



## Avances y desafíos de la protección radiológica en cardiología intervencionista pediátrica para Chile entre los años 2013-2021

Carlos Ubeda<sup>1a</sup>, Patricia Miranda<sup>2</sup>, Eliseo Vaño<sup>3b</sup>, Daniel Aguirre<sup>4</sup>, Luis Cárdenas<sup>2,5</sup>, Nemorino Riquelme<sup>4c</sup>, Anamaría Álvarez.<sup>5d</sup>

1. Departamento de Tecnología Médica, Laboratorio de Dosimetría personal, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Tarapacá.
  2. Servicio de Hemodinamia, Servicio Cardiovascular, Hospital Luis Calvo Mackenna.
  3. Departamento de Radiología, Universidad Complutense de Madrid e Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Clínico San Carlos (IdISSC).
  4. Servicio de Hemodinamia, Servicio Cardiovascular, Hospital Roberto del Río.
  5. Servicio de Hemodinamia, Servicio Cardiovascular, Clínica Santa María.
- a. Tecnólogo Médico de Radiología con mención en Imagenología Física Médica. Licenciado en Ciencias Biológicas. Magíster en Biofísica Médica. Doctor en Ciencias Radiológicas.
  - b. Doctor en Física. Radiofísico Hospitalario.
  - c. Tecnólogo Médica con mención en Imagenología y Radioterapia. Magíster en Ciencias Radiológicas.
  - d. Tecnólogo Médica con mención en Imagenología y Física Médica. Licenciada en Imagenología.

Recibido el 15 de octubre 2021 / Aceptado el 13 de abril 2022

Rev Chil Cardiol 2022; 41: 28-33

**Resumen:** En el año 2013, se publicó un artículo acerca de lo realizado en Chile en temas de protección radiológica en cardiología intervencionista (CI) pediátrica. A continuación se muestra el trabajo de continuidad realizado en los últimos 8 años, destacando los principales resultados alcanzados y proponiendo mejoras en la seguridad y protección radiológica en esta práctica clínica.

Desde el año 2013 se han seguido evaluando en términos de dosis de radiación y calidad de imagen, los sistemas de rayos X utilizados en Chile para procedimientos de CI pediátricos y, en particular, los equipos de los servicios de los Hospitales Luis Calvo Mackenna y Roberto del Río. Se han medido las tasas de dosis de radiación dispersa a la posición habitual de los ojos y

tobillos de los cardiólogos que operan los equipos de rayos X. También contamos con un conjunto de “Niveles de Referencia para Diagnóstico” clasificados por rangos de edad y peso, junto con la estimación de valores de dosis por órgano y dosis efectiva para los pacientes.

Podemos afirmar que, actualmente, contamos con una metodología consolidada para caracterizar, en términos de dosis y calidad de imagen, los sistemas de rayos X. Sin embargo, sigue pendiente actualizar la normativa nacional que regula el uso seguro de las radiaciones ionizantes en medicina, como también aspectos de formación en protección radiológica para el personal médico implicado.

**Palabras claves:** Protección radiológica; cardiología intervencionista; pediatría.

**Correspondencia:**  
Dr. Carlos Ubeda  
carlos.ubeda.uta@gmail.com.



## Updating radiological protection for interventional procedures in pediatric cardiology in Chile

An article on the status of radiological protection during procedures of interventional cardiology in pediatric patients in Chile was published in 2013. The present article relates the continuing efforts to improve radiological protection highlighting their results and proposing additional measures to improve radiological protection during the procedure.

Since 2013 we have continued the evaluation of radiation doses, image quality, and X Ray systems

used in Chile. We have measured diffused radiation dose at operator's eye and ankle levels to elaborate a "Reference guide" according to patient's age and weight. However, we still lack a national regulatory norm for the X Ray systems to be used and for the appropriate training of those involved in procedures of interventional cardiology in pediatric patients.

**Keywords:** radiologic protection; interventional cardiology; pediatric.

### **Introducción:**

La evidencia científica recopilada por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), da cuenta que cuando se realizan procedimientos de cardiología intervencionista (CI) pediátrica, los pacientes y el personal médico pueden estar expuestos a elevados niveles de radiación<sup>1-3</sup>. Por lo tanto, la implementación de un programa de garantía de calidad que considere el comisionamiento o la caracterización en términos de dosis y calidad de imagen de los sistemas de rayos X (angiógrafos), la evaluación y refinamiento de los protocolos que vienen incluidos por defecto en estos sistemas, la medición de las dosis a los pacientes para establecer nive-

les de referencia para diagnóstico (DRLs), junto con la estimación de las dosis efectivas y dosis en órganos y la medición de las dosis ocupacionales son prioritarios<sup>2</sup>.

