

UNIDADES DE RADIOTERAPIA

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de fuentes radiactivas o generadores de radiaciones ionizantes exige el establecimiento de medidas preventivas para la protección de los trabajadores expuestos y de la población en su conjunto al objeto de prevenir la producción de efectos biológicos no estocásticos y limitar la probabilidad de aparición de efectos biológicos estocásticos como consecuencia de las actividades que impliquen riesgo de exposición a radiaciones ionizantes.

La Comunidad Económica Europea, de acuerdo con las directrices de la Comisión Internacional de Protección Radiológica y de la Comisión Internacional de Unidades Radiológicas a través de EURATOM ha establecido una serie de Directivas específicas referentes a la protección radiológica que son de obligado cumplimiento en todos los Estados miembros, previa trasposición a su legislación.

En Colombia, se tiene el Reglamento de Protección Radiológica (resolución 18 1434 de 2002). Igualmente la resolución 02400 de mayo 22 de 1979 menciona en el artículo 98, *“todas las radiaciones ionizantes electromagnéticas o de partículas, deberán ser controladas para lograr niveles de exposición que no afecten la salud, las funciones biológicas, ni la eficiencia de los trabajadores”*.

“El control de estas radiaciones ionizantes se aplica a todas las actividades que involucren fuentes radiactivas, y en la eliminación de los residuos o desechos de las sustancias radiactivas, para proteger a los trabajadores profesionales expuestos y a los trabajadores no expuestos profesionalmente, pero que permanezcan en lugares contaminados por radiaciones ionizantes o sustancias radiactivas”.

Radiaciones ionizantes

Una radiación se entiende como ionizante, cuando al interaccionar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones). Su origen es siempre atómico, pudiendo ser corpusculares o electromagnéticas.

Hay dos conceptos fundamentales que caracterizan a las radiaciones ionizantes: su capacidad de ionización es proporcional al nivel de energía, y la capacidad de su penetración es inversamente proporcional al tamaño de las partículas.

Considerando estos conceptos y relacionándolos con el origen y naturaleza de las radiaciones ionizantes, se pueden clasificar las más frecuentes en los siguientes tipos:

- **Radiaciones alfa (a):** Son núcleos de Helio cargados positivamente. Presentan un alto poder de ionización y una baja capacidad de penetración.
- **Radiaciones beta - (β^-):** La desintegración β^- es la emisión de un electrón como consecuencia de la transformación de un neutrón en un protón y un electrón.
- **Radiaciones beta + (β^+):** La emisión de un positrón, partícula de masa igual al electrón y de carga positiva, es conocida como desintegración β^+ . Es el resultado de la transformación de un protón en un neutrón y un positrón. Todas las radiaciones β tienen un poder de ionización algo inferior a las α y un mayor poder de penetración.

- **Radiaciones gamma (g):** Es la emisión de energía en forma no corpuscular del núcleo del átomo. Son radiaciones electromagnéticas. Presentan un poder de ionización relativamente bajo y una gran capacidad de penetración
- **Rayos X:** Se originan en los orbitales de los átomos. Se producen como consecuencia de la acción de electrones rápidos sobre los átomos y tienen, como la radiación g, una naturaleza electromagnética. La energía de los rayos X es inferior a la de las radiaciones g.

