeno, etc.

EQUIPO DE RAYOS X
Utilizado en al área sanitaria, y cuyo funcionamiento se basa en la utilización de haces de fotones tanto para el diagnóstico como para terapia. La energía de los fotones utilizados en este caso es de una magnitud cercana al keV.

ERITEMA
Enrojecimiento de la piel que puede ser consecuencia de la congestión de los capilares como resultado de una determinada irradiación

EXPOSICIÓN
Acción de someter o someterse a las radiaciones ionizantes.

FACTOR DE PONDERACIÓN DE LA RADIACIÓN
Factor utilizado para calcular la dosis equivalente, corregida según la eficacia de la radiación para producir efectos biológicos.

FACTOR DE PONDERACIÓN TISULAR
Factor utilizado para calcular la dosis efectiva corregida teniendo cuenta la sensibilidad de los distintos órganos o tejidos a las radiaciones ionizantes.

FAO
Organización de Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

FOTÓN
Paquete de energía asociado a la radiación electromagnética. Los rayos X y la radiación gamma están formados por haces de fotones y su mayor o menor capacidad de penetrar en el medio, depende de la energía de los mismos.

FUENTES RADIACTIVAS
Son sistemas con capacidad para producir radiaciones ionizantes.

GENÉTICO
Lo relativo a la herencia biológica.

GÓNADAS
Órganos que producen las células sexuales reproductoras (ovarios y testículos).

GRAY
Unidad de dosis absorbida; equivale a 1 j/kg.

IAEA
Ver OIEA.

ICRP
Comisión Internacional de Protección Radiológica.

INTERVENCIÓN
Actividad humana que evita o reduce la exposición de las personas a la radiación procedente de fuentes que no son parte de una práctica o que están fuera de control, actuando sobre las fuentes, las vías de transferencia y las propias personas.

IONIZACIÓN
Fenómeno que ocurre cuando un átomo neutro, o una molécula, adquiere o pierde carga eléctrica, convirtiéndose en un ión positivo o negativo (catión o anión respectivamente).

IRPA
Asociación Internacional de Protección Radiológica.

IRRADIACIÓN
Proceso de exposición a la radiación.

ISÓTOPOS
Átomos del mismo elemento que tienen el mismo número de protones en su núcleo pero difieren en el número de neutrones.

ISOTOPO RADIACTIVO
Ver radionucleidos.

keV
Kiloelectrónvoltio. Unidad de energía equivalente a 1.000 electrónvoltios.

LEUCEMIA
Grupo de enfermedades habitualmente graves que afectan a los glóbulos blancos de la sangre.

LÍMITE DE DOSIS
Valores de la dosis efectiva o de la dosis equivalente que no deben ser rebasadas. Los límites de dosis están basados en recomendaciones hechas por la ICRP y se recogen en el Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

MeV
Megaelectrónvoltio. Unidad de energía equivalente a 1 millón de electrónvoltios.

MOLÉCULA
Agrupación de átomos que constituyen la cantidad más pequeña de un compuesto que puede existir independientemente y que presenta todas las propiedades químicas del mismo.

MOL
Cantidad de una sustancia que contiene el Número de Avogadro (6,023 1023) de átomos o moléculas.

MUTACIÓN
Cambio o alteración en material genético.

NEUTRON
Partícula sin carga eléctrica que acompaña a los protones en el núcleo del átomo.

NÚCLEO
Parte central del átomo, con carga positiva y constituida por protones y neutrones a los que se les suele denominar nucleones.

NÚMERO ATÓMICO (Z)
Número de protones en el núcleo y electrones en la cortaza del átomo. Es característico de cada elemento.

NÚMERO MÁSICO (A)
Número total de neutrones y protones (nucleones) en el núcleo del átomo.

OIEA (IAEA)
Organismo Internacional de Energía Atómica.

OIT
Organización Internacional del Trabajo.

OMS
Organización Mundial de la Salud.

OPS
Oficina Panamericana de la Salud.

PARTÍCULA ALFA
Partícula cargada positivamente compuesta de dos protones y dos neutrones. Las partículas alfa son emitidas por elementos pesados; tienen bajo poder de penetración y ceden su energía cerca de la fuente emisora.

PARTÍCULA BETA
Electrones con poder de penetración mayor que el de las partículas alfa por ser más ligeras que éstas. Pueden tener carga positiva o negativa.

