



Título: Radiaciones ionizantes: riesgos y protección

Autor/es: Calama Rodríguez, Luis

Resumen: De los agentes físicos utilizados en el campo sanitario los más peligrosos son las radiaciones ionizantes que se utilizan en el diagnóstico y el tratamiento médicos. Sus efectos sobre las personas pueden tener consecuencias para su salud o para la salud de las de futuras generaciones (riesgos somáticos y genéticos), por lo que es imprescindible para el personal sanitario conocer las medidas de protección radiológica en el centro de trabajo en el que se utilizan estas radiaciones. Además hay que conocer las dosis máximas permisibles permitidas para los profesionales expuestos y para el público en general, el poseer un sistema de dosimetría personal para aquellos profesionales que están en contacto con radiaciones ionizantes y la observancia de las señales de aviso o peligro de radiaciones.

Palabras Clave: Radiación ionizante

Palabras Clave en inglés

Cita Bibliográfica: CALAMA RODRÍGUEZ, L. (2008). Radiaciones ionizantes: riesgos y protección. En Calvo Sánchez, M. D. "Enfermería del trabajo". Ribarroja (Valencia) : Difusión Avances de Enfermería

CAPÍTULO 16

RADIACIONES IONIZANTES: RIESGOS Y PROTECCIÓN

Luis Calama Rodríguez.

Catedrático de la Escuela Universitaria de Enfermería de Salamanca. Departamento de Enfermería.

Resumen

De los agentes físicos utilizados en el campo sanitario los más peligrosos son las radiaciones ionizantes que se utilizan en el diagnóstico y el tratamiento médicos. Sus efectos sobre las personas pueden tener consecuencias para su salud o para la salud de las de futuras generaciones (riesgos somáticos y genéticos), por lo que es imprescindible para el personal sanitario conocer las medidas de protección radiológica en el centro de trabajo en el que se utilizan estas radiaciones. Además hay que conocer las dosis máximas permisibles permitidas para los profesionales expuestos y para el público en general, el poseer un sistema de dosimetría personal para aquellos



profesionales que están en contacto con radiaciones ionizantes y la observancia de las señales de aviso o peligro de radiaciones.

Introducción

Los agentes físicos se utilizan en el campo sanitario para el diagnóstico, la terapéutica y la investigación. Su introducción en el terreno sanitario ha sido constante desde finales del siglo XIX, cuando Röntgen descubriera los rayos X en 1895 y posteriormente en 1896 Becquerel descubriera que un compuesto de uranio emitía espontáneamente radiaciones ionizantes y en 1898 el matrimonio Pierre y Marie Curie descubrieran que el Torio también emitía el mismo tipo de radiación, base para el descubrimiento posterior del Radio y la radiactividad artificial.

En los últimos años el avance de las tecnologías médicas viene propiciando un imparable aumento de las técnicas que utilizan radiaciones, lo que hace muy necesario el conocimiento por todos los profesionales sanitarios del tipo de agentes físicos que se utilizan en todos los campos del trabajo sanitario y especialmente los riesgos a que se pueden someter las personas (profesionales sanitarios o no) que pueden estar en contacto con este tipo de agentes en su medio de trabajo, ya que si las radiaciones ionizantes penetran en los tejidos vivos, pueden provocar importantes efectos biológicos. Por todo ello es preciso saber cuáles son los efectos biológicos de estas radiaciones y conocer los riesgos, las dosis y las medidas de protección junto con la legislación vigente al respecto por aquellas personas que trabajan en contacto con radiaciones ionizantes o lugares en los que se emplean, ya que en el medio sanitario proliferan dichas fuentes.

Es por eso que a lo largo de este capítulo expondremos cuáles son los agentes físicos, cuáles de ellos son radiaciones, cuáles son radiaciones ionizantes, para qué se emplean en el terreno sanitario y cuáles son los riesgos o efectos indeseables de las radiaciones sobre el organismo humano y a qué dosis de radiaciones se pueden producir, para finalizar con los conceptos y normas de protección radiológica que deben guardar y hacer guardar los sanitarios que estén en contacto en su medio de trabajo con estos agentes físicos, así como la legislación existente a este respecto.

Índice

Concepto de Agente Físico, de Radiación y de Radiaciones Ionizantes.
Empleo de los Agentes Físicos en el campo sanitario
Riesgos en el uso de las Radiaciones Ionizantes
Riesgos de tipo Somático
Riesgos de tipo Genético



Dosimetría Radiológica
Normas de Protección Radiológica
Preguntas de este tema
Bibliografía

Concepto de Agente Físico, de Radiación y de Radiaciones Ionizantes

Entendemos por **agente físico** aquel vehículo o soporte de una energía que cuando es absorbido por los seres vivos puede provocar en ellos un efecto biológico. Así pueden ser ejemplos de agentes físicos los rayos X, los rayos gamma, los ultrasonidos, el calor, la luz e incluso el movimiento y el masaje, porque todos ellos tienen en común que son vehículos de energía que puede provocar efectos biológicos en los organismos vivos.

Algunos de los agentes físicos son radiaciones.

