

Aspectos generales de protección radiológica en medicina nuclear

Mayka Caridad Guerrero Cancio.

Introducción

Desde que en 1895 el alemán Wilhem Conrad Röntgen descubriera los Rayos X, y más adelante en 1896 Henry Becquerel descubriera la radioactividad, se hizo necesaria la implementación de normas que protegieran al ser humano de las acciones nocivas de las radiaciones ionizantes, teniendo en cuenta la incidencia de efectos biológicos perjudiciales en operadores de este campo. Es así como en 1925 surge la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de la Radiación (ICRU), la cual define formalmente las magnitudes y unidades radiológicas y desarrolla recomendaciones internacionales acerca del uso de dichas magnitudes. Por otra parte, en 1928 surge la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), cuya misión es establecer las recomendaciones sobre la protección radiológica, las cuales sirven de base para la formulación de las legislaciones gubernamentales en los diferentes países sobre el uso de las radiaciones y la radioactividad.

La Medicina Nuclear es una especialidad médica que para su desempeño requiere la administración de cierta cantidad de compuestos marcados con radioisótopos, los cuales se emplean para obtener información diagnóstica en un amplio rango de enfermedades, y también existen radionúclidos que tienen un uso terapéutico⁽¹⁾. Las imágenes de medicina nuclear son capaces de brindar un mapa de la distribución del radiofármaco dentro del cuerpo, dando información sobre la función de tejidos y órganos⁽²⁾. Es por ello que se necesita conocer los aspectos fundamentales de la protección radiológica en el ámbito de la medicina nuclear, de manera que seamos capaces de responder las siguientes interrogantes:

- ¿De qué debemos protegernos?
- ¿A quiénes debemos proteger?
- ¿Cómo podemos protegernos?

A contestar estas preguntas va dirigido este trabajo, siguiendo la máxima de que un sistema de protección radiológica tiene como finalidad proteger a los individuos, sus descendientes y la humanidad contra los riesgos derivados de las actividades humanas que puedan implicar exposición a radiaciones ionizantes, permitiéndolas de forma controlada siempre que sean beneficiosas.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

La propiedad de las radiaciones que han hecho posible su uso con fines diagnósticos y terapéuticos ha sido su capacidad de penetrar el tejido y de matar o transformar las células del mismo. Esta misma propiedad que se hizo palpable desde el descubrimiento de los Rayos X, puso de manifiesto la acción dañina que podía provocar en los seres humanos la incidencia de las radiaciones ionizantes a partir de la aparición de determinados efectos no deseados en las personas que trabajaban con este tipo de sustancias, como por ejemplo:

- 1896: primeros casos de quemaduras de piel reportados.
- 1902: primer reporte de cáncer inducido por Rayos-X.
- 1911: primer reporte de leucemia en humanos y de cáncer de pulmón por exposición ocupacional.
- 1911: 94 casos de tumor reportados en Alemania de los cuales 50 eran radiólogos.

Las radiaciones ionizantes (rayos X; radiación gamma, alfa, beta, neutrones) son un tipo de radiación con energía suficiente capaz de arrancar electrones de los átomos quedando como resultado un electrón (carga negativa) y un ion cargado positivamente (ionización). Este proceso de ionización puede ser de forma directa (el producido por partículas cargadas: alfa y beta) y su blanco principal lo constituye el núcleo de la célula y específicamente, el ADN; o indirecta (el producido por partículas

sin carga: neutrones y por radiación electromagnética: Rayos X y fotones) y su efecto nocivo parte de la absorción de energía por el medio en que se encuentran las moléculas, provocando la ionización del agua la cual da lugar a la aparición de radicales libres y otros agentes altamente oxidantes que atacan al ADN provocando cambios químicos en las moléculas^(2,3). De ahí que el efecto biológico de las radiaciones ionizantes son la consecuencia de la ionización de los átomos que conforman las biomoléculas, produciendo cambios químicos que alteran o erradican las funciones que ellas desempeñan⁽⁴⁾.

Es importante destacar que los daños al ADN de la célula o a otra molécula blanco pueden ser irreversibles o reversibles. Si el daño es irreversible, la célula muere; pero si es reversible, pueden ocurrir dos cosas: una, que los mecanismos de reparación biológica logren que la célula sea viable y continúe ejerciendo su función; y dos, que la célula no se repare correctamente y ocurran cambios bioquímicos que provoquen la mutación de la célula generando desórdenes hereditarios o la aparición de un cáncer. Los daños biológicos se agrupan en dos categorías generales: estocásticos o probabilísticos y no estocásticos o deterministas⁽⁵⁾.

