

## CONTROL DE CALIDAD Y OPTIMIZACIÓN RADIOLÓGICA EN EL HOSPITAL GARRAHAN

S. Blanco<sup>1,2,4</sup>, D. Andisco<sup>2,3</sup>, C. Di Risio<sup>4</sup>,  
A. Rizzi<sup>5</sup>, S. Sierre<sup>5</sup>, E. Otero<sup>5</sup>, J. Alonso<sup>5</sup>, S. Crido<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CONICET ó Argentina

<sup>2</sup> Instituto Nacional del Cáncer, Ministerio de Salud de la Nación ó Argentina

<sup>3</sup> Universidad Favaloro, Facultad de Ciencias e Ingeniería ó Argentina

<sup>4</sup> Universidad de Belgrano-Facultad de Ingeniería

<sup>5</sup> Hospital Nacional de Pediatría Prof. Dr. Juan P. Garrahan ó Argentina

### RESUMEN

Durante los años 2012-2014 se realizó un ejercicio de control de calidad y de estimación de dosis entregadas a los pacientes en las diferentes técnicas radiológicas y una posterior optimización, en la Coordinación de Diagnóstico por Imágenes del Hospital de Pediatría S.A.M.I.C. "Prof. Dr. Juan P. Garrahan".

Se relevaron equipos de radiología fijos y móviles, los dos Tomógrafos Computados (TC) y sistemas de fluoroscopia de uso en intervencionismo y hemodinamia; se realizaron también controles dosimétricos ambientales en quirófanos.

Se efectuaron en primer término los Controles de Calidad de imagen y dosis siguiendo los procedimientos aprobados por el Organismo Internacional de Energía Atómica.

Posteriormente a esta etapa se calcularon las dosis entregadas en los protocolos más habituales en cada una de las técnicas y se compararon con las dosis recomendadas para pediatría surgidas de documentos actualizados reconocidos internacionalmente.

En hemodinamia e intervencionismo se verificaron las dosis entregadas en diferentes clases de procedimientos verificándose con estándares internacionales.

Como trabajo de optimización, algunos de los protocolos de TC fueron modificados para lograr una mejora en la modulación del tomógrafo y se ha propuesto una diferente escala de pesos y edades a la propuesta por la base de datos del equipo.

### 1. INTRODUCCIÓN

Todas las intervenciones médicas, ya sean diagnósticas o terapéuticas, pueden asociarse con distintos efectos adversos. Ante cada paciente, se debe evaluar la relación costo-beneficio de cada procedimiento o indicación. La probabilidad de aparición de una reacción no deseada y su gravedad deben ser proporcionales al beneficio que se desea obtener.

En los últimos años se ha incrementado considerablemente el uso de radiación ionizante en la práctica médica, principalmente aquellos métodos que utilizan altas dosis, como la tomografía computada y los procedimientos fluoroscópicos, ya sea con fines diagnósticos (estudios contrastados) o terapéuticos (radiología intervencionista, hemodinamia). Su uso inapropiado puede llevar a exposición innecesaria a la radiación ionizante, aumentando los posibles efectos biológicos adversos asociados.

Algunos grupos de pacientes, por las patologías que padecen, reciben mayor dosis de radiación para su evaluación y, adicionalmente, presentan mayor susceptibilidad a la inducción de procesos malignos. Por estos motivos, la radioprotección en pediatría es de suma importancia.

Los programas de Garantía de Calidad en Radiodiagnóstico definidos por la OMS (Organización Mundial de la Salud) tienen como objetivo evaluar que las imágenes obtenidas posean la calidad necesaria para brindar la información necesaria, al más bajo costo y con la menor exposición posible a la radiación, incluyendo la evaluación del equipamiento, instalaciones y dosimetría sobre pacientes y personal de la salud.

Los datos obtenidos acerca de las dosis suministradas se comparan con los Niveles Orientativos de Referencia (DRL, por las siglas en inglés de Diagnostic Reference Level) para cada estudio realizado sobre los pacientes.

