Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo

Carlos Ubeda de la C¹, Diego Nocetti G¹, Alonso Inzulza C², Carlos Oyarzún C³, Renato Alarcón E⁴.

1. Facultad de Ciencias de la Salud, Departamento de Tecnología Médica, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

2. Servicio de Imagenología, Clínica San José. Santiago, Chile.

3. Comisión Chilena de Energía Nuclear, Arica, Chile.

4. Servicio de Imagenología, Hospital Dr. Juan Noé Crevanni, Arica, Chile.

Quantities and units for dosimetry of occupationally exposed personnel in diagnostic and interventional radiology

Abstract. *There are many documents and international recommendations offer names, concepts, definitions and fields of application for various quantities and units used to monitor the exposure levels of ionising radiation to which workers are exposed during the diagnostic and interventional radiology procedures. However, as in the case of patient dosimetry, national legislation is not up-to-date in this area and nowhere does it establish an up-to-date glossary that would facilitate rapid and precise location of this kind of information. In light of the foregoing, this review paper presents a second guidance document, complementary to our published article in 2015 titled "Quantities and units used in patient dosimetry in radiodiagnostic and interventional procedures", which describes the principal quantities and units that must be known and used in occupational dosimetry for workers participating in diagnostic and interventional radiology procedures, in a didactical manner and using simple language for professionals in health and similar areas. Key words: Quantities, dosimetry, dosimetric quantities, radiological protection quantities, operational radiological protection quantities.*

Resumen. *Existen diversos documentos y recomendaciones internacionales sobre nombres, conceptos, definiciones y campos de aplicación para diversas magnitudes y unidades utilizadas para monitorear los niveles de radiación ionizante a los que son expuestos los trabajadores durante los procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo. Sin embargo, la legislación nacional, al igual que para la dosimetría de los pacientes, no se encuentra actualizada en este sentido y no contempla en sus documentos un glosario actualizado que permita encontrar en forma rápida y precisa este tipo de información. Por lo anterior, este trabajo de revisión corresponde a un segundo documento guía, complementario a nuestro trabajo publicado en 2015 titulado "Magnitudes y unidades para dosimetría a pacientes en radiodiagnóstico e intervencionismo", que describe de manera didáctica y en un lenguaje sencillo para los profesionales de la salud y áreas afines, las principales magnitudes y unidades que se deben conocer y utilizar en la dosimetría ocupacional de los trabajadores que participan en procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo.*

Palabras clave: *Magnitudes, dosimetría, magnitudes dosimétricas, magnitudes de protección radiológica, magnitudes de protección radiológica operacional.*

Ubeda C., et al. Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. Rev Chil Radiol 2018; 24(1): 5-11.

Correspondencia: Carlos Ubeda / carlos.ubeda.uta@gmail.com

Trabajo enviado el 31 de julio de 2017. Aceptado para publicación el 28 de febrero de 2018.

Introducción

La exposición ocupacional¹ a las radiaciones ionizantes puede producirse como consecuencia de las diversas actividades llevadas a cabo por el ser humano, particularmente por el trabajo asociado

al uso de sistemas de rayos X en las aplicaciones médicas de Radiodiagnóstico (tomografía computarizada, fluoroscopia, radiología general, mamografía y radiología dental) e Intervencionismo (diferentes tipos de cateterismo).

Para controlar esta exposición es necesario poder evaluar y cuantificar los niveles de radiación ionizante a los que son expuestos los trabajadores¹ durante estos procedimientos médicos. Para ello, se requiere la formulación de magnitudes y unidades apropiadas, las cuales han sido desarrolladas a nivel internacional por un trabajo conjunto entre la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas (ICRU)² y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP)³, denominadas “magnitudes de protección radiológica”^{4,5}. En Chile, la definición de magnitudes para la dosimetría de los trabajadores y sus fenómenos físicos, químicos y biológicos, al igual que en el caso de las magnitudes de dosimetría para pacientes, no se encuentra actualizada en la legislación^{6,7}.

En nuestro artículo previo⁸, relativo a la dosimetría de pacientes sometidos a procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo, el análisis se fundamentó en los reportes ICRU-85⁹ y 74¹⁰, donde se documentaron las magnitudes y unidades denominadas “fundamentales” para describir las radiaciones ionizantes en general (magnitudes radiométricas, coeficientes de interacción, magnitudes dosimétricas y de radiactividad) y las denominadas “especiales”. Sin embargo, se omitió intencionalmente un análisis más acabado de las magnitudes y unidades “dosimétricas”, dada su estrecha relación para comprender las magnitudes y unidades de “protección radiológica” utilizadas en las exposiciones ocupacionales.