Un enfoque exitoso para reducir la exposición a la radiación es la medición del kerma en aire incidente ( $K_i$ ) o del kerma en aire en la superficie de entrada ( $K_e$ ) (con retrodispersión)<sup>4</sup> para los pacientes, y los niveles de dosis provocados por la dispersa en el cristalino y las extremidades inferiores para el personal, en condiciones reales o simuladas, y sus factores técnicos definidos. La aplicación de los factores de atenuación para los dispositivos de protección puede permitir la estimación de las dosis del cristalino y de las extremidades inferiores para



los operadores<sup>5, 6</sup>.

Desde el año 2008, la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), ha facilitado una serie de estudios pilotos sobre protección radiológica en CI pediátrica en Chile, como parte de los tres proyectos de cooperación técnica titulados “Fortalecimiento de la Protección Radiológica de Pacientes en Exposición Médica (TSA3), RLA / 9 / 057”, “Garantizar la protección radiológica de los pacientes durante exposiciones médicas (TSA3), RLA / 9/067”, y “Fortalecimiento de la infraestructura nacional para que los usuarios finales cumplan con las regulaciones y los requisitos de protección radiológica, RLA / 9 / 075”<sup>7, 8</sup>. En este sentido, el trabajo realizado en Chile ha sido considerado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de Salud (OPS) para iniciar en el año 2019 un programa internacional en intervencionismo cardiológico pediátrico titulado “Optimización de la Protección en Radiología Intervencionista Pediátrica en América Latina y el Caribe (OPRIPALC)” que nos permitirá seguir avanzando en este y otros temas relacionados con el uso seguro y efectivo de la radiaciones ionizantes<sup>9</sup>.

En el año 2013 se publicó un primer artículo que dio cuenta de lo realizado en nuestro país en temas de protección radiológica en CI pediátrica<sup>10</sup>. Así, el objetivo del presente artículo de revisión es mostrar el trabajo de continuidad que se ha venido realizando en estos últimos 8 años, destacando los principales resultados alcanzados y los desafíos, proponiendo ideas de futuro para seguir mejorando la seguridad y protección radiológica de los pacientes y personal médico en esta importante práctica de la medicina.

## Desarrollo:

### 1. Caracterización de los sistemas de rayos X

Esta metodología denomina “caracterización”, ha sido desarrollada tomando como referencia los programas de investigación europeos DIMOND y SENTINEL<sup>11</sup> y adaptándolos a nuestro país para evaluar sistemas de rayos X utilizados en procedimientos de CI pediátricos. Desde el año 2013 se ha seguido evaluando, en términos de dosis de radiación y calidad de imagen, la totalidad de los sistemas de rayos X utilizados en Chile para procedimientos de CI pediátricos y, en particular, los servicios de los Hospitales Luis Calvo Mackenna y Roberto del Río. Los principales resultados alcanzados en términos de tasas de  $K_i$  o dosis a la entrada de los pacientes (simulados con polimetil metacrilato en espesores desde 4 a 16 cm) fueron, para los diferen-

tes modos de operación, desde 0,11 a 33,1 mGy min<sup>-1</sup> (fluoroscopia baja); 0,34 a 61,0 mGy min<sup>-1</sup> (fluoroscopia alta) y 1,9 a 78,2 mGy fr<sup>-1</sup> (cine)<sup>12</sup>. En cuanto a la calidad de imagen, se evaluó la resolución a bajo contraste y se estableció nuevamente una figura de mérito que relaciona la dosis de radiación necesaria para lograr una determinada calidad de imagen<sup>13</sup>. En el caso del Hospital Roberto del Río, fue posible utilizar parte de estos resultados para mostrar cómo disminuyeron en 9,7 veces las tasas de dosis a la entrada de los pacientes con el nuevo sistema de rayos X, basado en tecnología de panel plano en comparación con el antiguo aparato basado en intensificador de imagen.<sup>14</sup>

### 2. Dosimetría a los Pacientes.

En artículo anterior informamos los valores de dosis a los pacientes en términos de producto kerma en aire área ( $P_{KA}$ ) también denominado producto dosis-área 4 y categorizados por rangos de edad para un solo hospital en Chile<sup>10</sup>. En los siguientes años se avanzó recolectando muestras de procedimientos que permitieron proponer DRLs clasificados por rangos de edad y peso, junto con la estimación de valores de dosis por órgano y dosis efectiva. La metodología utilizada fue la propuesta por el programa de investigación europeo SENTINEL<sup>11</sup>, que ha sido recientemente completada en el reporte N° 135 de la ICRP<sup>15</sup>.