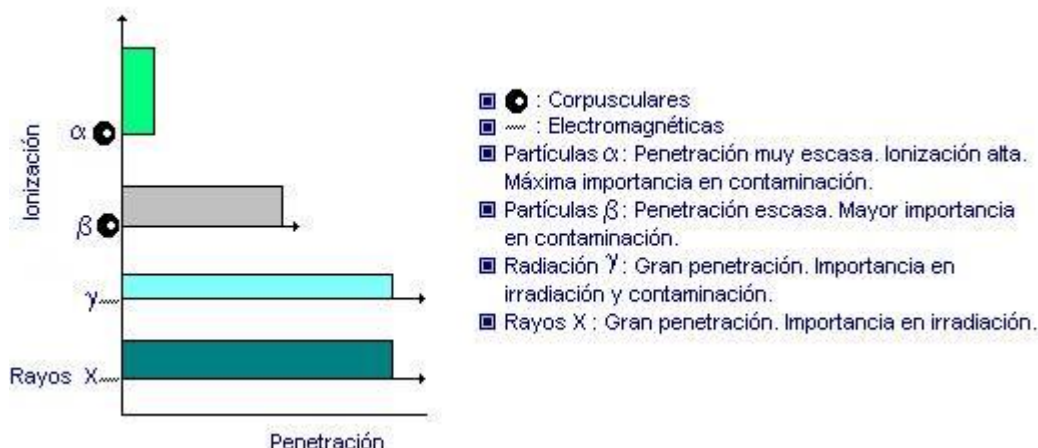


Fig. 1: Penetración y nocividad de las radiaciones

Interacción con el organismo. Efectos biológicos

Las radiaciones ionizantes, al interactuar con el organismo, provocan diferentes alteraciones en el mismo debido a la ionización provocada en los elementos constitutivos de sus células y tejidos. Esta acción puede ser directa, produciéndose en la propia molécula irradiada, o indirecta si es producida por radicales libres generados que extienden la acción a otras moléculas. Lo que sucede normalmente es una mezcla de ambos procesos.

El daño biológico producido tiene su origen a nivel macromolecular, en la acción de las radiaciones ionizantes sobre las moléculas de ADN (ácido desoxirribonucleico) que juegan una importante función en la vida celular. Esta acción puede producir fragmentaciones en las moléculas de ADN, dando origen a aberraciones cromosómicas, e incluso a la muerte celular, o bien puede ocasionar transformaciones en la estructura química de las moléculas de ADN dando origen a mutaciones, que producen una incorrecta expresión del mensaje genético.

El daño producido por las radiaciones ionizantes puede tener un carácter somático (daños en el propio individuo), que puede ser mediato o diferido, o bien un carácter genético (efectos en las generaciones posteriores).

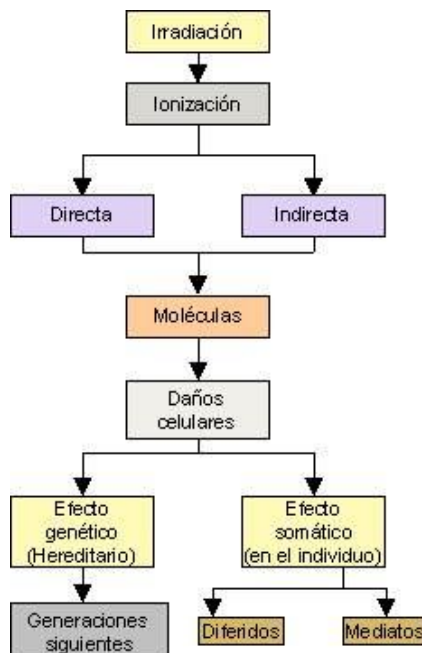


Fig. 2: Daños biológicos de las R.I.

La relación dosis-respuesta puede ser probabilística (efecto estocástico), no existiendo una dosis umbral, o bien puede haber una relación directa causa-efecto (efecto no estocástico o gradual) lo que ocurre a partir de una determinada dosis denominada "dosis umbral" (0,25 Sv). En ambos casos la probabilidad de efecto o el efecto aumenta directamente con la dosis.

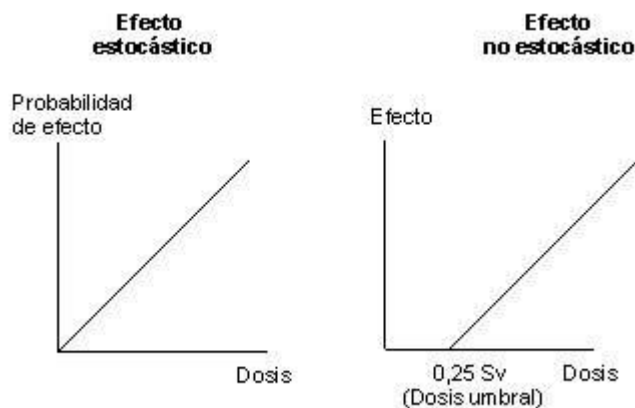


Fig. 3: Relación dosis-respuesta

Considerando el tipo de radiación y su forma de interacción con el organismo se puede hablar de irradiación externa y contaminación radiactiva.

Irradiación externa

El individuo está expuesto a una fuente de radiación no dispersa, externa al mismo y no hay un contacto directo con la fuente. Puede ser global o parcial.

Contaminación radiactiva

El organismo entra en contacto directo con la fuente radiactiva, la cual puede estar dispersa en el ambiente (gases, vapores o aerosoles) o bien depositada en una superficie. Puede ser interna o externa.