Los DRL constituyen la dosis de radiación máxima sugeridos para cada procedimiento. En la práctica habitual, si los DRL son excedidos frecuentemente, se sugiere la revisión del procedimiento, identificar la causa y, en caso que sea posible, optimizarlo.

En el caso particular de las prácticas pediátricas, debe tenerse en cuenta que, como expresa el Organismo Internacional de Energía atómica en su documento Radiation Protection in Paediatric Radiology (2012) (1), los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en los niños dependen de su radiosensibilidad, su esperanza de vida y la exposición a la radiación. En la práctica, para la misma dosis eficaz, los efectos biológicos y los riesgos de toda la vida se puede esperar que sean mayores en un niño que en un adulto. Sin embargo, el alcance de ese aumento no se ha establecido rigurosamente y hay todavía una falta de acuerdo sobre la mejor manera de presentarlo.

Los órganos y tejidos se distribuyen de manera diferente y son más susceptibles a la radiación durante la infancia. Un examen de TAC de las extremidades inferiores respecto a la médula ósea, encontrará casi exclusivamente médula grasa en un adulto. En un niño, en el mismo examen, se encontrará una proporción significativa de la médula roja y será, por lo tanto, un mayor motivo de preocupación.

Como la mayoría de los tumores malignos se ponen de manifiesto muchos años después de la exposición, de adultos los pacientes pueden haber muerto por otras causas antes de que los cánceres inducidos se expresen. Los niños, debido a su mayor esperanza de vida, tienen una mayor probabilidad de estar vivos en el momento de la aparición de un tumor.

La ICRP (Comisión Internacional de Protección Radiológica) ofrece un marco de trabajo para hacer frente al riesgo de incidencia y mortalidad de cánceres inducidos por la radiación, y se basa en gran medida en la aproximación a los efectos biológicos de la radiación que se establece en el Informe BEIR. El impacto combinado de estos informes es indicar un aumento sustancial de riesgo de por vida entre los irradiados durante la infancia. También hay sustancial diferencia según el género.

Se han hecho intentos para resumir los datos y producir una sola cuantificación de las sensibilidades relativas de los niños frente a los adultos. Los valores tienden a variar de la unidad hasta cuatro veces dependiendo de la edad, y los valores citados en la literatura para los aumentos en el impacto que se espera en los pacientes pediátricos suelen ser dos a tres veces superiores. El impacto neto de estas evaluaciones demuestra que hay riesgos de cáncer significativos asociados con algunas formas de la radiología pediátrica, sobre todo cuando no se toman las medidas apropiadas para la justificación y la optimización de las prácticas.

Los niños también sufren a veces más riesgo debido a exámenes innecesarios y al aumento de la dosis recibida en los mismos. Por ejemplo, es sabido que los niños todavía siguen recibiendo dosis innecesariamente altas debido a protocolos inadecuados o sistemas inadecuados de CAE (Control Automático de Exposición), particularmente en prácticas de tomografía. Además de estos aumentos injustificados, hay circunstancias en las que la dosis a los niños sufre necesariamente un aumento. Por ejemplo, tienen una más delgada capa de grasa visceral abdominal y, por lo tanto, carecen del contraste natural asociado que generalmente se ve en los adultos.

En conclusión, los pacientes pediátricos tienen mayor riesgo de sufrir los efectos de la radiación ionizante que los adultos, debido a diversas causas, como la mayor vulnerabilidad de los órganos y tejidos en desarrollo, la mayor tasa de reproducción celular, la menor masa corporal total y su mayor expectativa de vida.

La labor interdisciplinaria entre los médicos tratantes y los especialistas en diagnóstico por imágenes debe ser un proceso cotidiano antes de la indicación de cada estudio, que asegure la justificación de cada método de diagnóstico.

