

DOSIS DE RADIACIÓN EN PROCEDIMIENTOS DE CARDIOLOGÍA INTERVENCIONISTA PEDIÁTRICA

C. Ubeda¹, E. Vaño^{2,3}, P. Miranda⁴

¹Departamento de Tecnología Médica, Centro de estudios en Ciencias Radiológicas, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

²Departamento de Radiología Universidad Complutense, Madrid, España.

³Servicio de Física Médica, Hospital Clínico San Carlos, Madrid, España.

⁴Departamento de Hemodinamia, Hospital Luis Calvo Mackenna, Santiago, Chile.

RESUMEN

Objetivo: Determinar experimentalmente los niveles de dosis a los pacientes y dosis dispersa en la posición del cristalino del cardiólogo en procedimientos de cardiología intervencionista pediátrica (PCIP).

Material y Método: Se caracterizó (dosis y calidad de imagen) un angiógrafo Siemens Axiom Artis BC perteneciente al Hospital Luis Calvo Mackenna en Santiago de Chile. Se han realizado mediciones experimentales de las tasas de dosis y dosis por cuadro de los modos de fluoroscopia baja y cine para 4, 8, 12 y 16 cm de polimetilmetacrilato (PMMA), (para simular pacientes pediátricos de 0 a <1, 1 a <5, 5 a < 10 y 10 a <16 años, respectivamente). Se han registrado, los valores del tiempo de fluoroscopia (TF) y el número de imágenes de cine (NI), estimando a partir de ellos, el kerma aire en la superficie de entrada (KASE) del paciente, el producto kerma área (PKA) y la dosis equivalente personal Hp(10) en la posición del cardiólogo (al nivel del cristalino, sin protección) para 10 tipos de procedimientos diagnósticos y terapéuticos.

Resultados y discusión: Los rangos de TF y NI para los procedimientos diagnósticos fueron desde 7,3 a 17,9 min y desde 770 a 1114 cuadros de cine. Para los procedimientos terapéuticos estos valores fueron desde 9.0 a 29,4 min y 337 a 1333 imágenes. Los rangos de valores de las magnitudes dosimétricas estimados fueron los siguientes: KASE desde 2.0 hasta 84.4 mGy, PKA desde 0,3 a 8,6 Gy cm² y Hp (10) desde 1,0 a 88,2 μSv, para los procedimientos terapéuticos y KASE desde 3,1 a 61,2 mGy, PKA desde 0,4 a 6,2 Gy cm² y Hp (10) desde 2,4 hasta 62,4 μSv para los procedimientos diagnósticos.

Conclusiones: El procedimiento ductus arterioso persistente con coil presentó los menores valores de dosis en el estudio.

1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que los procedimientos intervencionistas de cardiología, pueden generar elevados niveles de radiación a los pacientes y al personal médico [1-6].

La dosis de radiación es particularmente relevante para los pacientes pediátricos, ya que según el reciente informe de UNSCEAR, las estimaciones de riesgo de ciertos tipos de cánceres para los niños expuestos podrían ser un factor de 2 a 3 veces mayor que las estimaciones de una población expuesta a todas las edades [7].

Por otro lado, durante los procedimientos de cardiología intervencionista pediátrica (PCIP), los cardiólogos intervencionistas necesitan permanecer más cerca del paciente en comparación con los procedimientos de adultos. A veces, la complejidad de los

¹ carlos.ubeda.uta@uta.cl

procedimientos implica tiempos de fluoroscopia largos y un alto número de cuadros en el modo cine. Estas consideraciones sugieren la conveniencia de una cuidadosa evaluación de los niveles de la dosis dispersa para el personal médico involucrado [8]. Especial interés tiene la evaluación de la dosis de radiación al cristalino, debido a que la catarata u opacidad del cristalino es uno de los principales efectos deterministas para este personal [9].