Magnitudes y unidades

Para poder medir las radiaciones ionizantes y el daño biológico producido es necesario disponer de magnitudes y unidades adecuadas. A continuación se describen las más frecuentemente utilizadas, expresadas en el sistema internacional (SI) y sus equivalentes en el cegesimal.

Actividad (A)

Se define como el número de transformaciones nucleares producidas en el radionucleido por unidad de tiempo. La unidad de medida es el Bequerelio (Bq). En el sistema cegesimal es el Curio (Ci)

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

La actividad va decreciendo con el tiempo a una velocidad que se expresa mediante el periodo de semidesintegración (T) del radionucleido (tiempo al cabo del cual la actividad se ha reducido a la mitad).

Dosis absorbida (D)

Se define como la cantidad de energía cedida por la radiación a la materia o absorbida por ésta. La unidad de medida es el Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy(SI)} = 100 \text{ rads (Cegesimal)}$$

Dosis equivalente (H)

Se define como el producto de la dosis absorbida (D), el factor de calidad (Q) y el producto de los demás factores modificantes (N), que tienen en cuenta las características de la radiación y la distribución de los radionucleidos.

$$D. \text{equiv.} = D. \text{abs} \times Q \times N$$

La unidad de medida es el Sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv(SI)} = 100 \text{ rems (Cegesimal)}$$

El valor de Q es 10 para las radiaciones α y 1 para el resto de las citadas en el apartado 2, mientras que N se considera normalmente igual a 1.

Medidas de protección contra radiaciones ionizantes

La protección contra las radiaciones ionizantes incluye una serie de medidas de tipo general que afectan a cualquier instalación radiactiva y a una serie de medidas específicas de acuerdo con el tipo de radiación presente en cada caso. Sin embargo, en el trabajo con radiaciones ionizantes deben considerarse unos principios básicos, tales como que el número de personas expuestas a radiaciones ionizantes debe ser el menor posible y que la actividad que implique dicha exposición debe estar plenamente justificada de acuerdo con las ventajas que proporciona. Asimismo todas las exposiciones se mantendrán al nivel más bajo que sea razonablemente posible, sin sobrepasarse en ningún caso los límites anuales de dosis legalmente establecidos.

Normas generales de protección contra radiaciones ionizantes

➤ Formación e información

Previo al inicio de su actividad, los trabajadores profesionalmente expuestos y los estudiantes deberán recibir una formación adecuada en materia de protección radiológica y deberán asimismo ser informados e instruidos al nivel adecuado sobre el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes en su puesto de trabajo, que incluirá los siguientes aspectos:

- Riesgos de las radiaciones ionizantes y sus efectos biológicos.
- Normas generales de protección y precauciones a tomar durante el régimen normal de trabajo y en caso de accidente.
- Normas específicas, medios y métodos de trabajo para su protección en las operaciones a efectuar.
- Conocimiento y utilización de los instrumentos de detección y medida de radiaciones y de los equipos y medios de protección personal.
- Necesidad de efectuar reconocimientos médicos periódicos.
- Actuación en caso de emergencia.
- Importancia del cumplimiento de las medidas técnicas y médicas.
- Responsabilidades derivadas de su puesto de trabajo con respecto a la protección radiológica.

➤ Límite de dosis

Son valores que pueden recibir las personas expuestas y que nunca deben ser sobrepasados aunque pueden ser rebajados de acuerdo con los estudios de optimización y justificación adecuados.

Los límites de dosis se aplican a la suma de las dosis recibidas por exposición externa durante el periodo considerado y de la dosis interna integrada durante el mismo periodo. La determinación de las dosis totales considera las dosis debidas tanto a fuentes internas como a externas de radiaciones ionizantes. Los límites de dosis distinguen entre personas profesionalmente expuestas y público en general, además de ciertos casos especiales y operaciones especiales planificadas.