Por todo lo anterior, el presente trabajo de revisión tuvo como objetivo generar un segundo documento guía y complementario al anterior⁸, que presente de manera didáctica y en un lenguaje sencillo para los profesionales de la salud y áreas afines, las principales magnitudes y unidades que se deben conocer y utilizar en la dosimetría ocupacional de los trabajadores involucrados en la ejecución de procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo (fuentes externas de radiación ionizante).

Desarrollo

I. Magnitudes dosimétricas

Concebidas para proporcionar una medida física que se correlacione con los efectos reales o potenciales de la radiación, estas magnitudes y unidades fueron descritas por última vez en el reporte ICRU-85¹⁰ del año 2011. En reportes del Organismo Internacional de Energía Atómica, se les denomina también magnitudes y unidades “físicas”^{11,12}. Estas magnitudes son:

- a. Exposición (X): corresponde al cociente del valor absoluto de la carga total de los iones de un signo producidos en aire (dQ), cuando todos los electrones liberados por fotones, en un volumen elemental de aire (dm) son completamente frenados en dicho medio. Se expresa en unidades de $C \cdot kg^{-1}$ o la unidad especial denominada Roentgen (R), equivalente a $2,58 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$.

pecial denominada Roentgen (R), equivalente a $2,58 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$.

- b. Tasa de exposición ($\dot{X}$): se define como la exposición producida en cierta masa de aire, en un periodo de tiempo definido. Se expresa en $C \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ o $R \cdot s^{-1}$.
- c. Kerma (K): *acrónimo de kinetic energy release in matter*. Representa la suma de energía cinética inicial de todas las partículas ionizantes con carga, liberadas por radiación ionizante sin carga, en una masa dm . Se expresa en unidades de $J \cdot kg^{-1}$ o la unidad especial denominada Gray (Gy).
- d. Tasa de kerma ($\dot{K}$): corresponde al kerma producido en un periodo de tiempo determinado, expresado en unidades de $J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ o $Gy \cdot s^{-1}$.
- e. Dosis absorbida (D): se define como el cociente de la energía media ($d\bar{\epsilon}$) impartida por la radiación ionizante a una masa (dm) de materia. Se expresa en unidades de $J \cdot kg^{-1}$ o la unidad especial denominada Gray (Gy).
- f. Tasa de dosis absorbida ($\dot{D}$): corresponde a la variación de dosis absorbida (dD) en un intervalo de tiempo (dt). Se expresa en $J \cdot kg^{-1} \cdot s^{-1}$ o $Gy \cdot s^{-1}$.

II. Magnitudes de protección radiológica

Para la evaluación de la dosis de exposición a la radiación se han desarrollado magnitudes dosimétricas especiales. Las magnitudes de protección fundamentales adoptadas por la ICRP están basadas en la medición de la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano. Para relacionar la dosis de radiación al riesgo de la misma (detrimento), también es necesario tener en cuenta tanto las variaciones en la eficacia biológica de las radiaciones de diferente calidad, así como la diferencia en la sensibilidad de órganos y tejidos a la radiación ionizante^{4,13}. Dichas magnitudes son:

- a. Dosis en órgano y tejido (D_T): corresponde al cociente entre el promedio de energía impartido ($\bar{\epsilon}$), en cierta masa de tejido (m_T). Se expresa en unidades $J \cdot kg^{-1}$ o Gy.
- b. Dosis equivalente (H_T): es el producto de la dosis en órgano (D_T) por el factor de ponderación de la radiación (w_R). Se expresa en $J \cdot kg^{-1}$ o la unidad especial denominada Sievert (Sv). El factor w_R permite tener en cuenta la efectividad biológica relativa de la radiación, en función de su tipo y energía, en términos de la probabilidad de que produzcan efectos estocásticos a bajas dosis en un órgano o tejido. En radiología diagnóstica, el factor w_R tiene un valor 1.
- c. Dosis efectiva (E): Es el producto de la dosis equivalente (H_T) recibida por cierto tejido u órgano, por el factor de ponderación del mismo (w_T). Se expresa en $J \cdot kg^{-1}$ o la unidad especial denominada Sievert (Sv).

El factor w_T representa la contribución relativa cierto órgano o tejido, al detrimento total derivado de efectos estocásticos, causados por una irradiación a cuerpo entero, bajo un campo de radiación uniforme. La suma de los factores w_T de todos los tejidos y órganos del cuerpo es 1.