Efectos estocásticos

Su probabilidad de aparición es proporcional a la dosis, y ejemplo de ellos es la aparición de un cáncer o de efectos hereditarios. Se caracterizan por:

- No existir dosis umbral para su aparición.
- La posibilidad de su surgimiento aumenta con la dosis.
- Su severidad no varía con el aumento de la dosis.
- Ocurren en un plazo relativamente largo después de ocurrida la exposición.

Efectos deterministas

Ocurren tras altas dosis, suficiente para producir muerte celular en gran cantidad de células, por ejemplo las quemaduras severas en la piel, cataratas, muerte. Se caracterizan por:

- Tener una dosis umbral.
- La severidad y la frecuencia aumenta con la dosis y la tasa de dosis.
- El número de células afectadas influye proporcionalmente en la severidad del efecto.

Veamos en el siguiente esquema (fig. 1) cómo se manifiestan los daños en el ser humano:

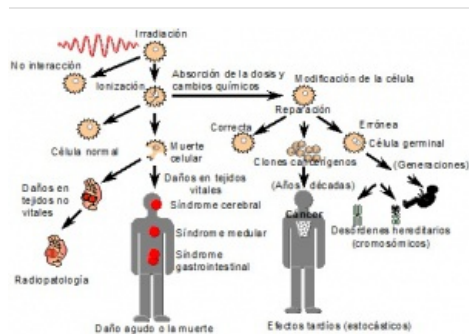


Figura 1. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes.

Un sistema de protección radiológica tiene como principal objetivo establecer estándares apropiados que garanticen la protección al hombre evitando los efectos deterministas de la radiación ionizante y minimizando los efectos estocásticos⁽⁶⁾.

Unidades y magnitudes de protección radiológica

Dosis absorbida

Es la magnitud dosimétrica fundamental y se define como el cociente entre la energía promedio impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen (de) y la masa de la materia en un elemento de volumen (dm). La unidad SI de la dosis absorbida es $J\ kg^{-1}$ y su nombre especial es el gray (Gy). La dosis

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

Expresión 1.2.1

absorbida se deriva del valor medio de la magnitud estocástica de energía impartida, ε , y no refleja las fluctuaciones aleatorias de los sucesos de interacción en el tejido. Si bien está definido en cualquier punto en la materia, su valor se obtiene como el promedio en un elemento de masa dm y por ende para muchos átomos o moléculas de materia. La dosis absorbida es la energía que el material irradiado ha “absorbido” por su unidad de masa. El incremento de la dosis absorbida en la unidad de tiempo se denomina tasa de dosis absorbida y su unidad es el $J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$.

Dosis equivalente

Se denota con la letra H y se define para un órgano o tejido determinado como:

$$H_T = \sum W_R \cdot D_{T,R} \quad (1.2.2)$$

donde $D_{T,R}$ es el promedio de la dosis absorbida de radiación R en el órgano o tejido T y W_R es el factor de ponderación para la radiación R . La suma se realiza para todos los tipos de radiaciones involucrados. La unidad de dosis equivalente es el $J \cdot kg^{-1}$ y tiene como nombre especial el sievert (Sv).

Dosis efectiva

La probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos dependerá de la dosis equivalente en cada órgano o tejido irradiado, por lo que la dosis efectiva (E) se define como la suma de las dosis tejido equivalentes (H_T), cada una multiplicada por un factor de ponderación (W_T),

$$E = \sum W_T \cdot H_T \quad (1.2.3.)$$

donde H_T es la dosis equivalente en el tejido T y W_T es el factor de ponderación para el tejido T ($\sum W_T = 1$)

Teniendo en cuenta la expresión (1.2.2),

$$E = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R} = \sum_R W_R \cdot \sum_T W_T \cdot D_{T,R}$$

Expresión 1.2.4

La suma se realiza sobre todos los órganos y tejidos del cuerpo humano considerados sensibles a la inducción de efectos estocásticos. Estos valores del W_T se escogen para representar las contribuciones de órganos individuales y de tejidos al detrimento total de la radiación para efectos estocásticos. La unidad de dosis efectiva es $J \cdot kg^{-1}$ con el nombre especial de sievert (Sv). La unidad es la misma para la dosis equivalente y la dosis efectiva.

En la práctica, las magnitudes relacionadas con la protección del cuerpo, la dosis equivalente y la dosis efectiva, no son mensurables. Por consiguiente, para la evaluación de la dosis efectiva o de las dosis equivalentes medias en órganos o tejidos se utilizan magnitudes operacionales.