Radiación es un agente físico que se transmite a través del espacio sin contacto entre la fuente de producción y el objeto de aplicación. Son ejemplos de radiaciones los rayos X, los rayos gamma, el calor (radiación infrarroja) o la luz. Estas citadas, además pueden considerarse radiaciones electromagnéticas, porque llevan asociada una onda eléctrica y un campo magnético y una energía diferente de unas radiaciones a otras, y todas tienen la velocidad de la luz.

También podemos dividir a las radiaciones y en general a todos los agentes físicos en ionizantes y no ionizantes.

Las radiaciones directamente ionizantes son las que pueden provocar por sí mismas ionizaciones, es decir arrancar electrones de los átomos que forman el campo de aplicación o el tejido sobre el que interactúan, convirtiendo esos átomos que eran neutros en iones cargados. La ionización constituye un mecanismo de alteración biológica provocada por la radiación, que posteriormente puede llevar a alteraciones químicas y éstas dar lugar a alteraciones biológicas más o menos importantes. Son radiaciones directamente ionizantes los haces de electrones o protones, o en general partículas cargadas.

Radiación indirectamente ionizante es la que no es portadora de carga, pero es capaz de arrancar electrones del medio sobre el que interactúa. Así por ejemplo la radiación gamma emitida por los isótopos radiactivos, la radiación X (ambas son radiación electromagnética o fotones), o los haces de neutrones.

La radiación no ionizante es una radiación electromagnética de menor energía, que no es capaz de provocar ionizaciones en el medio. Son ejemplos la luz visible, las microondas, las ondas de radiofrecuencia, televisión, teléfonos móviles, etc.



Está demostrado que la radiación ionizante, ya sea directa o indirectamente ionizante, es nociva para la salud. De ahí que sea conveniente reducir al mínimo posible la exposición a dichas radiaciones, de lo que se encarga la Protección Radiológica.

En definitiva, son **agentes físicos ionizantes** aquéllos que pueden producir ionizaciones, es decir formación de pares de iones (positivos y negativos) por arrancamiento de electrones de la corteza de los átomos, y **agentes físicos no ionizantes** son aquéllos que no tienen esa capacidad. A los agentes físicos ionizantes se les llama **radiaciones ionizantes**.

Desde el punto de vista de la exposición a las radiaciones, son más peligrosas las radiaciones ionizantes, porque pueden producir mayores efectos biológicos, y también habrá que tener más cuidado en la protección frente a ellas.

Son ejemplos de radiaciones ionizantes utilizadas en el campo sanitario, los rayos X y los rayos gamma, que se utilizan tanto en el diagnóstico como en el tratamiento y la investigación.

Agentes físicos ionizantes ionizantes

Rayos X
Rayos gamma
Electrones y otras partículas
Luz
Masaje
Movimiento

Agentes físicos no

Ultrasonidos
Calor
Campos magnéticos

Empleo de los agentes físicos en el campo sanitario

Algunos agentes físicos ionizantes pueden utilizarse tanto en el diagnóstico como en el tratamiento. Los rayos X y gamma junto con otros agentes físicos como los electrones u otras partículas subatómicas constituyen la herramienta con la que se llevan a cabo los tratamientos en **Radioterapia**. Además los rayos X se utilizan el diagnóstico médico en lo que constituye el área del **Radiodiagnóstico** (diagnóstico mediante los rayos X), y que abarca tanto las radiografías convencionales como las de contraste o la TC (Tomografía Computadorizada). El radiodiagnóstico es una parte del diagnóstico por imagen que es fundamental para la atención sanitaria, con importantes aplicaciones que crecen de día en día y sin cuyo apoyo sería imposible concebir la atención sanitaria moderna.



Figura 1.- Ejemplo de TC cerebral y de radiografía de la muñeca.

Los rayos gamma se utilizan también en el tratamiento de enfermedades, sobre todo neoplasias, en lo que constituye la **Gammaterapia** (utilización de los isótopos radiactivos en la terapéutica), una parte de la Radioterapia y también las radiaciones gamma de los isótopos radiactivos pueden utilizarse en el campo del diagnóstico médico, en lo que constituye una especialidad médica denominada **Medicina Nuclear** (un porcentaje muy elevado de esta especialidad se dedica a la realización de gammagrafías).

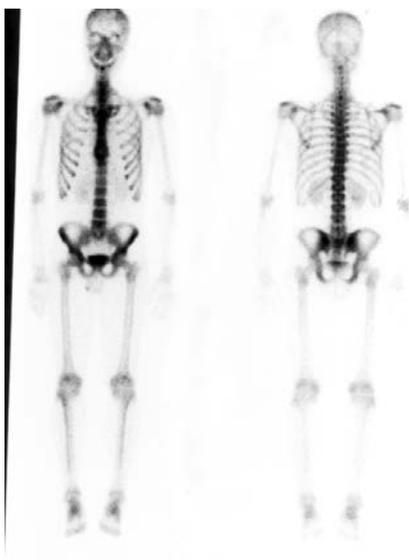


Figura 2.- Gammagrafía ósea de cuerpo completo en incidencias anterior y posterior..