PENETRACIÓN
Distancia máxima alcanzada por una partícula alfa o beta antes de perder su energía y ser absorbida en un medio determinado.

PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN
Intervalo de tiempo que ha de transcurrir para que el número de átomos de un radionucleido se reduzca a la mitad, o lo que es lo mismo, su actividad se reduzca a la mitad.

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

PROTÓN
Partícula de carga positiva que junto con los neutrones forma parte del núcleo atómico.

RADIACIÓN
Emisión de energía o de partículas desde una fuente.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA
Radiación que trasmite energía y que consiste en ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan a la velocidad de la luz.

RADIACIÓN IONIZANTE
Partículas y radiación electromagnética con longitud de onda igual o menor a 100 nanómetros o frecuencia igual o mayor a $3x\ 10^{15}$ hz, capaces de producir iones directa o indirectamente.

RADIACTIVIDAD
Fenómeno mediante el cual determinados elementos con núcleos inestables tienden, a lo largo del tiempo y con mayor o menor rapidez, a transformarse en núcleos estables mediante la emisión espontánea de algunas partículas o radiación gamma.

RADIOISÓTOPO
Ver radionucleido.

RADIONUCLEIDO
Átomo de núcleo inestable que se desintegra espontáneamente emitiendo partículas (alfa o beta) o radiación gamma, o ambas.

RADIONUCLEIDOS ARTIFICIALES
Son los que se originan a partir de reacciones nucleares utilizadas por el ser humano.

RADIONUCLEIDOS NATURALES
Son aquellos que forman parte de la Tierra desde el origen de la misma. Además del potasio-40 y del rubidio-87, están los integrantes de las tres grandes cadenas de desintegración (uranio-235, uranio-238 y torio-230). Los dos primeros radionucleidos y los cabezas de las tres series tienen un periodo de semidesintegración bastante elevado, comparable a la edad de la Tierra.

RADIONUCLEIDOS COSMOGÉNICOS
Son los que se originan debido a reacciones nucleares producidas por la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera.

RADIOTERAPIA
Tratamiento de células y tejidos tumorales mediante la aplicación de radiaciones ionizantes.

RAYOS CÓSMICOS
Radiación ionizante procedente del Sol y del espacio exterior.

RAYOS GAMA
Radiación electromagnética de muy baja longitud de onda, emitida por un núcleo inestable. Su poder de penetración es importante y directamente proporcional a su energía asociada.

RAYOS X
Radiación de naturaleza electromagnética que procede de la corteza atómica. Se producen en dispositivos especialmente diseñados cuando un haz de electrones acelerados por un potencial eléctrico, choca contra un blanco metálico. El poder de penetración de los rayos X depende de la energía suministrada a los electrones por el potencial de aceleración.

SERVICIO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Entidad propia de un titular, expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones de protección radiológica.

SIEVERT

Unidad de dosis equivalente y de dosis efectiva.

TRAZADOR

Sustancia química a la que se le añade un radionucleido para formar un radiotrazador de forma que pueda ser detectado por instrumentos de medida de la radiación a lo largo de un proceso.

UNIDAD TÉCNICA DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Entidad ajena contratada por un titular, expresamente autorizada por el Consejo de Seguridad Nuclear para desempeñar las funciones de protección radiológica

UNSCEAR

Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica.

VATIO

Unidad de potencia eléctrica.

ZONA CONTROLADA

Zona sometida a regulación especial a efectos de protección contra las radiaciones ionizantes. En ella existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv/año. Dentro de esta categoría se consideran.

- Zona de acceso prohibido: se pueden recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios.
- Zona de permanencia limitada: existe riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales establecidos.
- Zona de permanencia reglamentada: se pueden recibir, en una única exposición, dosis superiores a los límites reglamentarios en cortos periodos de tiempo.
- Zona vigilada: sometida a una adecuada vigilancia a efectos de protección contra las radiaciones ionizantes. En ella existe la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv/ año (límite para el público) e inferiores a 6 mSv/año.