Las evaluaciones de las dosis de radiación recibidas por los pacientes y el personal médico, deben ser considerados una parte importante en los programas de garantía de calidad para procedimientos intervencionistas de cardiología [10-11] y pueden en parte ser estimadas a partir de las medidas experimentales realizadas durante la caracterización de un sistema de rayos X [8, 12].

Por todo lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron determinar experimentalmente algunas magnitudes dosimétricas relacionadas con los niveles de dosis a los pacientes y las dosis derivadas de la radiación dispersa en los ojos del cardiólogo en diez tipos de PCIP.

2. MATERIAL Y METODO

Se caracterizó en términos de dosis y calidad de imagen [13-15] un angiógrafo biplano marca Siemens Axiom Artis BC (equipado con intensificador de imagen) [16] perteneciente al Departamento de Hemodinamia del Hospital Dr. Luis Calvo Mackenna. El angiógrafo estaba equipado con un generador de 100 kW a 100 kV, instalado el año 2006 y adaptado para procedimientos pediátricos. El equipo dispone de una rejilla antidifusora (Siemens modelo número 05660217) con una razón de rejilla 17:1, 70 líneas por cm, y 100 cm distancia focal. El año 2012 se cambió el tubo de rayos X del arco en C vertical. Los intensificadores de imagen tenían un diámetro máximo de 33 cm y permiten tres tamaños de campo (33, 22, y 17 cm). El sistema ha sido configurado por el servicio local de Siemens con tres protocolos de examen (recién nacido, lactante y niño), tres modos de fluoroscopia (baja (FB), media y alta dosis) con 10 pulsos s^{-1} , y un solo modo de adquisición o cine (CI) con 15 cuadros s^{-1} . Adicionalmente dispone de filtros desde 0,1 a 0,9 mm de Cu y colimación virtual.

Las mediciones se efectuaron utilizando láminas de polimetilmetacrilato (PMMA) de 25 cm x 25 cm x 1 cm construyendo espesores de 4, 8, 12 y 16 cm. La razón entre el espesor del tórax de los pacientes y el PMMA puede ser considerada como 1,5 aproximadamente [17]. Los espesores de PMMA utilizados representan espesores típicos de tórax para los pacientes pediátricos en dirección antero-posterior del haz de rayos X. Asumimos, 4 cm de PMMA que representan un rango de edad de 0 a <1 año, 8 cm de PMMA un rango de edad de 1 a <5, 12 cm de PMMA un rango de edad de 5 a <10 y 16 cm de PMMA que representan un rango de edad de 10 a <15, respectivamente. Un objeto de prueba (Leeds TOR 18-FG) [18] fue posicionado en el isocentro y en la mitad del espesor de PMMA durante todas las mediciones para evaluar la calidad de imagen (estos resultados no son reportados en el presente trabajo). Para simular las condiciones clínicas, los detectores de imagen de los sistemas de rayos X evaluados estaban siempre en la proyección AP y colocados a 5 cm del metacrilato. Las distancias foco-detector fueron desde 74 a 68 cm para los espesores de PMMA estudiados (4, 8, 12 y 16 cm).

Se utilizó un detector de estado sólido Unfors Xi (modelo 8201010-A) [19] con una sonda de medición para poder determinar tasa de dosis a la entrada o el kerma aire incidente (KAI), sin

embargo para facilitar la comparación de nuestros resultados estos valores fueron expresados en términos de kerma aire en la superficie de entrada (KASE) para lo cual, multiplicamos los valores de KAI por el factor de retrodispersión típico de 1,3 [20]. Un sistema Unfors EED-30 (modelo 8131010-C) [19] fue usado para medir la tasa de dosis debida a la radiación dispersa en la posición del médico cardiólogo, expresada en términos de dosis equivalente personal Hp(10) [21]. Ambos instrumentos fueron calibrados en los laboratorios Unfors RaySafe en el año 2013.