Límites anuales de dosis

Exposición total y homogénea	Personas profesionalmente expuestas	
	- Todo el organismo 50 mSv/año (5,0 rem/año) - Estudiantes entre 16 y 18 años 15 mSv/año (1,5 rem/año)	
Exposición total no homogénea o Exposición parcial del organismo	Personas profesionalmente no expuestas	
	Todo el organismo 5 mSv/año (0,5 rem/año)	
Límites especiales	Personas profesionalmente expuestas	
	- Todo el organismo 50 mSv/año (5,0 rem/año) - Cristalino 150 mSv/año (15 rem/año) - Piel 500 mSv/año (50 rem/año) - Extremidades 500 mSv/año (50 rem/año) - Otros órganos o tejidos 500 mSv/año (50 rem/año)	
	Personas profesionalmente no expuestas	
	- Cristalino 15 mSv/año (1,5 rem/año) - Piel 50 mSv/año (5,0 rem/año) - Extremidades 50 mSv/año (5,0 rem/año) - Otros órganos o tejidos 50 mSv/año (5,0 rem/año)	
Operaciones especiales planificadas	Para un periodo de 12 meses consecutivos, se considera como exposición total y homogénea	
Límites especiales	Mujeres en condición de procrear	13 mSv/trimestre (abdomen)
	Mujeres gestantes	10 mSv/embarazo (feto)
Operaciones especiales planificadas	Sólo trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A	
	- Dosis/año < doble de los límites anuales de dosis - Dosis/vida < quíntuplo de los límites anuales de dosis	

En el caso de incorporación de radionucleidos o de mezclas de éstos, los límites de incorporación anual y los límites derivados de concentración de actividades de radionucleidos en el aire inhalado se encuentran de acuerdo con los epígrafes descritos en la siguiente tabla:

Epígrafes y unidades empleadas para el establecimiento de límites

Radionucleidos	Personas profesionalmente expuestas ■ Incorporación anual por inhalación (Bq) ■ Incorporación anual por ingestión (Bq) ■ Concentración en el aire inhalado (para 2000 h/año) (Bq m-3)
	Miembros del público ■ Incorporación por inhalación (Bq) ■ Incorporación por ingestión (Bq) Los valores para cada radionucleido figuran en el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (R.D. 53/92)
Mezcla de radionucleidos	Composición de mezcla desconocida ■ Si han sido identificados o se pueden excluir determinados radionucleidos, se utilizarán el menor de los límites fijados para los radionucleidos que estén presentes. ■ Si la concentración y toxicidad de uno de los radionucleidos predomina en la mezcla, se utilizarán los límites fijados para dicho radionucleido. Composición de la mezcla conocida ■ Deberá cumplirse, $\sum_j \frac{I_j}{I_{j,L}} \leq 1 \text{ ó } \sum_j \frac{C_j}{C_{j,L}} \leq 1$ Siendo: I_j : Incorporación anual del radionucleido j. $I_{j,L}$: Límite de incorporación anual de este radionucleido. C_j : Concentración media anual en el aire del radionucleido j. $C_{j,L}$: Límite derivado de la concentración de este radionucleido en el aire.

Debe considerarse siempre la posibilidad de que se puedan recibir dosis superiores a los límites citados cuando se trate de exposiciones de emergencia (de carácter voluntario) o de exposiciones accidentales (de carácter involuntario o fortuito)

Delimitación de zonas

Todo espacio donde se manipulen o almacenen radionucleidos o se disponga de generadores de radiaciones ionizantes deben estar perfectamente delimitado y señalizado. La clasificación en distintos tipos de zonas se efectúa en función del riesgo existente en la instalación.

- **Zona de libre acceso.** Es aquella en que es muy improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis. En ella no es necesario tomar medidas de protección radiológica.
- **Zona vigilada.** Es aquella en que no es improbable recibir dosis superiores a 1/10 de los límites anuales de dosis, siendo muy improbable recibir dosis superiores a 3/10 de dichos límites. Se señala con un trébol de color gris-azulado sobre fondo blanco.
- **Zona controlada.** Es aquella que no es improbable recibir dosis superiores a 3/10 de los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol de color verde sobre fondo blanco.

- **Zona de permanencia limitada.** Es aquella en la que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol de color amarillo sobre fondo blanco.
- **Zona acceso prohibido.** Es aquella en la que existe el riesgo de recibir en una exposición única de dosis superiores a los límites anuales de dosis. Se señala con un trébol de color rojo sobre fondo blanco.

Si en cualquiera de las zonas citadas existiera solamente riesgo de exposición externa, el trébol irá bordeado de puntas radiales y si el riesgo fuera solamente de contaminación, el trébol estará sobre un campo punteado. Si se presentaran conjuntamente los dos tipos de riesgo el trébol irá bordeado de puntas radiales sobre un campo punteado.