A su vez, los agentes físicos no ionizantes pueden utilizarse en el terreno de la terapéutica (**Fisioterapia**), que como sabemos constituye una importante carrera



sanitaria por sí misma, y algunos de ellos también pueden utilizarse en el diagnóstico médico. Así por ejemplo los ultrasonidos (**Ultrasonodiagnóstico**) constituyen la ciencia base para realizar las ecografías, los campos magnéticos, las imágenes de **Resonancia Magnética (IRM)** y el calor (**Termodiagnóstico**) las imágenes termográficas.



Figura 3.- Ejemplos de ecografía e IRM

Hay que tener en cuenta que los agentes físicos no ionizantes, tanto los utilizados en el campo del diagnóstico como en la terapéutica o la investigación, no producen ionizaciones, por lo que son a todas luces menos peligrosos desde el punto de vista de los riesgos y la protección radiológica, aunque nunca podrán ser considerados inocuos. Sin embargo debido a su mayor importancia cualitativa, a partir de ahora nos referiremos exclusivamente a los riesgos y a la protección frente a las radiaciones ionizantes.

Riesgos en el uso de las radiaciones ionizantes

Desde el descubrimiento de los rayos X y la radiactividad a finales del siglo XIX hasta la actualidad, ha aumentado considerablemente el campo de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes no solamente en el terreno sanitario, sino también en otras actividades sociales como la industria y la agricultura, por poner sólo algunos ejemplos.

Ni que decir tiene, que hoy día las radiaciones ionizantes son imprescindibles en el diagnóstico, la terapéutica y la investigación sanitarias. Este hecho, nos obliga a contrastar los beneficios obtenidos con estas aplicaciones, con los efectos biológicos nocivos que su utilización puede acarrear, en orden a una consecución cada vez más eficaz de los fines que se pretenden, con el menor riesgo posible en cada momento.

El análisis de los riesgos y el cumplimiento de unos medios de protección frente a las radiaciones ionizantes, es fundamental para el personal sanitario que trabaja con



radiaciones ionizantes, en orden a preservar la salud de dichos trabajadores y de las personas expuestas a las mismas.

El principal efecto físico químico de la interacción de las radiaciones ionizantes con los seres vivos es la formación de radicales libres y la probabilidad de alteraciones del ADN. Esto llevará posteriormente a la posibilidad de aparición de efectos biológicos cuya severidad dependerá de las dosis empleadas, el tiempo de exposición, el volumen irradiado y los tejidos orgánicos que se vean comprometidos por la irradiación.

La relación dosis-respuesta puede ser probabilística (ocasionada o no según el azar) (efecto estocástico), no existiendo una dosis umbral, es decir una dosis por debajo de la cual no se produzcan estos efectos, o bien puede ser una relación directa causa-efecto (efecto no estocástico (no probabilístico) o gradual), lo que ocurre a partir de una determinada dosis umbral (0,25 Sv).

En ambos casos, la probabilidad de efecto, o el efecto propiamente dicho, aumenta directamente con la dosis.

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

En la **irradiación externa** el individuo está expuesto a una fuente de radiación externa al mismo, sin contacto directo con la fuente. La irradiación externa puede ser total o parcial.

En la **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.

Por tanto, entre los efectos biológicos ocasionados por las radiaciones ionizantes tenemos los denominados **Probabilísticos (Estocásticos)**, porque la probabilidad de que ocurran aumenta con las dosis recibidas de dichas radiaciones, no presentando umbral de dosis a partir de la cual se pueden producir. Entre ellos se encuentran la leucemia y el cáncer y los efectos genéticos sobre poblaciones futuras.

Además existen los efectos denominados **No Probabilísticos (No Estocásticos)**, cuya manifestación o no, depende de la dosis recibida, su severidad aumenta con la dosis recibida y existe una dosis umbral, por debajo de la cual no se manifiestan estos efectos. Entre ellos podemos citar la caída del cabello, la esterilidad, la anemia aplásica, la opacidad del cristalino, la radiodermatitis, la muerte, etc

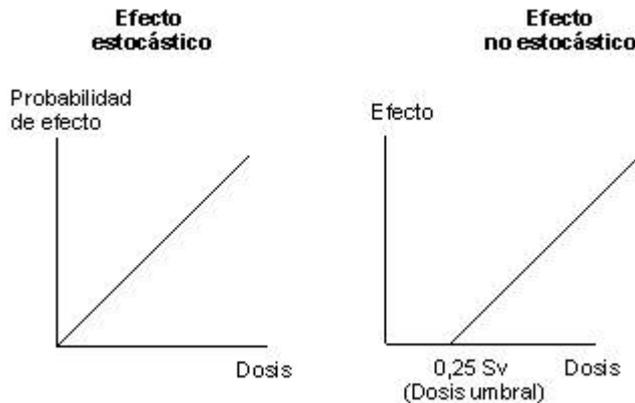


Figura 4.- Relación entre las dosis y su respuesta, según que el efecto sea Estocástico o No Estocástico.