#### 2a. Niveles de referencia para diagnóstico.

Se utilizó el valor del percentil 75 de la distribución de la mediana de la magnitud PDA para establecer los correspondientes DRLs. En el Hospital Luis Calvo Mackenna, la muestra correspondió a 517 procedimientos. Los resultados alcanzados para los procedimientos diagnóstico y terapéuticos por rango de edad fueron: 1,17 - 1,11 Gy cm<sup>2</sup> (<1 año); 1,74 - 1,90 Gy cm<sup>2</sup> (1 a <5 años); 2,83 - 3,22 Gy cm<sup>2</sup> (5 a <10 años); y 7,34 - 8,68 Gy cm<sup>2</sup> (10 a <16 años), respectivamente<sup>16</sup>. Para el Hospital Roberto del Río, la muestra fue de 261 procedimientos. Los resultados mostrados para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos por rango de peso fueron: 4,3 - 5,2 Gy cm<sup>2</sup> (<1 kg); 5,0 - 8,0 Gy cm<sup>2</sup> (5 a <15 kg); 12,6 - 15,6 Gy cm<sup>2</sup> (15 a <30 kg); 43,4 - 25,5 Gy cm<sup>2</sup> (30 a <50 kg); y 31,2 - 30,2 Gy cm<sup>2</sup> (50 a <80 kg), respectivamente<sup>17</sup>.

#### 2b. Dosis en órganos y dosis efectiva.

Los primeros valores de dosis órgano y dosis efectiva a pacientes pediátricos reportados en el marco de un pro-



grama piloto realizado por la IAEA en América Latina y el Caribe, fueron obtenidos en el Hospital Luis Calvo Mackenna, donde la muestra inicial incluyó 1506 procedimientos y correspondieron a los valores de la mediana en ambas magnitudes. Se utilizó el programa PCXMC 2.0 Rotacional, basado en simulación de Monte Carlo. Los procedimientos fueron divididos en 4 rangos de edad y 7 rangos de peso. Los resultados de dosis en órganos obtenidos para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos fueron: 0,90 - 0,64 mGy (médula ósea (roja) activa); 1,99 - 1,46 mGy (corazón); 3,56 - 2,59 mGy (pulmones); 1,27 - 0,83 mGy (tiroides); y 1,78 - 1,36 mGy (mama solo para mujeres), respectivamente. Los rangos para la dosis efectiva para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos fueron: 1,2 - 3,9 mSv; y 1,0 - 2,5 mSv, respectivamente<sup>18</sup>.

También se efectuó un trabajo que incluyó 1.824 procedimientos de CI pediátricos y que tuvo como objetivo determinar las dosis acumuladas cuando un paciente se realizaba más de un procedimiento de CI a lo largo de su vida. En términos de los órganos más irradiados durante estos procedimientos, los valores de la mediana más altos (para el grupo de  $\geq 4$  procedimientos) fueron: 5,0 mGy (médula ósea); 12,7 mGy (corazón); 23,5 mGy (pulmones), 15,2 mGy (esófago), 7,8 mGy (tiroides) y 11,0 mGy (mama solo para mujeres). Los valores de la mediana para la dosis efectiva calculada para los tres grupos de pacientes (con 2, 3 y  $\geq 4$  procedimientos) fueron 3,4 mSv; 5,9 mSv; y 8,7 mSv, respectivamente<sup>19</sup>.

### 3. Dosimetría ocupacional a los operadores (Cardiólogos)

Sobre la base de mediciones realizadas durante las caracterizaciones de los angiógrafos se estimaron experimentalmente las dosis debidas a la radiación dispersa en los ojos de los cardiólogos. Los principales resultados mostraron que la dosis de la radiación dispersa fluctuó entre 0,20 y 116  $\mu\text{Sv}$  por procedimiento<sup>5</sup>.

También, experimentalmente, y sobre la base de mediciones realizadas durante las caracterizaciones de los sistemas de rayos X, se estimaron las dosis dispersas en las extremidades inferiores de los cardiólogos. Aquí se agruparon los procedimientos en 10 categorías (2 diagnósticas y 8 terapéuticas) para 4 grupos de edades diferentes de pacientes. Las tasas de dosis de la radiación dispersa más altas registradas durante las simulaciones fueron de 700 y 4000  $\mu\text{Sv h}^{-1}$  para el modo de fluoroscopia de baja dosis y el modo cine, respectivamente. La dosis dispersa en las extremidades inferiores de los cardiólogos para los cuatro grupos de edad de los pa-

cientes y los 10 procedimientos variaron de 1 a 28  $\mu\text{Sv}$  (menores de 1 año), 6 a 58  $\mu\text{Sv}$  (menores de 5 años),<sup>13</sup> a 155  $\mu\text{Sv}$  (menores de 10 años) y 29 a 375  $\mu\text{Sv}$  (menores de 15 años). El presente estudio mostró una dosis máxima anual que puede llegar a las extremidades inferiores del cardiólogo de 90 mSv<sup>6</sup>, siempre y cuando no utilice los elementos de protección radiológica.