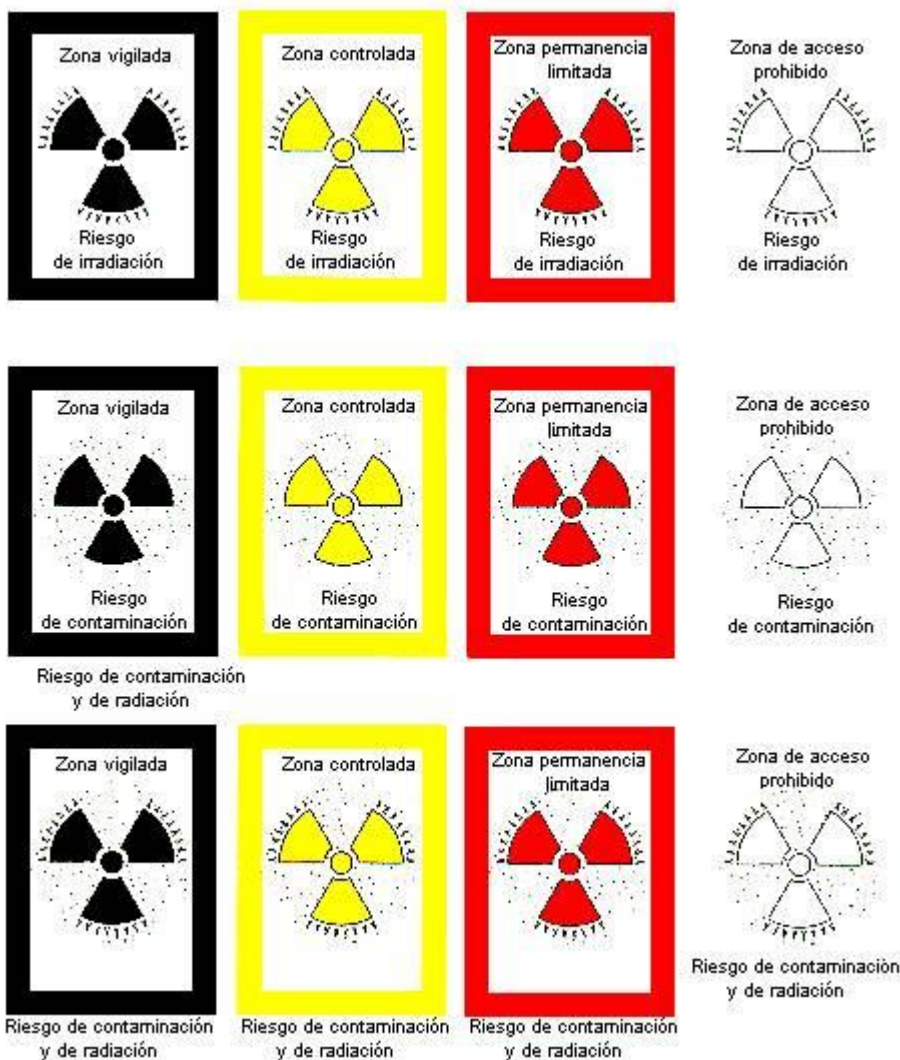


Fig. 4: Señalización de zonas

Medidas dosimétricas

En toda instalación radiactiva debe llevarse a cabo un control dosimétrico individual y ambiental, en función de la clasificación de la zona y del tipo de radiación emitida.

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

- Categoría A: Personas que no es improbable que reciban dosis superiores a 3/10 de alguno de los límites anuales de dosis.
- Categoría B: Personas que es muy improbable que reciban dosis superiores a 3/10 de alguno de los límites anuales de dosis.

En las zonas controladas (trabajadores profesionalmente expuestos de categoría A) es obligatoria la dosimetría individual que mida la dosis externa representativa de la dosis para la totalidad del organismo. Si existe riesgo de contaminación parcial, se deberán utilizar dosímetros adecuados a las partes potencialmente más afectadas. En el caso de existir riesgo de contaminación interna, los trabajadores expuestos estarán obligados a la realización de medidas o análisis adecuados para evaluar las dosis correspondientes. Las medidas dosimétricas deberán tener una periodicidad mensual para la dosimetría externa y la periodicidad que en cada caso se establezca para la dosimetría interna cuando exista riesgo de incorporación de radionucleidos.

Los trabajadores profesionalmente expuestos de la categoría B no están obligados al uso de dosímetros personales, siempre y cuando se disponga de dosimetría de área o de zona en los lugares de trabajo.

El sistema dosimétrico utilizado para la determinación de las dosis individuales será el adecuado para cada tipo de radiación, siendo los más frecuentes el de placa fotográfica, el de termoluminiscencia y el de cámara condensadora de lectura directa.