Otra clasificación de los riesgos o efectos indeseables de las radiaciones ionizantes, sería el considerar la acción de las mismas en las células sobre las que actúan. Si estas células fueran células germinales (células implicadas en la reproducción) los riesgos serían genéticos y se podrían heredar alteraciones producidas en dichas células. Si las células afectadas por las radiaciones ionizantes fueran somáticas (células no germinales) entonces los efectos indeseables podríamos considerarlos de tipo somático, como por ejemplo ceguera, anemia aplásica, diarreas, etc.

Riesgos de tipo somático

Acciones sobre órganos específicos:

La acción de las radiaciones ionizantes sobre órganos específicos puede provocar alteraciones sobre dichos órganos, algunos de los cuales pueden verse afectados en mayor cuantía por su mayor sensibilidad a las radiaciones o porque en un momento dado se ven especialmente afectados (órganos críticos).

Entre estos órganos que pueden considerarse más afectados por las radiaciones ionizantes debido a su mayor radiosensibilidad o mayor afectación en determinados momentos, se encuentran por ejemplo la piel, cuya afectación produce radiodermatitis aguda o crónica.

La piel se afecta bastante por las radiaciones ionizantes, porque es el órgano de entrada de las mismas en la irradiación externa y además tiene una renovación constante, lo que la hace especialmente sensible a las radiaciones por su elevado número de mitosis celulares.



Otro órgano que se solía afectar bastante en los antiguos radiólogos era el cristalino, en el que se producía opacificación (catarata), debido a estar mirando durante muchas horas a la pantalla radioscópica.

Las gónadas (testículo y ovario) y en general los tejidos glandulares, la médula ósea o la mucosa del aparato digestivo, son también órganos que pueden afectarse específicamente por las radiaciones ionizantes, debido al mayor índice de reproductibilidad de sus tejidos, ya que hace muchas décadas que se sabe que las células que más se reproducen se afectan más por las radiaciones ionizantes, según las leyes clásicas de la Radiobiología, aunque cualquier órgano puede considerarse crítico en un momento determinado, debido a su posibilidad de afectarse en un momento determinado por motivos diferentes (aplicación de isótopos específicos de ese órgano o acción directa de las radiaciones sobre órganos próximos en un tratamiento radioterápico por ejemplo).

Carcinogénesis

Las radiaciones ionizantes tienen también una acción carcinogénica, y aunque existen varias teorías que tratan de explicar el desarrollo del cáncer por acción de las mismas, la teoría más aceptada es la teoría mutagénica, que explica la producción de cáncer por radiaciones debido a las mutaciones celulares que se producen en el material genético de las células originando alteraciones en los mecanismos reguladores de la división y diferenciación celular. Cualquier tipo de cáncer puede ser producido por radiaciones desde el momento en que cualquier célula del cuerpo humano puede mutar por efecto de las radiaciones ionizantes, pero el cáncer más estudiado por su relación causa efecto por radiaciones es la leucemia.

Efectos generales de tipo crónico.

Alteraciones como aceleración del envejecimiento celular, aumento de la morbilidad o alteraciones en el desarrollo orgánico debido a la irradiación son algunas de las consecuencias que pueden provocar las radiaciones ionizantes en los organismos vivos. Todos ellos han sido comprobados en animales de experimentación, y el aumento de las enfermedades en general, también se ha comprobado en las poblaciones que han sufrido explosiones nucleares.

Alteraciones en el embrión el feto.



Los efectos de la irradiación del tejido embrionario y fetal dependen de las dosis recibidas y del tiempo gestacional, presentándose efectos diferentes y diferentes valores de dosis umbral a lo largo del desarrollo embrionario. Malformaciones congénitas, abortos o muerte neonatal son algunas de las consecuencias que puede conllevar la irradiación excesiva de una mujer embarazada.

En la primera fase del desarrollo embrionario (Fase de preimplantación, Fecundación y Anidación del huevo fecundado (de 0 a 7 días tras la fecundación), con dosis mayores de 0.1 Sv se pueden producir abortos.

En la fase más importante del desarrollo embrionario en cuanto a cuantía de los órganos que se forman, que va desde el día 8 hasta el 40 postfecundación, se pueden producir malformaciones en el embrión con dosis mayores de 0.005 Sv (5 mSv).

Entre las 8 y las 25 semanas, período en que se realiza el desarrollo del SNC, se pueden producir malformaciones cerebrales, con dosis superiores a 0.01 Sv (10 mSv).

Riesgos de tipo genético

Los riesgos de tipo somático se deben a la posible afectación de células somáticas por las radiaciones ionizantes. Del mismo modo, en el caso de que las células afectadas por las radiaciones ionizantes sean células germinales, los efectos indeseables serán de tipo genético.

Si las células germinales se ven afectadas por las radiaciones ionizantes, con una dosis suficiente, se pueden producir alteraciones en el material genético que va a ser transmitido a la descendencia, y cabe la posibilidad de que se aumente el número de caracteres hereditarios desfavorables con el consiguiente aumento de **enfermedades hereditarias transmisibles** por alteración de uno o varios genes (mutaciones).

De esta forma pueden verse aumentadas en su incidencia enfermedades como las talasemias, los hermafroditismos, las mucopolisacaridosis, las fenilcetonurias, las hemofilias, las distrofias musculares, etc. etc., enfermedades todas ellas hereditarias transmisibles por afectación de uno o varios genes.