De las mediciones experimentales obtenidas durante la caracterización para los cuatro espesores de PMMA utilizados, se tomaron los valores de las tasas de KASE para el modo de FB, el KASE por cuadro para el modo CI, las tasas de dosis dispersa a la posición del médico cardiólogo y la dosis debida a la radiación dispersa por cuadro, en la misma posición (ver tabla 1).

Tabla 1. Valores de kerma aire en la superficie de entrada (KASE) con retrodispersión y dosis debida a la radiación dispersa para los modos de fluoroscopia bajo (FB) y cine para cada espesor de polimetilmetacrilato (PMMA).

Espesores PMMA (cm)	KASE modo FB (mGy/min)	KASE modo cine (μ Gy/cuadro)	Dosis dispersa modo FB (mSv/h)	Dosis dispersa modo cine (mSv/cuadro)
4	0,11	2,94	0	3×10^{-6}
8	0,24	7,8	0,02	9×10^{-6}
12	0,58	11,1	0,05	13×10^{-6}
16	1,4	32,3	0,10	29×10^{-6}

Junto con lo anterior, la tabla 2 muestra los valores medios de tiempo de fluoroscopia y número de cuadros para el modo CI, calculados para 10 PCIP para el mismo servicio caracterizado [22].

Tabla 2. Tiempo medio de fluoroscopia y número medio de cuadros de cine para cada tipo de procedimiento simulado.

ID	Procedimientos	Tiempo de fluoroscopia (min)	Numero de cuadros de cine
A	Diagnósticos normal	7,3	770
B	Diagnósticos complejo	17,9	1114
C	Angioplastía aórtica	13,7	1053
D	Angioplastía pulmonar	23,4	979
E	Angioplastía pulmonar con stent	29,4	1333
F	Cierre de comunicación interauricular	21	479

G	Valvuloplastía aórtica	11,5	563
H	Valvuloplastía pulmonar	14,2	507
I	Cierre de ductus arterioso persistente con coil	9	337
J	Cierre de ductus arterioso persistente con dispositivo	11,7	605

Finalmente, a partir de los datos de las tablas precedentes, se obtienen para cada procedimiento, diferentes magnitudes dosimétricas globales tales como: KASE y producto kerma aire (PKA) [20] para el paciente y la dosis debida a la radiación dispersa en la posición de los ojos del cardiólogo.

3. RESULTADOS

Las figuras 1, 2 y 3 muestran para los cuatro espesores de PMMA estudiados los valores de KASE, PKA y dosis debida a la radiación dispersa, calculados para los 10 PCIP seleccionados.