### Discusión:

Desde el año 2013 (último reporte), hemos sido capaces como país de consolidar y avanzar en diferentes aspectos relacionados con la protección radiológica en CI pediátrica. Ejemplos de lo anterior son las participaciones en el año 2016 de la Conferencia Iberoamericana de protección radiológica en Medicina (CIPRaM) en Madrid, España, trabajando en el grupo sobre Intervencionismo guiado por imagen<sup>20</sup> y en el año 2017 en Viena, Austria, para la "Conferencia Internacional del IAEA sobre protección radiológica en medicina: lograr cambios en la práctica"<sup>21</sup>. A lo largo de estos años, se ha logrado una metodología consolidada para caracterizar en términos de dosis y calidad de imagen los sistemas de rayos X, con lo cual los médicos y los otros profesionales pueden valorar, objetivamente, en términos de dosis, el costo que tienen los diferentes protocolos y modos de operación disponibles en los sistemas de rayos X<sup>12-14</sup>. También debemos indicar que Chile junto a Costa Rica son de los pocos países de la región que han publicado un conjunto de valores sobre DRLs en CI pediátrica<sup>16, 17, 22</sup>. Para mayor comprensión sobre esta metodología, parte del equipo de investigadores publicó un artículo sobre cómo establecer esta herramienta de optimización<sup>23</sup>.

Como en nuestra región la protección radiológica en medicina y en particular sobre los procedimientos de CI pediátrica sigue siendo un reto por el beneficio indiscutible que supone el uso de las radiaciones ionizantes en diagnóstico y en terapia, nace el proyecto OPRIPALC con los objetivos de: (1) Promover la cultura de seguridad radiológica en radiología pediátrica intervencionista en América Latina y el Caribe, con un enfoque inicial en cardiología intervencionista; (2) Mejorar la seguridad radiológica y la calidad de estos procedimientos en los centros participantes; (3) Definir estrategias de optimización basadas en una colección de dosis de pacientes junto con la evaluación de la calidad de las imágenes, de una muestra de hospitales representativos en diferentes países de América Latina y el Caribe utilizando DRLs nacionales o regionales y; (4) Producir un



documento de consenso regional que ofrezca orientación para mejorar la optimización de la protección y la seguridad en las prácticas de intervención pediátrica en América Latina y el Caribe<sup>9</sup>.

Por otro lado, resulta clave que la caracterización de los sistemas de rayos X, junto con la dosimetría de los pacientes y la del personal médico, sean consideradas prácticas obligatorias y no opcionales como pueden entenderse hoy en algunos países. Nuestra legislación que regula el uso de las radiaciones ionizantes en medicina data del siglo pasado<sup>24, 25</sup>, y no va de la mano con las

actuales recomendaciones internacionales del OIEA e ICRP<sup>26</sup>.

Otro aspecto clave a mejorar es fortalecer la formación en protección radiológica del personal que labora en las salas de intervencionismo, dado que los cursos actualmente dictados en Chile no consideran diferentes niveles de formación que vayan en concordancia a las necesidades y responsabilidades de los diferentes grupos profesionales. Por lo anterior, sería recomendable proponer un curso específico de protección radiológica para el área intervencionista.

## Referencias:

1. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. ICRP Publication 117. Ann. ICRP 40(1-102). ICRP Elsevier (2010).
2. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(1-332). ICRP Elsevier (2007).
3. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Radiological protection in cardiology. ICRP Publication 120. Ann. ICRP 42(1-125) (2013).
4. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS. Patient dosimetry for X-rays used in medical imaging. ICRU Report 74. J. ICRU. 5. ICRU (2005).
5. UBEDA C, VANO E, MIRANDA P, AGUIRRE D, RIQUELME N, DALMAZZO D et al. Patient and staff doses in paediatric interventional cardiology derived from experimental measurements with phantoms. *Physica Medica*. 2016;32(1):176-181.
6. UBEDA C, MIRANDA P, AGUIRRE D, RIQUELME N, DALMAZZO D, VEGA J. Scatter dose values in lower extremities for staff during paediatric interventional cardiology procedures: an experimental approach. *Radiation Protection Dosimetry*. 2017;174(1):88-93.
7. ORTIZ P, UBEDA C, ROAS N, CANEVARO L, SÁNCHEZ R, VANO E y otros Campaña Internacional de protección radiológica para América Latina y el Caribe en procedimientos intervencionistas. *Rev cienc salud med*. 2016; 2 (1): 50-60.
8. SÁNCHEZ M, ORTIZ P, ROAS N, NADER A, UBEDA C. Proyecto de Cooperación Técnica RLA9075. Una herramienta para mejorar la Protección Radiológica en la Región de América Latina. *Rev cienc salud med*. 2016; 2 (2): 105-109.
9. DISPONIBLE EN: <https://opripalc.org/> (accedido el 01 de Agosto de 2021).