Dosimetría de las radiaciones ionizantes

Detección de la radiación

Dado que el ser humano no dispone de sentidos capaces de detectar la radiación ionizante, se hace necesario disponer de aparatos que puedan determinar el nivel de radiación existente.

Los detectores pueden dividirse:



Por su respuesta.

1. Activímetros y/ó contadores. Cuentan partículas individualmente. En particular con los activímetros se obtienen valores de actividad de las muestras radiactivas; con contadores con sondas especialmente diseñadas se puede saber cuál es el valor de una posible contaminación radiactiva de una superficie.

Cuando se tiene riesgo de contaminación por sustancias radiactivas (caso de instalaciones como las de la Medicina Nuclear) se hace imprescindible disponer de contadores de contaminación superficial.

Así mismo, el activímetro es un elemento esencial en el trabajo cotidiano en Medicina Nuclear: La actividad inyectada a cada paciente tendrá que haberse medido con anterioridad en el activímetro.

2. Espectrómetros. Miden la energía de cada partícula, para suministrar finalmente el espectro completo del haz de radiación.

3. Dosímetros. Miden las dosis que producen las radiaciones ionizantes.

Desde el punto de vista de la Protección Radiológica interesan los valores de dosis que reciben las personas. Es por ello por lo que los dosímetros son detectores esenciales.

Por su ubicación.

1. Fijos. Son los que miden de forma continuada el nivel de tasa de dosis ó dosis en un determinado lugar. Suelen estar ubicados de manera permanente en el Servicio en el que miden. En el caso del activímetro puede considerarse detector fijo de la Instalación de Medicina Nuclear.

2. Portátiles. Pueden trasladarse de un lugar a otro con el objeto de ir indicando niveles de dosis en varias instalaciones. Por ejemplo un detector de Geiger-Muller que se lleva de un sitio para otro.





Figura 5 .- Detector de radiaciones de Geiger-Muller

Por su funcionamiento.

1. Detectores de ionización gaseosa. Son los más utilizados para determinar dosis cuando se

quiere lectura inmediata. En esencia están constituidos por un volumen de aire (en algún caso se trata de otro gas) dentro del que se encuentran dos electrodos (uno haciendo de polo positivo, el otro de polo negativo). La diferencia de potencial entre ellos se mantiene mediante un circuito externo.

Cuando la radiación atraviesa el volumen, arranca electrones de los átomos allí presentes. Al dirigirse éstos hacia el electrodo positivo se genera una corriente eléctrica en el circuito externo. La corriente será mayor cuando mayor sea la descarga energética en el volumen; esto es, cuanto mayor sea la dosis a que se haya expuesto el detector. Conociendo la corriente creada podremos conocer la dosis. Dependiendo del valor de diferencia de potencial establecido originalmente entre electrodos, los detectores de ionización gaseosa se clasifican en: cámaras de ionización, contadores proporcionales y contadores Geiger-Muller (por orden creciente de esa diferencia de potencial).

2. Detectores (dosímetros) de película fotográfica. La radiación impresiona una pequeña película fotográfica, penetrando a través de una envoltura que la protege de la radiación ambiente. Posteriormente se revela la película, de forma que midiendo el grado de ennegrecimiento se puede deducir la dosis recibida por el detector.

3. Detectores (dosímetros) de termoluminiscencia. Están constituidos por un cristal termoluminiscente con la propiedad de que al ser irradiados, los electrones de la estructura cristalina quedan con energía superior a la de su situación estable. Cuando posteriormente calentamos el cristal, se genera luz de forma proporcional al número de electrones que sufrieron el cambio anterior. Por ello midiendo esa cantidad de luz podemos conocer la dosis recibida por el detector.

En el mundo hospitalario, se utilizan habitualmente:

* Para la dosimetría ambiental (la realizada, por ejemplo, cuando se pretende conocer el buen estado de blindajes de una sala de rayos X):

- Detectores de ionización gaseosa si se quiere lectura inmediata.

- Detectores de termoluminiscencia (similares a los dosímetros personales, pero utilizados como dosímetros de área) si se pretende conocer la dosis acumulada a lo largo de un mes en esa zona.

* Para la dosimetría personal, antiguamente se utilizaba la dosimetría por película fotográfica; en la actualidad, se usa dosimetría por termoluminiscencia.



* Para la dosimetría del paciente se pueden usar bien cámaras de ionización, bien pequeños cristales de termoluminiscencia.

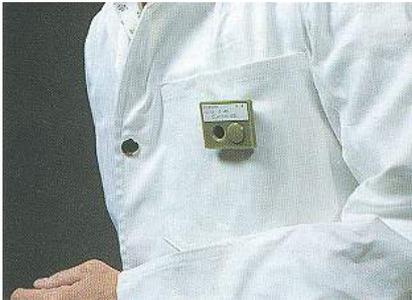


Figura 6 .- Dosímetro personal de solapa.