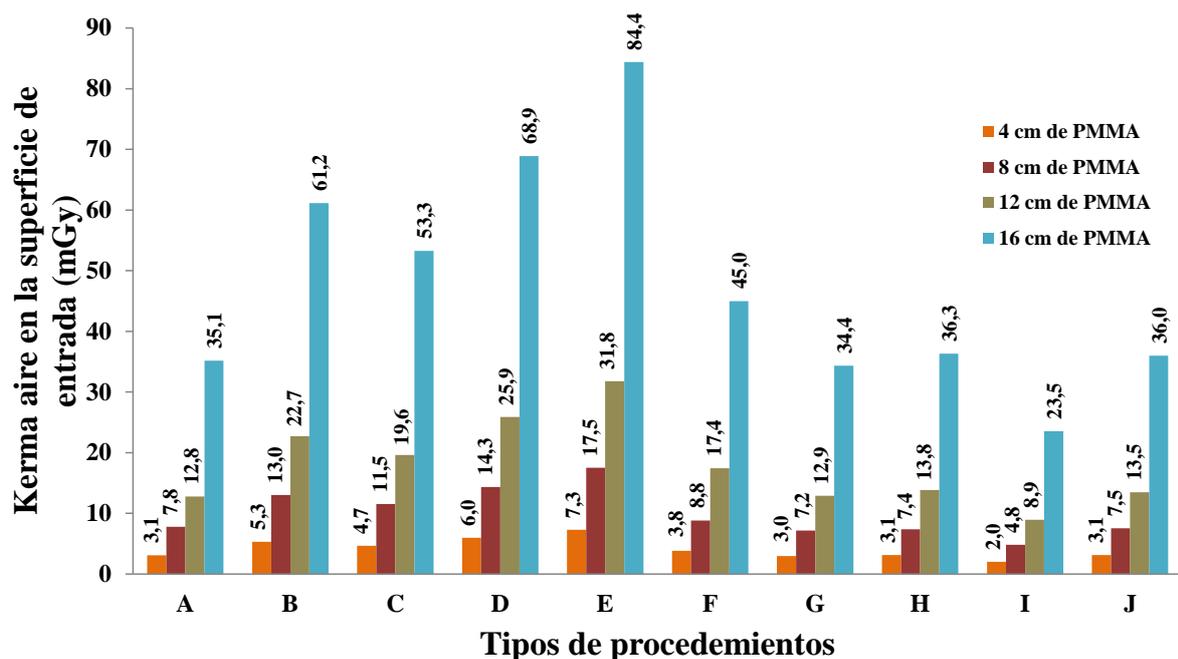


Figura 1. Valores de kerma aire en la superficie de entrada, estimado para los 10 procedimientos estudiados en los cuatro espesores de PMMA.

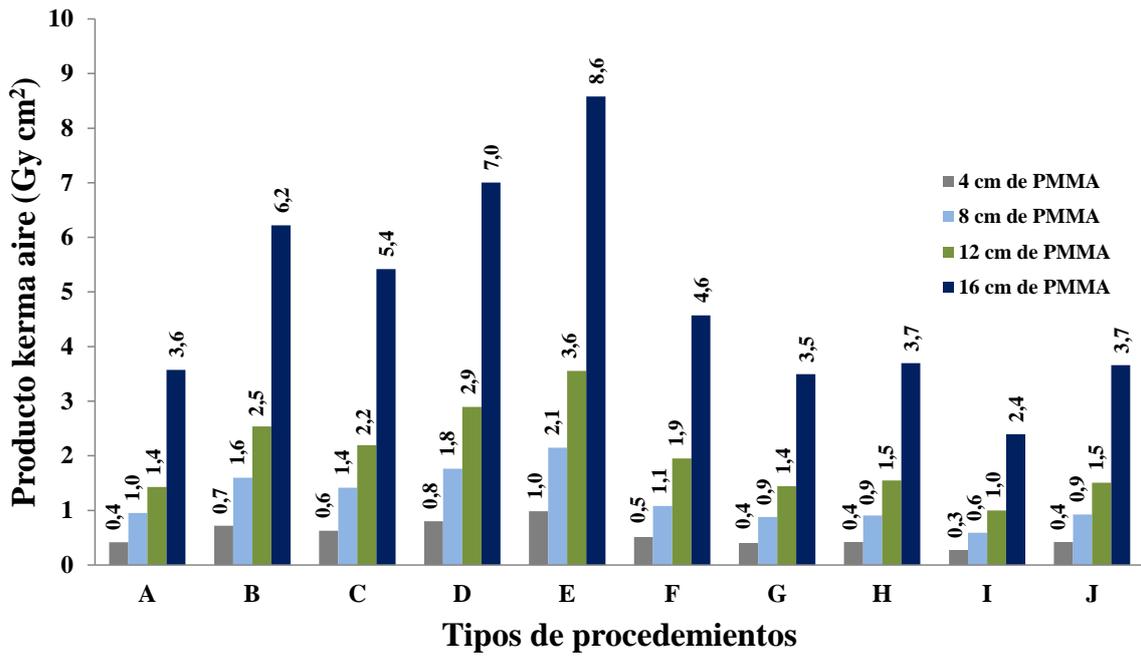


Figura 2. Valores de producto kerma aire, estimado para los 10 procedimientos estudiados en los cuatro espesores de PMMA.