La dosimetría individual, tanto externa como interna, será efectuada por Entidades o Instituciones expresamente autorizadas y supervisadas por el Consejo de Seguridad Nuclear. En las zonas vigiladas y controladas se deberá efectuar periódicamente una medida ambiental de la radiación que permita indicar la naturaleza de la misma, su cuantificación y el nivel de dosis recibida. Para la medida de la radiación ambiental se utilizarán detectores de radiación, siendo los más frecuentes los basados en la ionización de gases.

Es obligatorio registrar todas las dosis recibidas durante la vida laboral de los trabajadores profesionalmente expuestos mediante un historial dosimétrico individualizado, que debe estar en todo momento a disposición del trabajador. Estos historiales deben guardarse por un periodo mínimo de 30 años, contados a partir de la fecha de cese del trabajador.

Vigilancia médica

Todo el personal profesionalmente expuesto está obligado a someterse a un reconocimiento médico con una periodicidad anual y dispondrá del correspondiente protocolo médico individualizado, que deberá archivar durante al menos 30 años desde el cese del trabajador en la instalación radiactiva.

Al personal que se incorpore de nuevo a una instalación radiactiva se le deberá efectuar un examen médico exhaustivo, según las especificaciones indicadas por el Consejo de Seguridad Nuclear, que permita conocer su estado de salud, su historia laboral y, en definitiva, su aptitud para el puesto de trabajo solicitado.

La vigilancia médica de los trabajadores profesionalmente expuestos, será realizada por un servicio médico especializado.

Normas específicas de protección contra radiaciones ionizantes

Irradiación externa

Las normas básicas de protección contra la radiación externa dependen de tres factores:

- Limitación del tiempo de exposición. La dosis recibida es directamente proporcional al tiempo de exposición, por lo que, disminuyendo el tiempo, disminuirá la dosis. Una buena planificación y un conocimiento adecuado de las operaciones a realizar permitirá una reducción del tiempo de exposición.
- Utilización de pantallas o blindajes de protección. Para ciertas fuentes radiactivas la utilización de pantallas de protección permite una reducción notable de la dosis recibida por el operador. Existen dos tipos de pantallas o blindajes, las denominadas barreras primarias (atenuan la radiación del haz primario) y las barreras secundarias (evitan la radiación difusa).
- Distancia a la fuente radiactiva. La dosis recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente radiactiva. En consecuencia, si se aumenta el doble la distancia, la dosis recibida disminuirá la cuarta parte. Es recomendable la utilización de dispositivos o mandos a distancia en aquellos casos en que sea posible.

Contaminación radiactiva

Cuando hay riesgo de contaminación radiactiva, las medidas de protección tienen por objeto evitar el contacto directo con la fuente radiactiva e impedir la dispersión de la misma. Como norma general, el personal que trabaja con radionucleidos deberá conocer de antemano el plan de trabajo y las personas que lo van a efectuar. El plan de trabajo contendrá información sobre las medidas preventivas a tomar, los sistemas de descontaminación y de eliminación de residuos y sobre el plan de emergencia.

Las medidas de protección se escogerán en función de la radiotoxicidad y actividad de la fuente, actuando sobre las instalaciones y zonas de trabajo y sobre el personal expuesto (protección personal):

- Protección de las instalaciones, zonas de trabajo y normas generales. Las superficies deberán ser lisas, exentas de poros y fisuras, de forma que permitan una fácil descontaminación.
- Se deberá disponer de sistemas de ventilación adecuados que permitan una evacuación eficaz de los gases o aerosoles producidos, evitándose su evacuación al ambiente mediante la instalación de filtros.
- Se deberá efectuar un control de los residuos generados y del agua utilizada. Deberán efectuarse controles periódicos de la contaminación en la zona, los materiales y las ropas utilizadas.
- Los sistemas estructurales y constructivos deberán tener una resistencia al fuego (RF) adecuada y se deberá disponer de los sistemas de detección y extinción de incendios necesarios.
- En toda instalación radiactiva estará absolutamente prohibido comer, beber, fumar y aplicarse cosméticos.

- A la salida de las zonas controladas y vigiladas con riesgo de contaminación, existirán detectores adecuados para comprobar una posible contaminación y tomar en su caso las medidas oportunas.
- Protecciones personales. El uso de protecciones personales será obligatorio en las zonas vigiladas y controladas con riesgo de contaminación. Los equipos y prendas de protección utilizados deberán estar perfectamente señalizados y no podrán salir de la zona hasta que hayan sido descontaminados. Es aconsejable, en lo posible, la utilización de material de un solo uso que una vez utilizado deberá almacenarse en recipientes correctamente señalizados.