Magnitudes y Unidades radiológicas:

Las magnitudes y unidades radiológicas han sido objeto de diferentes modificaciones a lo largo del tiempo. Entre 1953 y 1962, la Internacional Comisión on Radiological Units and Measurements (ICRU) presentó sus definiciones de actividad, exposición, dosis absorbida y dosis equivalente y sus correspondientes unidades, el curio, el roentgen, el rad y el rem. En 1975 la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) adoptó como unidades del Sistema Internacional (SI) en dosimetría biomédica, el Becquerel y el Gray. El Sievert (Sv) fue propuesto en 1977 por la ICRU y la ICRP (Internacional Comisión on Radiological Protection), y aprobado por la CGPM en 1979.

Se llama Actividad de un radionúclido al número de átomos que se desintegran por segundo. La unidad de actividad, el Curio (Ci), fue modificada al adoptar el SI por el Becquerel (Bq), que corresponde a la actividad de un elemento que presente una desintegración por segundo:

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

Se llama Exposición a la cantidad de radiación que incide sobre el absorbente, y la unidad de exposición en el SI es el Culombio/Kg (C/Kg), siendo su equivalencia con la antigua unidad el Roentgen (R), la siguiente:

$$1 \text{ C/Kg} = 3,88 \times 10^3 \text{ R}$$



Pero desde el punto de vista biológico es mucho más interesante manejar la Dosis Absorbida que es la cantidad de radiación que cede su energía al absorbente. En el SI la unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy), que es la cantidad de radiación que provoca la energía de un Julio por cada Kg de masa del absorbente y cuya equivalencia con la unidad antigua el Rad (radiation absorbed dose) es:

$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$$

Independientemente de la dosis absorbida, hay radiaciones que son más eficaces que otras para conseguir un determinado objetivo biológico. Es decir que el efecto biológico de una irradiación no depende sólo de la dosis absorbida, sino también de la “calidad” de la radiación empleada. De esta forma se introdujo el concepto de Dosis Equivalente. La unidad SI de la dosis equivalente es el Sievert (Sv) cuya equivalencia con la antigua unidad de dosis equivalente el Rem (roentgen equivalent man) es:

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem}$$

La tasa de dosis equivalente tiene en cuenta el efecto biológico de las distintas radiaciones en cada unidad de tiempo (Sv/s). Y la expresión que nos permite pasar de la dosis absorbida (D) a equivalente de dosis (H) es:

$$H = D \times Q \times N$$

Donde Q es un factor de calidad relacionado con el tipo de radiación de que se trate (gamma, X, alfa, beta, etc.), que viene a representar la eficacia de una radiación para producir efectos biológicos (comparada con una radiación de referencia para la que $Q = 1$) y donde N es el producto de todos los demás factores que especifique la ICRP (tasa de dosis, fraccionamiento de la dosis, etc.). En la actualidad la ICRP le ha asignado un valor arbitrario de 1.

La ICRP introdujo en 1990, a partir de la magnitud anterior, el concepto de Dosis Equivalente Ponderada en los distintos órganos, teniendo en cuenta la diferente radiosensibilidad de los tejidos.

Finalmente, la suma de las contribuciones de todos los órganos recibe el nombre de Dosis Efectiva (H_e) (Dosis que resulta de la suma de las dosis equivalentes ponderadas de todos los tejidos y órganos del cuerpo a causa de las irradiaciones recibidas).

La unidad de dosis equivalente ponderada y de dosis efectiva es también el Sievert (Sv).

Normas de protección radiológica



Con el fin de evitar los riesgos de tipo somático o genético existen una serie de normas de radioprotección que deben ser seguidas por el personal que está expuesto de una manera profesional a las radiaciones ionizantes. Normas que debe observar para sí mismo y para aquellas personas a las que se aplican las radiaciones ionizantes en el campo sanitario.

Como norma general, las dosis recibidas, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones a las radiaciones deberán mantenerse en el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta su justificación, optimización y los límites establecidos de dosis que se indican más abajo:

Justificación: La realización de cualquier actividad que implique un riesgo de irradiación o contaminación deberá estar justificada según la base del resultado del análisis del coste y el beneficio. Si el análisis de este resultado implica que el beneficio es mayor que el coste, entendiéndose por éste además del coste económico, el daño producido como consecuencia de la exposición y la gravedad del mismo, estará justificada la aplicación de la radiación.

Optimización: Si se considera que cualquier dosis por pequeña que sea conlleva un riesgo, las dosis deben de reducirse a valores tan bajos como razonablemente sean posibles. Este principio se conoce como ALARA, acrónimo de la expresión inglesa “as low as reasonably achievable”.

Límites de dosis:

Límites de dosis para los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes

El límite de dosis efectiva para trabajadores expuestos será de 100 mSv durante todo período de cinco años oficiales consecutivos, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial (de Enero a Diciembre). Además, sin perjuicio de lo anteriormente expuesto, el límite de dosis para el cristalino será de 150 mSv por año oficial. El límite de dosis equivalente para la piel será de 500 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie cutánea de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta.

El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 500 mSv por año oficial.

Protección oficial durante el embarazo y la lactancia:



Las condiciones de trabajo de la mujer embarazada serán comparables a las de los miembros del público. Por ello las condiciones de trabajo de la mujer embarazada serán tales que la dosis equivalente al feto sea tan baja como razonablemente sea posible, de forma que sea improbable que dicha dosis exceda de 1 mSv, desde la comunicación de su estado hasta el final del embarazo.