Las magnitudes operacionales para la vigilancia radiológica de la exposición a la radiación de área o individuales fueron definidas por la ICRU. Las magnitudes operacionales para la vigilancia radiológica de área son el equivalente de dosis ambiental, $H^*(10)$ y el equivalente de dosis direccional, $H(0,07,\Omega)$. La magnitud operacional para la vigilancia radiológica individual es el equivalente de dosis personal, $H_p(d)$ que es el equivalente de dosis en el tejido blando ICRU a una profundidad apropiada, d , debajo de un punto especificado en el cuerpo humano. Habitualmente el punto especificado es aquel donde es usado el dosímetro individual. Para la evaluación de la dosis efectiva, se elige $H_p(10)$ a una profundidad $d = 10$ mm. Para la evaluación de la dosis a la piel y a las manos/ pies se usa el equivalente de dosis personal, $H_p(0,07)$, a una profundidad $d = 0,07$ mm. Se ha propuesto una profundidad $d = 3$ mm para el caso excepcional de la vigilancia radiológica de la dosis al cristalino. Sin embargo, en la práctica raramente se vigila radiológicamente $H_p(3)$ y puede emplearse para el mismo propósito $H_p(0,07)$. Las magnitudes operacionales son mensurables, y los instrumentos utilizados para la vigilancia radiológica están calibrados en términos de dichas magnitudes. En la vigilancia radiológica rutinaria, se interpretan los valores de estas magnitudes operacionales como una evaluación suficientemente precisa de la dosis efectiva y de la dosis en la piel, particularmente si dichos valores están por debajo de los límites de protección⁽⁵⁾.

Principios de protección radiológica

Se han establecido *tres principios básicos* de manera que se pueda llevar a cabo el objetivo de la protección radiológica de evitar los efectos deterministas manteniendo las dosis por debajo de un límite umbral, y disminuyendo la probabilidad de la aparición de los efectos estocásticos tanto como sea razonablemente posible⁽⁷⁾.

Justificación de la práctica

Ninguna práctica que entrañe la exposición de los individuos a las radiaciones ionizantes debe ser admitida a menos que su introducción, comparada con el detrimento que provoca, produzca suficiente beneficio a las personas expuestas o a la sociedad. Se aplica a cualquier práctica y tipo de exposición.

- No se justifica el empleo de radiaciones ionizantes en exámenes médicos masivos de grupos de población.
- No se justifica el empleo de radiaciones ionizantes en exámenes radiológicos con fines ocupacionales, legales o de seguro médico.
- No se justifica el uso frívolo de las radiaciones ionizantes en la fabricación de juguetes, joyas, adornos.

Limitación de la dosis

La exposición resultante de todas las prácticas relevantes estará sujeta a límites de dosis o al control de los riesgos de tal manera que se asegure que ningún individuo sea expuesto a niveles inaceptables. Se aplica a las prácticas, excepto a las prácticas médicas y las exposiciones causadas por fuentes naturales que no puedan ser razonablemente sometidas a control.

Optimización de la protección

En relación con una fuente o práctica, la magnitud de la dosis, el número de personas expuestas y las exposiciones potenciales deberán mantenerse tan bajas como razonablemente sea posible, teniendo en cuenta los factores económicos y sociales, con la condición de que se apliquen restricciones a las dosis. Se aplica a todas las prácticas y tipos de exposición.

- Los análisis de optimización se realizarán en correspondencia con la complejidad y nivel de riesgo de la práctica.
- Los métodos de análisis abarcan desde el sentido común hasta técnicas complejas donde se cuantifica los costos de la protección y las dosis.
- Las restricciones de dosis son un techo imaginario por debajo de los límites, y se establecen sobre la base de la experiencia operacional y de buenas prácticas similares.

Tipos de exposición a las radiaciones ionizantes

Según la persona expuesta a las radiaciones ionizantes, la exposición se clasifica en:

- Exposición ocupacional.
- Exposición médica.
- Exposición del público.

Exposición ocupacional

Exposición de los trabajadores sufrida durante el trabajo con excepción de las exposiciones excluidas y de las causadas por fuentes o prácticas exentas.

Exposición médica

Tiene lugar como parte del diagnóstico o tratamiento de la persona expuesta. Comprende a los pacientes, a las personas que conscientemente los ayudan y a los voluntarios en investigaciones biomédicas.