En el rango de las dosis bajas, la protección radiológica está principalmente interesada en la protección contra el cáncer y las enfermedades hereditarias inducidas por la radiación. Estos efectos se consideran de naturaleza probabilística, sin umbral, y cuya frecuencia de aparición aumenta en proporción a la dosis de radiación⁵.

III. Magnitudes de protección radiológica operacional

Las magnitudes de protección radiológica no pueden medirse directamente, puesto que para ello habría que situar los detectores de radiación en el interior de los órganos del cuerpo humano. Por esta razón, la ICRU ha definido un grupo de magnitudes y sus correspondientes unidades, capaces de proporcionar en la práctica una aproximación razonable (o una sobreestimación) de las magnitudes H_T y E , ambas denominadas como "limitadoras", para el monitoreo de la irradiación externa como es el caso de los procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo. Estas magnitudes medibles se definen a partir de la dosis equivalente en un punto del cuerpo humano o de un maniquí y su relación con las magnitudes limitadoras puede calcularse para condiciones de irradiación determinadas. A diferencia de la definición de la dosis equivalente en tejido, empleando el factor de ponderación w_R , las magnitudes operacionales de dosis equivalente, por ser funciones del punto, mantienen en su definición la ponderación de la dosis absorbida con el factor de

calidad de radiación Q . Así la dosis equivalente se define como, $H = Q \cdot D$, cuya unidad es $J \cdot kg^{-1}$ o Sv.

Estas magnitudes de protección radiológica operacionales, se clasifican en dos grandes grupos: las de evaluación individual y las de área^{14,15}. Dentro de las primeras, está la magnitud conocida como:

a. Dosis equivalente personal ($H_p(d)$), que corresponde a la dosis equivalente en tejido blando, a cierta profundidad (d), bajo determinado punto del cuerpo (Tabla 1).

Dentro de las magnitudes de protección radiológica operacionales de área, encontramos dos subgrupos:

a. Dosis equivalente ambiental ($H^*(d)$): representa la dosis equivalente producida por un campo de radiación alineado, en una esfera ICRU, a cierta profundidad (d), en el radio opuesto a la dirección del campo alineado. La profundidad se expresa en unidades de longitud (mm) (Tabla 2).

b. Dosis equivalente direccional ($H'(d, \Omega)$): es la dosis equivalente que puede generarse por la expansión del campo de radiación en la esfera ICRU, a una profundidad (d), en un radio en determinada dirección (Ω). La profundidad se expresa en unidades de longitud (mm) (Tabla 3).

Discusión

El paso inicial en la interacción de la radiación ionizante con el material biológico es la absorción de la energía que causa ionizaciones. Por lo tanto, podría parecer razonable utilizar la cantidad de energía absorbida por unidad de masa (dosis absorbida) o en cierta masa de tejido único (dosis en órgano y tejido) como únicos términos para cuantificar la exposición

Tabla 1. Magnitudes de protección radiológica operacionales para monitoreo de la irradiación externa de tipo individuales.

Nombre	Definición	Unidad
Dosis equivalente personal $H_p(0,07)$	Es la dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad de 0,07 mm, bajo determinado punto del cuerpo.	$J \cdot kg^{-1}$ ó Sv
Dosis equivalente personal $H_p(3)$	Es la dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad de 3 mm, bajo determinado punto del cuerpo.	$J \cdot kg^{-1}$ ó Sv
Dosis equivalente personal $H_p(10)$	Es la dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad de 10 mm, bajo determinado punto del cuerpo.	$J \cdot kg^{-1}$ ó Sv

Tabla 2. Magnitudes de protección radiológica operacionales para monitoreo de la irradiación externa de tipo ambiental o de área.

Nombre	Definición	Unidad
Dosis equivalente ambiental H^* (0,07)	Dosis equivalente producida por un campo de radiación alineado, en una esfera ICRU, a una profundidad de 0,07 mm, en el radio opuesto a la dirección del campo alineado.	J·kg ⁻¹ ó Sv
Dosis equivalente ambiental H^* (3)	Dosis equivalente producida por un campo de radiación alineado, en una esfera ICRU, a una profundidad de 3 mm, en el radio opuesto a la dirección del campo alineado.	J·kg ⁻¹ ó Sv
Dosis equivalente ambiental H^* (10)	Dosis equivalente producida por un campo de radiación alineado, en una esfera ICRU, a una profundidad de 10 mm, en el radio opuesto a la dirección del campo alineado.	J·kg ⁻¹ ó Sv

Tabla 3. Magnitudes de protección radiológica operacionales para monitoreo de la irradiación externa de tipo ambiental o de área.