En el período de lactancia no se le asignarán trabajos que supongan riesgo de contaminación radiactiva.

Límites de dosis para personas en formación y estudiantes:

Los límites de dosis para personas en formación y estudiantes mayores de dieciocho años que, durante sus estudios tengan que utilizar fuentes de radiación serán los mismos que para los trabajadores expuestos más arriba.

El límite de dosis efectiva para personas en formación y estudiantes con edades comprendidas entre dieciséis y dieciocho años que, durante sus estudios, tengan que utilizar fuentes de radiación, será de 6 mSv por año oficial.

Además, sin perjuicio de lo anterior, el límite de dosis equivalente para el cristalino será de 50 mSv por año oficial. El límite de dosis equivalente para la piel será de 150 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie cutánea de un centímetro cuadrado, con independencia de la zona expuesta. El límite de dosis equivalente para las manos, antebrazos, pies y tobillos será de 150 mSv por año oficial.

Límites de dosis para el público en general:

El límite de dosis efectiva para el público en general será de 1 mSv por año oficial. Sin perjuicio de lo anterior, el límite de dosis equivalente para el cristalino será de 15 mSv por año oficial y el límite de dosis equivalente para la piel será de 50 mSv por año oficial. Dicho límite se aplicará a la dosis promediada sobre cualquier superficie cutánea de 1 centímetro cuadrado, con independencia de la superficie expuesta.

Clasificación de los trabajadores expuestos:

Existen dos categorías de trabajadores expuestos a las radiaciones. A saber:

Categoría A: Trabajadores que por su puesto de trabajo puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades, según se establece en los límites de dosis para los trabajadores expuestos.

Categoría B: Trabajadores que por las condiciones de su puesto de trabajo es muy improbable que reciban dosis superiores a 6 mSv por año oficial o a 3/10 de los límites



de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades, según se establece en los límites de dosis para los trabajadores expuestos.

Normas en relación con la fuente productora de radiaciones ionizantes:

Hay que realizar un blindaje de la fuente desde la producción hasta su utilización, pasando por el transporte y el almacenamiento de la misma, con materiales adecuados a cada tipo de radiación, para evitar la interacción de las radiaciones con las personas. En muchas ocasiones se evita la interacción con las radiaciones ionizantes mediante una pantalla especial, en otras ocasiones con contenedores de plomo y en otras ocasiones alejándose de la fuente de radiaciones cuando ésta esté en funcionamiento. Del mismo modo es necesario especial cuidado en el manejo de radioisótopos líquidos con la utilización de contenedores de plomo para jeringuillas, utilización de gammatecas (lugares para almacenar isótopos radiactivos) y pozos de desecho del material contaminado y dosímetros de ambiente con alarmas acústicas y luminosas.

Normas en relación con la exposición a las radiaciones:

La exposición a las radiaciones ionizantes debe de ser lo más corta posible para causar el efecto deseado y además cuando sea necesario, es conveniente fraccionar la exposición a las mismas, para dejar actuar los mecanismos enzimáticos reparadores de los posibles efectos nocivos.

Además se debe limitar la zona corporal expuesta a las radiaciones ionizantes al mínimo posible y debe de haber una protección selectiva de los órganos que se pueden afectar en las exposiciones, mediante mandiles, gafas o guantes especiales. Es obligatoria la utilización de dosimetría personal e intransferible, para los profesionales que trabajan con radiaciones ionizantes.



Figura 7 .- Protección mediante mandiles especiales

Señalización de zonas de exposición:

Los lugares de trabajo en los que se manejen radiaciones ionizantes se clasificarán en función del riesgo de exposición y teniendo en cuenta la probabilidad y magnitud de las exposiciones potenciales en dichas zonas.

Así se entiende por Zona Controlada, aquella zona en la que exista posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.

Zona Vigilada será aquella zona en la que no siendo controlada, exista la posibilidad de recibir dosis efectivas superiores a 1 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 1/10 de los límites de dosis equivalentes para el cristalino, la piel y las extremidades.

Además, las zonas controladas se podrán subdividir en las siguientes zonas:

- a) Zonas de Permanencia Limitada: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir una dosis superior a los límites de dosis para los trabajadores expuestos.
- b) Zonas de Permanencia Reglamentada: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir en cortos períodos de tiempo una dosis superior a los límites de dosis para los trabajadores expuestos y que requieren prescripciones especiales desde el punto de vista de la optimización.
- c) Zonas de Acceso Prohibido: Son aquellas en las que existe el riesgo de recibir, en una exposición única, dosis superiores a los límites de dosis fijados para los trabajadores expuestos.



En las zonas controladas en las que exista riesgo de exposición o irradiación externa será obligatorio el uso de dosímetros individuales. Y en las que exista riesgo de contaminación será obligatorio el uso de equipos de protección adecuados al riesgo existente.