Exposición del público

Resto de las exposiciones recibidas por miembros del público a causa de fuentes de radiación, excluyendo a la exposición ocupacional, médica y del fondo natural normal en la zona.

Veamos cuáles son los límites de dosis establecidos para la exposición ocupacional y la exposición al público en la tabla 1.

Magnitud		Exposición ocupacional	Exposición del público
Dosis efectiva		20 mSv por año, el promedio en 5 años. No debe exceder los 50 mSv en un año.	1 mSv por año como promedio en 5 años.
Dosis equivalente	Cristalino del ojo	150 mSv en un año.	15 mSv en un año.
	Piel	500 mSv en un año.	50 mSv en un año.
	Extremidades	500 mSv en un año.	50 mSv en un año.

Tabla 1. Límites de dosis para la exposición ocupacional y la exposición del público⁽⁸⁾.

¿Cómo protegernos en medicina nuclear?

La protección radiológica en medicina nuclear comienza en el diseño del departamento y concluye con la implementación de los programas de garantía de calidad donde se establezcan las acciones y las normativas a seguir para cumplir con los 3 principios de protección radiológica. En medicina nuclear las radiaciones ionizantes provienen de tres fuentes: *radiofármacos, pacientes y desechos radioactivos*; de las cuales hay que proteger a: *trabajadores, pacientes y sus familiares, miembros del público*.

En el caso de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a las radiaciones, es importante que dominen los tres factores físicos de protección radiológica: tiempo, distancia, y blindaje. Cada uno de ellos constituye una herramienta fundamental en la optimización de la protección y en la limitación de las dosis absorbidas por el trabajador.

Tiempo

Debemos permanecer el menor tiempo posible en la vecindad de las fuentes radioactivas, por tanto:

- La entrevista a pacientes, su examen y las marcas anatómicas deben realizarse antes de la inoculación del radiofármaco.
- Las fuentes deben permanecer en contenedores blindados, y los desechos radioactivos deben trasladarse a lugares destinados a este fin.

Distancia

La radiación gamma obedece a la ley del inverso del cuadrado de la distancia, por lo que duplicando la distancia desde una fuente, se reduce la tasa de dosis en un factor de 4.

- Deben emplearse largas pinzas para la manipulación de las fuentes.
- Deben construirse grandes salas para los equipos de imágenes.
- El volumen de radioactividad no debe exceder el 50% de la capacidad de la jeringuilla.

Blindaje

El blindaje dependerá del tipo y la energía de las radiaciones emitidas. En el caso del ^{99m}Tc, es suficiente con unos pocos milímetros de plomo.

- Deben emplearse jeringuillas plomadas para la inoculación del paciente.
- Deben emplearse cubetas plomadas para el transporte de las jeringuillas con radiofármacos.
- Deben emplearse los delantales plomados durante la preparación del radiofármaco y la inoculación del paciente.

Veamos a continuación algunos requisitos específicos de protección radiológica para cada tipo de exposición definida en el epígrafe 1.4, los cuales garantizarán la protección radiológica de estos tres grandes grupos siguiendo los principios de protección radiológica.

Requisitos de exposición ocupacional

Responsabilidades

El titular debe garantizar que las exposiciones se encuentren dentro de los límites establecidos; que se optimice la protección y que se establezcan programas de protección radiológica.

Condicionales del trabajo

La protección al trabajador no puede ser sustituida por medios de compensación; se debe garantizar la protección al embrión y al feto, de manera que si una trabajadora que recibe radiaciones ionizantes se embaraza, esta debe informarle a su jefe y el mismo debe modificar las condiciones de trabajo de la mujer de manera que la dosis recibida por el embrión y el feto no supere el límite de dosis establecido para el público (1 mSv); y se debe garantizar la protección a los jóvenes de manera que ningún joven menor de 16 años sea sometido a exposición ocupacional, y que ningún joven menor de 18 años debe permanecer en zonas controladas, a menos que permanezca bajo supervisión y solo con fines de entrenamiento⁽⁹⁾.

Clasificación de áreas

Las aéreas en Medicina Nuclear serán clasificadas como zonas controladas y zonas supervisadas.

- **Zonas controladas.** Locales de preparación, almacenamiento e inoculación de radiofármacos, Locales de adquisición de imágenes y Local de desechos radioactivos.
- **Zonas supervisadas.** El resto de las áreas del departamento de medicina nuclear.