Principales disposiciones legales

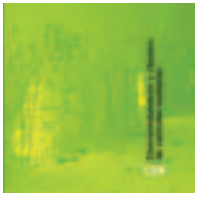
- Ley 25/1964 sobre Energía Nuclear (BOE, 4 de mayo de 1964).
- Ley 15/1980 de Creación del CSN (BOE, 25 de abril de 1980), reformada por la Ley 33/2007, de 8 de noviembre.
- Ley 31/1995. Prevención de Riesgos Laborales (BOE, 10 de noviembre de 1995).
- Ley 14/1999 de Tasas y Precios Públicos por servicios prestados por el Consejo de Seguridad Nuclear (BOE, 5 de mayo 1999).
- Real Decreto 1132/1990. Protección Radiológica de las Personas sometidas a exámenes y tratamientos médicos (BOE 18 de septiembre de 1990).
- Real Decreto 1085/2009, de 3 de julio por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico.
- Real Decreto 39/1997. Reglamento de los Servicios de Prevención (BOE, 31 de enero de 1997).
- Real Decreto 220/1997. Creación y regulación de la obtención del título oficial de especialista en radiofísica hospitalaria (BOE, 1 de marzo de 1997).
- Real Decreto 412/1997. Solicitud para la obtención del título de especialista en radiofarmacia (BOE, 16 de abril 1997).
- Real Decreto 413/1997. Protección operacional de los trabajadores externos con riesgo de exposición a radiaciones ionizantes por intervención en zona controlada (BOE, 16 de abril de 1997).
- Real Decreto 1841/1997. Establecimiento de los criterios de calidad en medicina nuclear (BOE, 19 de diciembre de 1997).
- Real Decreto 1566/1998. Establecimiento de los criterios de calidad en radioterapia (BOE, 28 de agosto de 1998)
- Real Decreto 1976/1999. Establecimiento de los criterios de calidad en radiodiagnóstico (BOE, 29 de diciembre de 1999).
- Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas, modificado por Real Decreto 35/2008, de 18 de enero.
- Real Decreto 815/2001 sobre justificación del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas (BOE, del 14 de julio 2001).
- Real Decreto 783/2001. Reglamento de Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (BOE, 26 de julio de 2001).
- Directiva 96/29/EURATOM. Normas básicas para la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes (DOCE L 159 del 29 de junio de 1996).
- Directiva 97/43/EURATOM. Protección del paciente (DOCE L 180 del 9 de julio de 1997).
- Normas básicas internacionales de seguridad para la protección contra la radiación ionizante y para la seguridad de las fuentes de radiación. Colección Seguridad nº 115. Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena. 1997.
- Guías de Seguridad del Consejo de Seguridad Nuclear (www.csn.es).

Otras publicaciones

SDB-01.02 Emergencia en centrales nucleares
CSN, 2009 (28 págs.)

SDB-01.03 Utilización de energía nuclear para producir electricidad
CSN, 2011 (20 págs.)

SDB-01.04 El funcionamiento de las centrales nucleares
CSN, 2000 (24 págs.)



SDB-01.05 Desmantelamiento y clausura de centrales nucleares
CSN, 2008 (36 págs.)

SDB-04.02 La protección de las trabajadoras gestantes expuestas a radiaciones ionizantes en el ámbito sanitario
CSN, 2005 (32 págs.)

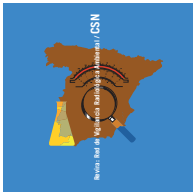
SDB-04.03 El CSN vigila las radiaciones: 10 preguntas y respuestas sobre la radiactividad
CSN, 2006 (20 págs.)

SDB-04.04 La protección radiológica en la industria, la agricultura, la docencia o la investigación
CSN, 2011 (64 págs.)

SDB-04.05 La protección radiológica en el medio sanitario
CSN, 2011 (64 págs.)

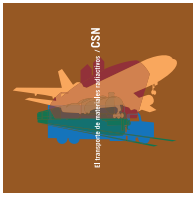
SDB-04.06 Protección radiológica
CSN, 2008 (16 págs.)

SDB-04.07 Dosis de radiación
CSN, 2010 (16 págs.)



SDB-04.08 Revira: red de vigilancia radiológica ambiental
CSN, 2009 (28 págs.)

SDB-04.09 Las radiaciones en la vida diaria
CSN, 2011 (20 págs.)



SDB-06.01 El transporte de los materiales radiactivos
CSN, 2011 (28 págs.)

La protección radiológica en el medio sanitario / CSN

CSN CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR

Pedro Justo Dorado Dellmans, 11
28040 Madrid
tel.: 91 346 01 00
fax: 91 346 05 88
www.csn.es