La señalización de las zonas se lleva a cabo mediante un símbolo internacional, que está formado por un trébol enmarcado por una orla rectangular del mismo color que el símbolo y de la misma anchura que el diámetro interior de dicho signo, con diferente color según el riesgo de irradiación sea mayor o menor. Para todo tipo de zonas, las anteriores señalizaciones se completarán con una leyenda indicativa del tipo de zona en la parte superior y en la parte inferior una indicación del tipo de riesgo.



Figura 8.- Cartel de señalización de zona controlada.

En los lugares de acceso entre zonas contiguas de diversas características, podrán señalizarse en el suelo los límites correspondientes mediante líneas claramente visibles con los colores correspondientes a las zonas de que se trate.

Zonas controladas: En las zonas controladas dicho trébol será de color verde sobre fondo blanco.

- a) Zonas de permanencia limitada: En estas zonas el trébol será de color amarillo sobre fondo blanco.
- b) Zonas de permanencia reglamentada: En estas zonas el trébol será de color naranja sobre fondo blanco.
- c) Zonas de acceso prohibido: En estas zonas, el trébol será de color rojo sobre fondo blanco.

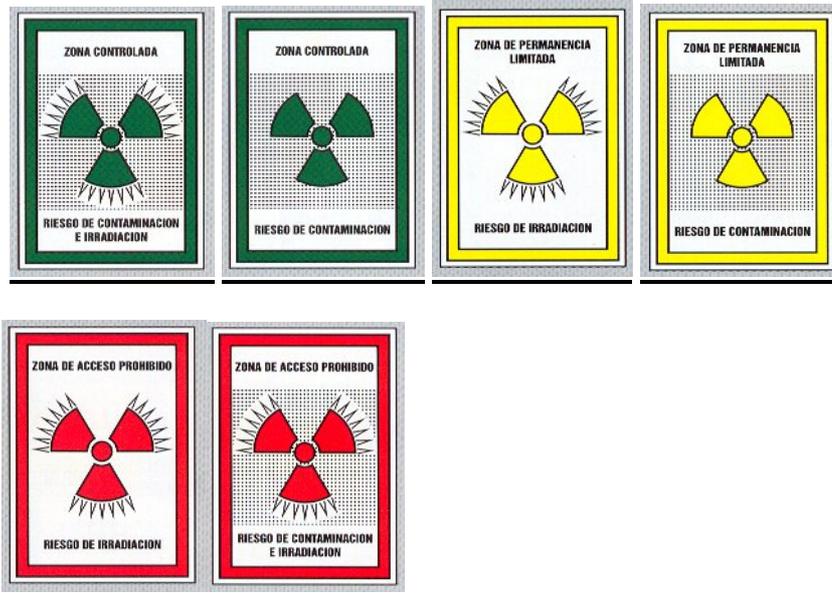


Figura 9 .- Diferentes señalizaciones de zonas con riesgo de irradiación.

Zonas vigiladas: En las zonas vigiladas el trébol será de color gris azulado sobre fondo blanco.

Si en cualquiera de las zonas existiera solamente riesgo de exposición externa a las radiaciones, se utilizará el trébol general de la zona bordeado de puntas radiales. Si existiera riesgo de contaminación y el riesgo de exposición externa fuera despreciable, se utilizará el trébol general de la zona en campo punteado, y si existiera conjuntamente riesgo de contaminación y de exposición se empleará el trébol general de la zona bordeado de puntas radiales en campo punteado.

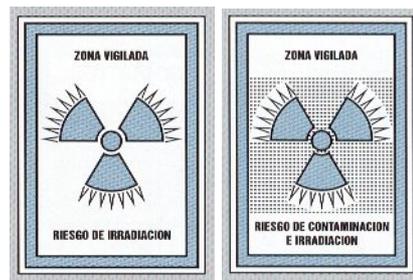


Figura 10.- Señales de aviso de Zona Vigilada



Bibliografía

1. BOE (Boletín Oficial del Estado). 26 de Julio de 2001. Real Decreto 783/2001 de 6 de Julio de 2001 por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.
2. Cabrero Fraile F.J.: Imagen Radiológica. Principios Físicos e Instrumentación. Barcelona: Masson, 2004.
3. Carrasco Rodríguez JL: Radiaciones: Aplicaciones y Riesgos. Ed. Hospital Universitario “Virgen de la Victoria” de Málaga. España.2003.
4. Consejo de Seguridad Nuclear. Radiaciones ionizantes y no ionizantes. CSN, 1994.
5. Delgado MT, Martínez-Morillo M, Otón C y Gil Gayarre: Manual de Radiología Clínica. 2ª ed. Madrid: Ediciones Harcourt, 2002.
6. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 29 de Junio de 1996. Directiva 96/29/EURATOM del Consejo de 13 de Mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.
7. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. 18 de Junio de 1997. Directiva 97/43/EURATOM del Consejo de 14 de Mayo de 1997, relativa a la protección de la salud frente a los riesgos derivados de las radiaciones ionizantes en exposiciones médicas.
8. Galle P. y Paulin R.: Biofísica. Radiobiología. Radiopatología. Barcelona: Masson. 2003.
9. Novelline R.A. y Squire L.F.: Fundamentos de Radiología. Barcelona: Masson, 2000.



VNiVERSiDAD
D SALAMANCA

GREDOS