Nombre	Definición	Unidad
Dosis equivalente ambiental H' (0,07,Ω)	Dosis equivalente que puede generarse por la expansión del campo de radiación en la esfera ICRU, a una profundidad de 0,07 mm, en un radio en determinada dirección (Ω).	J·kg ⁻¹ ó Sv
Dosis equivalente ambiental H' (3,Ω)	Dosis equivalente que puede generarse por la expansión del campo de radiación en la esfera ICRU, a una profundidad de 3 mm, en un radio en determinada dirección (Ω).	J·kg ⁻¹ ó Sv
Dosis equivalente ambiental H' (10,Ω)	Dosis equivalente que puede generarse por la expansión del campo de radiación en la esfera ICRU, a una profundidad de 10 mm, en un radio en determinada dirección (Ω).	J·kg ⁻¹ ó Sv

o dosimetría a la radiación en protección radiológica, en orden a estimar el riesgo causado por una exposición dada. Sin embargo, esto no es válido, ya que los efectos de la radiación no sólo dependen de la dosis absorbida, sino también del tipo de radiación (es decir, dosis equivalente) y, de la radiosensibilidad de los tejidos u órganos expuestos (lo que corresponde a la dosis efectiva). En la Publicación 26 de la ICRP

fueron introducidos los conceptos de magnitud “dosis referida al cuerpo” (1977)¹⁶ y la magnitud “*equivalente de dosis efectiva*”. El procedimiento básico adoptado por la ICRP fue utilizar la dosis absorbida como la magnitud física fundamental, para promediar la dosis absorbida sobre determinados órganos y tejidos (D_T) y aplicar factores de ponderación adecuadamente elegidos para tener en cuenta las diferencias en la

eficacia biológica de diferentes radiaciones y de las diferencias en sensibilidades de órganos y tejidos a efectos estocásticos sobre la salud. En este punto, resulta relevante destacar que ya en la Publicación 60 de la ICRP¹³, la Comisión clasificó los efectos de la radiación que causan reacciones tisulares como efectos deterministas y utilizó el término efectos estocásticos para el cáncer y enfermedades hereditarias inducidas por la radiación. En el caso de los efectos estocásticos, los estudios epidemiológicos y experimentales proporcionan evidencia del riesgo de la radiación a dosis de alrededor de 100 mSv o menores, aunque con incertidumbres para el cáncer. En el caso de enfermedades hereditarias, aunque no existe evidencia directa de los riesgos de la radiación en las personas, las observaciones experimentales argumentan convincentemente que esos riesgos para las futuras generaciones deberían estar incluidos en el sistema de protección⁵.

Por lo anterior, la ICRP recomienda el establecimiento de límites dosis que son aceptables y alcanzables para evitar las exposiciones innecesarias de los individuos dentro del lugar de trabajo¹⁷. Las magnitudes y unidades "*dosimétricas o físicas*", son el primer eslabón para cuantificar los niveles de radiación a los cuales están expuestos los trabajadores. Posteriormente, las magnitudes y unidades denominadas de "*protección radiológica*" o también llamadas "*limitadoras*", son las que se utilizan para establecer límites máximos con objeto de proteger a los seres humanos de los posibles efectos nocivos de las radiaciones ionizantes. Estas magnitudes son valores medios, promediados sobre una masa extensa, como puede ser un órgano o un tejido humano. Las dos magnitudes actualmente en uso (dosis equivalente y dosis efectiva) fueron introducidas por la ICRP en 1991¹³. En este contexto, el límite de la dosis efectiva representa el nivel por encima del cual se considera inaceptable el riesgo de efectos estocásticos⁵. Para exposiciones localizadas en el cristalino del ojo, en las extremidades y en la piel, este límite en la dosis efectiva no es suficiente para garantizar que se evitan los efectos deterministas, por esta razón para tales situaciones se especifican límites de dosis equivalente¹².

Actualmente la ICRP estableció el valor de 20 mSv/año como límite de dosis efectiva máxima en un año, promediado en cualquier período de 5 años, para la exposición ocupacional. También hace hincapié en que la exposición a la radiación de los trabajadores y público en general, debe mantenerse tan baja como sea razonablemente alcanzable (principio ALARA)⁵. Esta recomendación, lamentablemente aún no se adopta en nuestro país, ya que mantenemos el límite anterior de 50 mSv/año⁶, sin embargo, en el corto plazo esta situación debería cambiar gracias a un nuevo reglamento de protección radiológica que está

en proceso de revisión para Chile¹⁸.