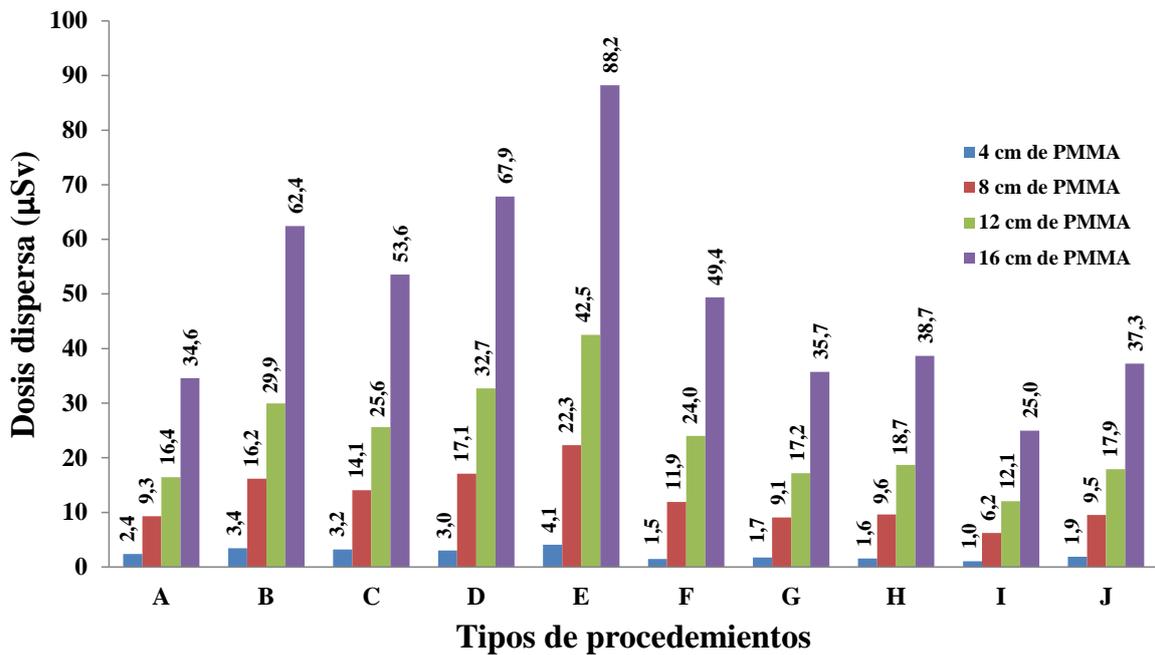


Figura 3. Valores de dosis dispersa en la posición del cardiólogo, estimado para los 10 procedimientos estudiados en los cuatro espesores de PMMA.

4. DISCUSIÓN

Tomamos como referencia, los tiempos medios de fluoroscopia y los valores medios del número de cuadros de cine calculados en uno de nuestros trabajos previos [22]. Cuando hacemos la clasificación entre procedimientos diagnósticos y terapéuticos, los rangos de tiempos medios de fluoroscopia y los valores medio del número de cuadros de adquisición fueron desde 7,3 a 17,9 min y desde 770 a 1114 cuadros, respectivamente. Para los procedimientos terapéuticos estos valores fueron desde 9,0 a 29,4 min y 337 a 1333 cuadros de cine.