Reglas y supervisión

Deben estar documentados las reglas y procedimientos que aseguren los niveles de protección adecuados a trabajadores y pacientes; deben establecerse los valores para sucesos relevantes y niveles autorizados, así como los procedimientos a seguir en caso de sobrepasar alguno de esos niveles; los procedimientos deben ser del conocimiento de los trabajadores de manera que con su aplicación contribuyan a la protección de las personas que los rodean; los trabajadores ocupacionalmente expuestos deben ser supervisados y se les deben ofrecer una capacitación continuada en materia de protección radiológica.

Medios de protección individual

Los trabajadores deben usar ropa y accesorios que los protejan de una contaminación, tales como batas sanitarias, guantes, botas; en los laboratorios donde se trabaja con fuentes no selladas se debe contar con equipamiento para minimizar la exposición externa del trabajador, tales como: herramientas para la manipulación remota de las fuentes, contenedores plomados para los radionúclidos en uso, jeringuillas plomadas, barreras plomadas con ventanas de vidrio plomadas, monitor de área, monitor de contaminación, cubetas plomadas para el transporte de los radionúclidos, kit de emergencia en caso de derrames.

Monitoreo individual y de área

Todos los trabajadores que están bajo exposición a las radiaciones en zonas controladas deben estar bajo vigilancia radiológica individual (dosímetro de cuerpo entero). El dosímetro individual debe usarse en la parte superior del torso teniendo en cuenta que en medicina nuclear se asume que el cuerpo completo está sometido a una dosis de radiación uniforme. En el caso de los trabajadores que exponen las manos a altas dosis de radiación (radiofarmaceutas, tecnólogos, enfermeras), se le deben entregar conjuntamente con el dosímetro de cuerpo entero, un dosímetro de extremidades en forma de anillo. También deben estar bien establecidos los programas de vigilancia radiológica de áreas, incluyendo la contaminación superficial y las tasas de dosis. El equipamiento para estos fines debe estar disponible y calibrado.

Vigilancia médica

Los trabajadores ocupacionalmente expuestos deben someterse a una vigilancia médica con la periodicidad establecida por las instancias reguladoras, de manera que se garantice que el trabajador mantiene sus aptitudes físicas y psíquicas para el desempeño de sus responsabilidades.

Procedimientos de emergencia

Debe existir un plan para emergencia en el que se describan los procedimientos a seguir en caso de pérdida del material, daño de la fuente, derrame radioactivo y emergencias médicas. Los procedimientos deben ser claros y precisos, y deben estar visibles en caso de que se necesiten.

Requisitos de exposición médica

- **Responsabilidades.** Las exposiciones médicas deben estar prescritas por un facultativo médico autorizado; los médicos autorizados tienen la obligación de asegurar la protección y la seguridad del paciente durante la prescripción, la duración y el fin de la exposición médica; los médicos, los físicos

médicos y los tecnólogos deben ser competentes en el empleo del equipamiento y las fuentes radioactivas que se usan en medicina nuclear, los equipos de medición y monitoreo de las radiación, de manera que puedan ser capaces de garantizar el cumplimiento de sus responsabilidades.

- **Justificación.** Toda exposición médica debe estar justificada, o sea que el beneficio que le aportará al paciente será mayor que el perjuicio que le provocará con el empleo de las radiaciones ionizantes. La justificación también implica que el facultativo médico indique el examen a partir del análisis de la historia clínica del paciente, el análisis de los resultados de laboratorio y la disponibilidad de otras técnicas alternativas a la medicina nuclear.
- **Optimización del examen.** Los facultativos médicos autorizados que prescriben o conducen las aplicaciones diagnósticas con radionúclidos deberán asegurar que la exposición del paciente será la mínima requerida para conseguir el diagnóstico requerido o el efecto terapéutico deseado; el grupo de especialistas que se relacionan con el paciente deben ser los adecuados de manera que garanticen la mínima exposición y obtengan una imagen de buena calidad.
- **Niveles orientativos.** Teniendo en cuenta la práctica internacional la normativa establece niveles Orientativos o de referencia que deben ser velados para cada tipo de examen diagnóstico. En caso de sobrepasar estos niveles deberán estudiarse las causas que lo provocan y argumentarse ante el Órgano Regulador.
- **Restricción de dosis.** La dosis a personas que prestan asistencia a pacientes debe restringirse de modo que sea improbable que reciban más de 5 mSv durante el periodo abarcado por el examen diagnóstico o el tratamiento; la dosis a niños que visiten a pacientes que hayan ingerido sustancias radiactivas debería restringirse a menos de 1 mSv.
- **Exámenes de niños, mujeres embarazadas y mujeres en período de lactancia.** Los titulares de las autorizaciones deberán garantizar que se evite la administración con fines diagnósticos o terapéuticos a las mujeres embarazadas o que presumiblemente estén embarazadas, a menos que haya poderosas indicaciones clínicas; y que sólo se proceda a administrar radionúclidos a los niños si existe una convincente indicación clínica, y se vele por que la cantidad de actividad administrada se reduzca con arreglo al peso corporal, a la superficie corporal o a otros criterios apropiados. En el caso de las mujeres en periodo de lactancia, se recomienda detener la lactancia en la mayoría de los exámenes que se realizan en medicina nuclear teniendo en cuenta que la mayoría de los radiofármacos se excretan en la leche materna.
- **Registros.** Los titulares de las autorizaciones deberán conservar por 30 años los siguientes registros: en medicina nuclear, los tipos de radiofármacos administrados y sus actividades; en el caso de la investigación médica, la exposición de los voluntarios.