La necesidad de magnitudes fácilmente mensurables que sirvan de estimadores de la dosis efectiva y de la dosis equivalente, ha conducido al desarrollo de "*magnitudes de protección radiológica operacionales*" de evaluación individual (Tabla 1) y las de área (Tablas 2 y 3) para la evaluación de la exposición ocupacional a fuentes externas de radiación ionizante, es decir, para la vigilancia radiológica de los trabajadores y de los puestos de trabajo, respectivamente. En sus definiciones se incorpora el efecto que produce la presencia del cuerpo de la persona expuesta, modificando el campo incidente en el punto de medición. A su vez, para considerar el grado de penetración de la radiación, las magnitudes se especifican para determinadas profundidades en el cuerpo (0,07, 3 y 10 mm, respectivamente).

En este sentido, los dosímetros personales en Chile están calibrados en términos de dosis equivalente personal $H_p(0,07)$ y $H_p(10)$ ⁵. En procedimientos de radiología intervencionista, se recomienda usar un dosímetro adicional, el cual entregue una medida de la dosis al cristalino del ojo en valores de $H_p(3)$ ¹⁹. Sin perjuicio de lo anterior, la Publicación 103 de la ICRP sugiere que el monitoreo de la exposición al cristalino es suficientemente confiable con el uso de $H_p(0,07)$ ¹³. Otro estudio mostró que para evaluar la dosis equivalente personal $H_p(3)$ en procedimientos de tipo intervencionista, un dosímetro pasivo de cuerpo completo calibrado en $H_p(10)$ o $H_p(0,07)$ puede ser utilizado satisfactoriamente²⁰.

Por su parte, los dosímetros de área se utilizan para fines de monitoreo del ambiente. El primer grupo de magnitudes descritas en la tabla 2, se adecúan para la radiación fuertemente penetrante y el segundo grupo mostrado en la tabla 3, se utilizan para radiación poco penetrante. La dosis equivalente ambiental $H^*(10)$, en un punto de interés en el campo de radiación real, es la dosis equivalente que se produciría por el correspondiente campo de radiación alineado y expandido, en la esfera de ICRU a una profundidad de 10 mm, en el vector de radio opuesto a la dirección de la incidencia de radiación. $H^*(10)$ debería dar una estimación conservadora de la dosis efectiva que una persona recibiría si permaneciera en dicha posición. Lo anterior se cumple en fotones con energías inferiores a 10 MeV, en tal caso, las magnitudes $H_p(10)$ y $H^*(10)$ toman valores similares en la parte frontal del cuerpo^{21,22}. En Chile la dosimetría de área es aún incipiente y no se utiliza regularmente. Sin embargo, existen propuestas como la desarrollada en España, donde las dosis individuales de los trabajadores se pueden estimar a partir de los resultados de la vigilancia realizada en el ambiente de trabajo²³.

Limitaciones del trabajo

Se han omitido intencionadamente fórmulas

matemáticas y detalles técnicos de cada magnitud y unidad descrita, tanto en sus procesos de formulación como de calibración de los dosímetros. Para mayor detalle de estos aspectos técnicos, se puede recurrir a la serie de documentos de la Organización Internacional de Normalización (ISO)^{24,25,26,27}.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha llevado a cabo como parte del proyecto de cooperación técnica "Fortalecimiento de la infraestructura nacional, para que los usuarios finales puedan dar cumplimiento a las reglamentaciones y requerimientos en materia de protección radiológica", RLA/9/075 de la Agencia Internacional de Energía Atómica. Los investigadores (Ubeda C y Nocetti D) agradecen el apoyo de la Dirección de Investigación de la Universidad de Tarapacá, a través de los proyectos de investigación UTA Mayor N° 7713-18 y 7714-18, respectivamente.