Gestión de residuos

Las instalaciones radiactivas deberán estar proyectadas convenientemente para evitar o reducir al mínimo posible la evacuación de residuos radiactivos al medio ambiente, tanto en régimen normal de funcionamiento como en caso de accidente. Los residuos radiactivos exigirán una gestión diferenciada y específica, totalmente separada de los sistemas de almacenamiento, tratamiento y evacuación del resto de residuos.

Los residuos radiactivos deberán almacenarse en recipientes cuyas características proporcionen una protección suficiente contra las radiaciones ionizantes, considerando las condiciones del lugar de almacenamiento y la posible dispersión o fuga del material radiactivo. Los recipientes que contengan residuos radiactivos estarán convenientemente señalizados. Deberá llevarse un registro por duplicado para cada recipiente en el que se consignarán los datos físicoquímicos y, si es posible, la actividad, así como los valores máximos del nivel de exposición en contacto y a un metro de distancia del recipiente y la fecha de la última medición efectuada.

El sistema de almacenamiento, tratamiento y eliminación dependerá de varios factores tales como la forma física, la actividad y la vida media del radionucleido, así como del volumen generado y de su periodicidad.

Los residuos radiactivos deberán gestionarse a través de empresas especializadas convenientemente autorizadas por el Consejo de Seguridad Nuclear.

NORMAS MINIMAS DE FUNCIONAMIENTO DE EQUIPOS DE RADIOTERAPIA

Los criterios que aquí se presentan deben considerarse como «niveles de intervención», es decir, niveles de funcionamiento que cuando se alcanzan obligan a realizar algún tipo de intervención correctora. La ejecución de estas intervenciones debe basarse en una valoración formal del funcionamiento del equipo. Tras esta valoración, hay que llegar a un acuerdo en un período de tiempo razonable para intervenir (dando de baja o sustituyendo el equipo, renovándolo) y para establecer las circunstancias específicas en las que el equipo puede seguir funcionando. Es posible que sean necesarias otras mediciones más completas y precisas para determinar la causa de los cambios producidos en el funcionamiento. Debe hacerse especial hincapié en que los criterios aquí propuestos no han de emplearse como valores recomendados con fines de control de calidad.

Estos criterios son válidos para la utilización clínica normal del equipo radiológico terapéutico y no (necesariamente) para equipo de braquiterapia, radioterapia intraoperatoria, dinámica, paliativa y corporal total. Tampoco se consideran los simuladores de tratamiento

radioterapéutico. Como se indicó en la introducción, los criterios presentados se pueden utilizar como niveles límite a los cuales es preciso emprender acciones correctoras. Son muy pocas las ocasiones en que podría estar justificado utilizar el equipo en aplicaciones clínicas aunque se haya rebasado el nivel de acción correctora. Una decisión de esta clase sólo se puede tomar tras la consideración cuidadosa por parte del físico clínico responsable, con conocimiento de los médicos clínicos y los radiógrafos. Por ejemplo, los tratamientos curativos exigen que la altura de la mesa de tratamiento tenga una gran estabilidad, en especial durante la irradiación lateral. Si las tolerancias mecánicas no permiten ajustar la altura de la mesa dentro del nivel de tolerancia radiológica, puede estar justificado realizar tratamientos paliativos postero-anteriores o antero-posteriores si no existen otras alternativas.

Los valores que se dan en la tabla se basan en las recomendaciones de la OMS (1988) y de la NCS (1995), con algunas modificaciones.

Tabla: Inspecciones del comportamiento mecánico, geométrico y del haz y de la exactitud del campo luminoso con niveles necesitados de acción correctora.