Generalmente, ningún punto de la piel del paciente está constantemente irradiada por los haces de radiación durante un PCIP. Para realizar una evaluación más detallada se requeriría el conocimiento de la distribución exacta de los campos de radiación sobre la piel del paciente, lo cual es una limitación del presente estudio. Sin embargo, la Figura 1 muestra el rango completo de valores de dosis obtenidos en la piel de los pacientes simulados con las láminas de PMMA. El rango de valores de KASE fue desde 2,0 (cierre de ductus arterioso persistente con coil para 4 cm de PMMA) hasta 84,4 mGy (angioplastía pulmonar con stent para 16 cm de PMMA) para los procedimientos terapéuticos y desde 3,1 (diagnóstico normal para 4 cm de PMMA) a 61,2 mGy (diagnóstico complejo para 16 cm de PMMA) en el caso de los procedimientos diagnósticos. Estos valores estarían muy por debajo del umbral para efectos deterministas en la piel, descrito por Balter y *col.* [23].

A diferencia del KASE, el KAP no siempre es un indicador útil para efectos deterministas, ya que no proporciona información sobre la dosis en la piel del paciente [24]. De hecho, proporciona una primera indicación cuando los valores son altos, lo que sugiere un cálculo más detallado para estimar la dosis máxima de la piel. El KAP proporciona una buena estimación de la energía total de rayos X impartida a los órganos y tejidos de los pacientes, en relación con los efectos estocásticos [25]. Por ello, la magnitud KAP es propuesta para el establecimiento de Niveles Referenciales Diagnósticos [2, 10, 11, 20-22, 25] en procedimientos intervencionistas. El rango de valores PKA de acuerdo a la Figura 2 para los procedimientos terapéuticos, fue desde 0,3 (cierre de ductus arterioso persistente con coil para 4 cm de PMMA) a 8,6 Gy cm² (angioplastía pulmonar con stent para 16 cm de PMMA) y desde 0,4 (diagnóstico normal para 4 cm de PMMA) a 6,2 Gy cm² (diagnóstico complejo para 16 cm de PMMA) para los procedimientos diagnósticos.

En cuanto a los resultados de las dosis debidas a la radiación dispersa en la posición del cardiólogo, que se muestra en la Figura 3, los rangos alcanzados para la magnitud Hp (10) fueron desde 1,0 (cierre de ductus arterioso persistente con coil para 4 cm de PMMA) a 88,2 μSv (angioplastía pulmonar con stent para 16 cm de PMMA), para los procedimientos terapéuticos y en el caso de los procedimientos diagnósticos fue desde 2,4 (diagnóstico normal para 4 cm de PMMA) hasta 62,4 μSv (diagnóstico complejo para 16 cm de PMMA).

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta resultados determinados experimentalmente de varias magnitudes dosimétricas relacionadas con los niveles de dosis a los pacientes y las dosis debidas a la radiación dispersa en los ojos del cardiólogo, a partir de los valores de las tasas de KASE, el KASE por cuadro y las tasas de dosis dispersa medidos durante la caracterización del sistema de rayos X, en conjunto con los valores medios de tiempo de fluoroscopia y número de cuadros para el modo CI, previamente calculados para 10 tipos de PCIP. El procedimiento ductus arterioso persistente con coil presentó los menores valores de dosis en el estudio. Por su parte, el procedimiento de angioplastía pulmonar con stent alcanzó los mayores valores de dosis de la investigación.