Referencias

- Organismo Internacional de Energía Atómica. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/SupM_Pub1531_Spanish.pdf. (Accesado el 26/Abr/2018).
- Comisión Internacional de Unidades Radiológicas y Medidas. Disponible en: www.icru.org. (Accesado el 26/Abr/2018).
- Comisión Internacional de Protección Radiológica. Disponible en: www.icrp.org. (Accesado el 26/Abr/2018).
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Quantities and Unit in Radiation Protection Dosimetry. ICRU Report 51. J ICRU 1993.
- International Commission on Radiation Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP 103. Ann ICRP 2007; 37: 2-4.
- Reglamento de protección radiológica de instalaciones radiactivas, Decreto Supremo N°3 de la República de Chile, 3 de Enero de 1985.
- Reglamento sobre autorizaciones para instalaciones radioactivas o equipos generadores de radiaciones ionizantes, personal que se desempeña en ellas, u opere tales equipos y otras actividades afines, Decreto Supremo N°133 de la República de Chile, 22 de mayo de 1984.
- Ubeda C, Nocetti S, Alarcón R, Inzulza A, Calcagno S, Castro M, et al. Magnitudes y unidades para dosimetría a pacientes en radiodiagnóstico e intervencionismo. Rev Chil Radiol 2015; 21(3): 94-99.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Patient Dosimetry for X Rays Used in Medical Imaging. ICRU Report 74. J ICRU 2006.
- International Commission on Radiation Units and Measurements. Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation. ICRU Report 85. J ICRU 2011.
- Organismo Internacional de Energía Atómica. Evaluación de la Exposición Ocupacional debida de Fuentes Externas de Radiación, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.3. OIEA 2004. Disponible en: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1076s_web.pdf. (Accesado el 26/Abr/2018).
- Organismo Internacional de Energía Atómica. Protección Radiológica Ocupacional, Colección de Normas de Seguridad N° RS-G-1.1. OIEA, 2004. http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1081s_web.pdf. (Accesado el 26/Abr/2018).
- International Commission on Radiation Protection. Recommendations of the ICRP. ICRP 60. Ann ICRP 1991; 21(1-3).
- International Atomic Energy Agency. Diagnostic Radiology Physics, A Handbook for Teachers and Students. Publication N° 1564. IAEA 2014. Disponible en: <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564webNew-74666420.pdf> (Accesado el 20/Abr/2017).
- International Commission on Radiation Units and Measurements. "Photon, Electron, Proton and Neutron Interaction Data for Body Tissues". ICRU Report 46. J ICRU 1992.
- International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP 26. Ann ICRP 1977; 1(3): 1-228.
- International Commission on Radiological Protection. General principles for the protection of workers. ICRP 75. Ann ICRP 1997; 27(1): 1-7.
- Ministerio de Salud de Chile. Nuevo Reglamento de Protección Radiológica (en trámite). Disponible en: <http://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/01/Consultap%C3%BAblica-Reglamento-de-Protecci%C3%B3n-Radiol%C3%B3gica.pdf> (Accesado el 26/Abr/2018).
- International Commission on Radiological Protection. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures, 1st Edition. ICRP 85. Ann ICRP 2001; 30(2): 1-45.
- Behrens R, Engelhardt J, Figel M, Hupe O, Jordan M, Seifert R. Hp(0.07) photon dosimeters for eye lens dosimetry: calibration on a rod vs. a slab phantom. Radiat Prot Dosim 2012; 148: 139-142.
- Dietze G. Dosimetric Concepts and Calibration of Instruments. IRPA10 Hiroshima 2001. Disponible en: <http://www.irpa.net/irpa10/pdf/E03.pdf>.
- Stadtmann H. Dose quantities in radiation protection and dosimeter calibration. Radiat Prot Dosim 2001; 96(1-3): 21-26.
- Consejo de Seguridad Nuclear de España. Protocolo para la vigilancia dosimétrica mediante dosimetría de área de los trabajadores expuestos clasificados como categoría B en el ámbito sanitario. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/1006281/Protocolo+para+la+vigilancia+dosim%C3%A9trica+mediante+dosimetr%C3%ADa+de+%C3%A1rea+de+los+trabajadores+expuestos+clasificados+como+categor%C3%ADa+B+en+el+%C3%A1mbito+sanitario>. (Accesado el 26/Abr/2018).
- International Organization for Standardization. X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037/Part 1: Radiation Characteristics and Production Methods. ISO, Ginebra 1996.
- International Organization for Standardization. X and

- Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037/ Part 2: Dosimetry for Radiation Protection over the Energy Ranges 8 keV to 1.3 MeV and from 4 MeV to 9 MeV. ISO, Ginebra 1998.
26. International Organization for Standardization. X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037/ Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Measurement of their Response as a Function of Energy and Angle Incidence. ISO, Ginebra 1998.
27. International Organization for Standardization. X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining their Response as a Function of Photon Energy, ISO 4037/ Part 4: Calibration of area and personal dosimeters in low energy X reference radiation fields. ISO, Ginebra 2004.