Inspección	Nivel de acción correctora
– Rotación del estativo	1°
– Rotación del cabezal	0,2°
– Isocentro	2 mm
– Indicadores de distancia de la fuente	2 mm
– Indicadores del eje del haz	2 mm
– Indicadores numéricos del campo	2 mm
– Indicación del campo luminoso	2 mm
– Rotación del sistema de colimación:	1°
– Mesas de tratamiento	
· escalas lateral y longitudinal:	2 mm
· escalas verticales:	2 mm
· deflexión vertical (con carga del paciente):	5 mm
– Sistemas de verificación del tratamiento:	Especificación del fabricante
(ángulo del estativo, tamaño del campo, rotación del colimador, tiempo de tratamiento o unidades del monitor, energía del haz, etc.)	
– Dispositivos de inmovilización:	2 mm
(moldes, mascarillas, inmovilizadores mamarios, soportes de Cabeza, soportes de brazo o pierna, bloques de mordere, etc.)	
– Dispositivos de alineación del paciente:	2 mm
Comportamiento del haz y exactitud de campo luminoso	
– Indicación del campo luminoso (mediciones de densidad)	1 mm por borde
– Calibración de la dosis en el eje central con maniquí en posición de referencia:	3 % (fotones) 4 % (electrones)
– Pruebas de constancia:	
unidades de cobalto 60 y cesio 137:	2 %
unidades de rayos X con ortovoltaje:	2 %
aceleradores:	2 %
– Linealidad del monitor:	1 %
– Unidad del temporizador de cobalto 60:	0.01 mín.
– Prueba de electrones/fotones	el tipo de radiación debe ser el correcto
– Haz de rayos X:	

uniformidad superficial del haz:	_ 3 %
simetría del haz: _ 3 %	
– Unidades de cobalto 60 y cesio 137:	
simetría del haz:	_ 3 %
– Unidades de rayos X con ortovoltaje:	
simetría del haz:	_ 6 %
– Haces de electrones	
uniformidad y simetría:	_ 3 %
– Factor de transmisión de calzos y compensadores	_ 2 %
– Sistema de vigilancia de dosis	
precisión:	_ 0,5 %
linealidad:	_ 1 %
efecto de la tasa de dosis:	_ 2 %
estabilidad:	_ 2 %
ángulo del estativo:	_ 3 %

Fuente: Sistema de planificación del tratamiento (ICRU, 1986)

Nota: Una distribución de dosis computadorizada puede considerarse lo bastante exacta si las dosis calculada y medida difieren en menos del 2 % en puntos importantes para el tratamiento. En regiones que impliquen gradientes de dosis muy pendientes, la posición observada de una curva de isodosis debe diferir de la posición calculada correspondiente en menos de 0,3 cm.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Si es indispensable manipular o estar cerca de las radiaciones ionizantes se deben vestir elementos que protejan contra el tipo de radiación presente:

- Contra las radiaciones electromagnéticas se pueden utilizar guantes y overol o delantal laminados en plomo.
- El overol marca NuFab® de Kappler® protege contra las **partículas beta**.
- Es importante combinar los dos elementos de protección para asegurar que el trabajador no se va a exponer a ninguna de las radiaciones.



Delantal y guantes o mitones laminados en plomo

Es importante conocer la cantidad de radiación que un trabajador recibe, por lo que debe recurrirse a equipos que la registren. Dentro de estos equipos podemos enunciar:

Dosímetros de cristal, dosímetros de placa, cámaras de ionización, contador de Geiger-Müller, contadores proporcionales, contador de destellos. Algunos de estos aparatos registran directamente y otros necesitan de procesos adicionales, o dan lecturas que son una medición de la exposición durante un tiempo determinado. La Resolución 02400 de 1979, estipula que debe contarse con un dosímetro de película para que el trabajador lo lleve consigo.

FUENTES CONSULTADAS

1. CORDOBA, Darío. Toxicología. Tercera Edición. Páginas 433, 434 y 435.
2. Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Edición Luigi Parmeggiani. Oficina Internacional del Trabajo. Página 2029.
3. Threshold limit values for chemical substances and physical agents. TLV's and BEI's. 2010. ACGIH.
4. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Resolución 02400 mayo 22 de 1.979. Capítulo V.
5. CRITERIOS PARA LA ACEPTABILIDAD DE INSTALACIONES RADIOLÓGICAS INCLUYENDO RADIOTERAPIA) Y DE MEDICINA NUCLEAR. Dirección de Seguridad Nuclear y Protección Civil. Comisión. Comunidad Económica Europea. 2003.
6. NTP 304: Radiaciones ionizantes: normas de protección. INSHT. España. 2003.

Fecha de emisión: 29/04/2015

Elaborado por:
CISTEMA – ARP SURA

Nota: La información anterior se presenta de manera práctica, sencilla y orientadora, no es exhaustiva ni producto de nuestra propia investigación; intenta resumir temas específicos y está basada en fuentes consideradas veraces. Sin embargo, el lector no está eximido de obtener información suplementaria más avanzada y acatar o no la presente, depende exclusivamente del usuario. El autor no se hace responsable por las consecuencias derivadas de la aplicación de estas recomendaciones.