Requisitos de exposición al público

- **Limites de dosis.** La dosis promedio estimada para grupos críticos de miembros del público que es atribuible a las prácticas (no a la radiación natural) no debe exceder los siguientes límites: 1mSv de dosis efectiva en el año; en circunstancias especiales la dosis efectiva no debe exceder los 5 mSv al año asegurando que la dosis promedio los 5 años consecutivos no excederá 1 mSv por año; la dosis equivalente al cristalino del ojo no excederá los 15 mSv al año y la dosis equivalente en piel no excederá los 50 mSv al año.
- **Consideraciones de diseño.** El traslado de radionúclidos debe ser minimizado; no se permite el acceso de miembros del público a las aéreas controladas; las áreas donde exista un nivel considerable de radioactividad deben estar blindadas; las fuentes radioactivas deben permanecer en contenedores blindados.
- **Paciente radioactivo.** Para los estudios diagnósticos la cantidad de dosis que recibe un miembro del público por irradiación externa es una fracción del límite de dosis anual para el público, por lo que no se requiere ninguna medida específica de protección radiológica. En caso de los pacientes con terapia radionúclida se han diseñado un grupo de guías para minimizar la exposición a las radiaciones de otras personas. Estos pacientes deben ser instruidos en las medidas higiénicas para evitar la contaminación (lavarse las manos, descargar 3 veces el baño).
- **Transporte de sustancias radioactivas.** El transporte de sustancias radioactivas puede ser interno en

el hospital. En este caso debe garantizarse que el traslado sea en un área pequeña y este transporte debe hacerse acorde a los principios de protección radiológica. Cuando el transporte es externo, se deben seguir las recomendaciones de la OIEA en las “Regulaciones para Material Radioactivo”, las cuales incluyen reglas básicas para el transporte de este tipo de material, así como la forma de etiquetar los bultos radioactivos. Existen 3 tipos de etiquetas: BLANCA, II AMARILLA Y III AMARILLA, las cuales se diferencian entre sí por la tasa de dosis que habrá en la superficie del bulto⁽¹⁰⁾:

- I - Blanca $D \leq 0.005$ mSv/h
- II - Amarilla $0.005 < D \leq 0.5$ mSv/h
- III - Amarilla $0.5 < D \leq 2$ mSv/h

Referencias

01. Sorenson J, Phelps M. Physics in Nuclear Medicine. Second edition. Orlando, Florida: Grune and Stratton, 1987.
02. Perkins, A. Nuclear Medicine: Science y Safety. John Libbey & Co., Ltd. London, 1996.
03. Carlsson, S. IAEA Training Material on Radiation Protection in Nuclear Medicine. Viena, IAEA 2004, <http://www.europa.eu.int>
04. Colectivo de Autores: CPHR, CNSN. Protección Radiológica en la aplicación de las Técnicas Nucleares. La Habana, Cuba, CUBAENERGIA, 2002.
05. Sociedad Española de Protección Radiológica. Publicación 103 ICRP: Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Madrid, 2008.
06. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IRPA12:12th Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 12): Strengthening Radiation Protection Worldwide-Highlights, Global Perspective and future trends. Buenos Aires, Argentina, 19-24 October 2008. IAEA, Vienna, 2010.
07. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Fundamental Safety Principles, IAEA Safety Standards Series No. SF-1, IAEA, Vienna, 2006.
08. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series No.115, IAEA, Vienna, 1996.
09. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Occupational Radiation Protection. Safety Standards Series, Guide No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna, 1999.
10. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. Safety Series No. ST-1, IAEA, Vienna, 1996.