10. UBEDA C, MIRANDA P, VAÑO E, NOCETTI D. Protección radiológica en cardiología intervencionista Pediátrica. Avances y desafíos para Chile. *Rev Chil Car* 2013;32(3):223-229.
  11. FAULKNER K, MALONE J, VANO E, PADOVANI R, BUSCH HP, ZOETELIEF JH, BOSMANS H. The SENTINEL Project. *Radiat. Prot. Dosim.* 2008;129: 3-5.
  12. UBEDA C, VANO E, MIRANDA P, VALENZUELA E, VERGARA F, GUARDA E. Entrance surface air kerma in X-ray systems for paediatric interventional cardiology: a national survey. *Radiation Protection Dosimetry.* 2015;165(1-4):107-110.
  13. UBEDA C, MIRANDA P, DALMAZZO D. Dosis de radiación y calidad de imagen en un equipo de cardiología intervencionista Pediátrico. *Interciencia.* 2014;39(7): 518-523.
  14. UBEDA C, VANO E, MIRANDA P, AGUIRRE D, RIQUELME N, GUARDA E. Comparison of two angiographic systems in paediatric interventional cardiology. *Radiation Protection Dosimetry.* 2015;165(1-4):250-253.
  15. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION PROTECTION (ICRP). The 2017 Diagnostic reference levels in medical imaging. ICRP Publication 135. *Ann. ICRP* 2017; 46(1): 1-143.
  16. UBEDA C, MIRANDA P, VANO E. Local patient dose diagnostic reference levels in pediatric interventional cardiology in Chile using age bands and patient weight values. *Medical Physics.* 2015;42(2):615-622.
  17. UBEDA C, VANO E, RIQUELME N, AGUIRRE D, VASQUEZ H, CHAVEZ C, DALMAZZO D. Patient radiation doses in paediatric interventional cardiology and optimization actions. *Radiation Physics and Chemistry.* 2020; 168:108539.
  18. UBEDA C, MIRANDA P, VANO E, NOCETTI D, MANTEROLA C. Organ and effective doses from paediatric interventional cardiology procedures in Chile. *Physica Medica.* 2017;40:95-103.
  19. UBEDA C, VANO E, MIRANDA P, FIGUEROA X. Organ and effective doses detriment to paediatric patients undergoing multiple interventional cardiology procedures. *Physica Medica.* 2019; 60:182-187.
  20. DISPONIBLE EN: [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/medical\\_radiation\\_exposure/Conferencia-Iberoamericana-sobre-proteccion-radiologica-en-medicina-CIPRAM.pdf](https://www.who.int/ionizing_radiation/medical_radiation_exposure/Conferencia-Iberoamericana-sobre-proteccion-radiologica-en-medicina-CIPRAM.pdf) (accedido el 01 de Agosto de 2021).
  21. DISPONIBLE EN: <https://www.iaea.org/sites/default/files/17/12/cn-255-conference-programme.pdf> (accedido el 01 de Agosto de 2021).
  22. UBEDA C, VANO E, SALAZAR L, RETANA V, SANTOS F et al. Paediatric interventional cardiology in Costa Rica: diagnostic reference levels and estimation of population dose. *J. Radiol. Prot.* 2018; 38: 218-228.
  23. UBEDA C, VAÑO E, RUIZ CRUCES R, SOFFIA P, FABRI D. Niveles de referencia para diagnóstico: Una herramienta efectiva para la protección radiológica de pacientes. *Rev Chil Radiol* 2019; 25(1): 19-25
  24. REGLAMENTO DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA DE INSTALACIONES RADIATIVAS, 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, MIRANDA P, AGUIRRE D, CÁRDENAS L, RIQUELME N Y ÁLVAREZ A. Estado de la normativa chilena que regula el uso de las radiaciones ionizantes en procedimientos de intervencionismo cardiológico. *Rev Chil Car* 2020;39:290-292.