6. REFERENCIAS

1. D'Helft C, McGee A, Rainford L, McFadden S, Winder J, Hughes C and Brennan PC., "Proposed preliminary diagnostic reference levels for three common interventional cardiology procedures in Ireland". *Radiat. Prot. Dosim.* **129**, 63-66 (2008).
2. Padovani R, Vano E, Trianni A, Bokou C, Bosmans H, Bor D, Jankowski J, Torbica P, Kepler K, Dowling A, Milu C, Tsapaki V, Salat D, Vassileva J and Faulkner K., "Reference levels at European level for cardiac interventional procedures". *Radiat. Prot. Dosim.* **129**, 104-107 (2008).
3. Camm AJ, Reid J, Raphael M, et al., "Radiation hazards to the cardiologist: a report of a subcommittee of the British Cardiac Society". *Br. Heart J.* **70**, 489-496 (1993).
4. Vano E, Gonzalez L, Beneytez F and Moreno F., "Lens injuries induced by exposure in non-optimized interventional radiology laboratories". *Br. J. Radiol.* **71**, 728-733 (1998).
5. Vano E, Gonzalez L, Guibelalde E, et al., "Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology". *Br. J. Radiol.* **71**, 954-960 (1998).
6. Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D and Simon SL., "Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures". *Health Phys.* **94**, 211-227 (2008).
7. UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiations *Source and Effects of Ionizing Radiation Report to the general assembly with scientific, Scientific Annexes B*. Volume II. Sources. United Nations, New York (2013).
8. Ubeda C, Vano E, Gonzalez L, Miranda P, Valenzuela E, Leyton F and Oyarzun C., "Scatter and staff dose levels in paediatric interventional cardiology. A multicentre study". *Radiat. Prot. Dosim.* **140**, 67-74 (2010).
9. Einstein AJ., "Effects of radiation exposure from cardiac imaging: how good are the data?" *J. Am. Coll. Cardiol.* **59**, 553-565, (2012).
10. European Commission. *Council Directive 2013/59 Euratom laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation*. Off. J. Eur. Commun. 13-72 (2014).
11. IAEA. *International Atomic Energy Agency Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*. IAEA safety standards series no. GSR part 3 (2014).

12. Ubeda C, Vano E, Gonzalez L, Miranda P, Valenzuela E, Vergara F and Guarda E., "Evaluation of patient doses and lens radiation doses to interventional cardiologists in a nationwide survey in Chile". *Radiat. Prot. Dosim.* **157**, 36-43 (2013).
13. Vano E, Ubeda C, Leyton F and Miranda P., "Radiation dose and image quality for paediatric interventional cardiology". *Phys. Med. Biol.* **53**, 4049-4062 (2008).
14. Ubeda C, Vano E, Miranda P, Leyton F, Valenzuela E, Oyarzun C., "Radiation dose and image quality for adult interventional cardiology in Chile: a national survey". *Radiat. Prot. Dosim.* **147**, 90-93 (2011).
15. Ubeda C, Vano E, Miranda P, Leyton F, Martinez LC and Oyarzun C., "Radiation dose and image quality for paediatric interventional cardiology systems. A national survey in Chile". *Radiat. Prot. Dosim.* **147**, 429-38 (2011).
16. Disponible en: <http://www.healthcare.siemens.com/>. (Ultimo acceso Enero 11 de 2015).
17. Rassow J, Schmaltz AA, Hentrich F and Streffer C., "Effective doses to patients from paediatric cardiac catheterization". *Br. J. Radiol.* **73**, 172-183 (2000).
18. Disponible en: http://www.leadstestobjects.com/index.php?module_name=products/product_setup&product_name=TOR%2018FG&group_name=Fluoroscopy. (Ultimo acceso Enero 11 de 2015).
19. Disponible en: <http://www.raysafe.com/>.(Ultimo acceso Enero 17 de 2015).
20. International Commission on Radiation Units and Measurements. *Patient dosimetry for X-rays used in medical imaging*. ICRU report 74. J. ICRU. 5 (2005).
21. International Commission on Radiological Protection. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. Publication 103. Ann. ICRP. 37, 1-332 (2007)
22. Ubeda C, Vano E, Miranda P and Leyton F., "Pilot program on patient dosimetry in pediatric interventional cardiology in Chile". *Med. Phys.* **39**, 2424-2430 (2012).
23. Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK and Zelefsky MJ., Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology.* **254**, 326-341 (2010).
24. Balter S., Methods for measuring fluoroscopic skin dose. *Pediatr. Radiol.* **36**, 136-140 (2006).
25. National Council on Radiation Protection and Measurements. *Radiation dose management for fluoroscopically-guided interventional medical procedures*. NCRP Report No. **168**. NCRP (2011).