## 2. CONTROLES DE CALIDAD

Con el objeto de verificar el estado de los equipos se realizaron controles de calidad para verificar el funcionamiento de los tubos de Rayos X y la dosis entregada por cada equipo.

Los datos fueron obtenidos de acuerdo a los protocolos validados y recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (IOEA) para las diferentes técnicas radiológicas (Protocolos utilizados durante el desarrollo del RLA/9/67), utilizando el siguiente equipamiento:

- Cámara de ionización con dosímetro para Rayos X con fuente e interconectores, marca PTW DIAVOLT. N° de serie T 43014-0192.
- Cámara de ionización tipo lápiz, marca PTW FREIBURG. N° de serie TW 30009-0515.
- Cámara de ionización plana, marca PTW FREIBURG. N° de serie TW 34069-2,5-0062.
- Dosímetro ambiental BABYLINE 81, con pilas y cargador, Código 18316. N° 3783.
- Cámara de ionización dosis-área, con conectores y prolongadores, marca PTW FREIBURG. N° serie TA 34028-1-09982.
- Tester, con transformador y cable prolongador, marca PTW DIAMENTOR E 2. N° serie T11 033-02706.
- Placas de aluminio de distintos espesores, siete en total, para atenuación de radiaciones, calibradas según espesor, marca PTW FREIBURG.
- Electrómetro, con conectores a cámaras de ionización y cables prolongadores, marca PTW UNIDOS E. N° serie T 10009-90305.
- Estación Meteorológica portátil, marca FISCHER SCIENTIFIC. N° serie 723 76 717
- 19 Placas de poliacrilato (PMMA) calibradas, de distintos espesores, para utilizar como fantomas.

### 2.1 Control de calidad de Equipos de RX

En la Tabla 1 se presentan los parámetros controlados para cada uno de los equipos, para el caso de una placa de tórax en un niño de tamaño promedio de 4 años de edad.

**Tabla 1: Equipos de RX verificados para los parámetros característicos de placas de tórax. Los valores de tolerancia aparecen en los títulos. El control se realiza para parámetros de exposición standard para un niño promedio de 4 años.**

EQUIPO(Características y marca)	Exactitud kV (%<10)	Dosis de entrada en piel tórax (<0.1mGy)
GE-Proteus	2.7	0,035
GE-Proteus	3.2	0.048
PhillipsUCI 42 (portátil)	2.3	0.065

GBA (portátil)	0.7	0.048
PhillipsUCI 35(portátil)	3.2	0.083
PhillipsUCI 45 (portátil)	2.5	0.071
PhillipsUCI 44 (portátil)	2.5	0.066
PhillipsUCI 72 (portátil)	2.5	0.056
CIM UCI 41 (portátil)	6.4	0.058

## 2.2. Intervencionismo

Se analizaron registros dosimétricos de 343 procedimientos, llevados a cabo entre octubre de 2011 y noviembre de 2013, con un equipo Philips BV Pulsera (sala 4 de intervencionismo) del Hospital Nacional de Pediatría oProf. Dr. Juan P. Garrahanö.

Los datos recabados para cada procedimiento fueron: fecha del procedimiento, edad, peso y sexo del paciente, tipo de procedimiento, lectura de Dosis de entrada en piel (en mGy) para FBD (fluoroscopia de baja dosis) y tiempo del procedimiento, lectura de Dosis de entrada en piel (en mGy) para FAD (fluoroscopia de alta dosis) y tiempo del procedimiento, lectura de Producto Dosis-Área (en mGy.m<sup>2</sup>) para FBD y lectura de Producto Dosis-Área (en mGy.m<sup>2</sup>) para FAD.

Los procedimientos incluyeron los siguientes estudios: drenaje abdominal percutáneo, recambio de botón de cecostomía, embolización vascular periférica, colangiografía transhepática-colangioplastia, colocación de catéteres PICC, flebografías, biopsia percutánea, esclerosis percutánea, , arteriografía, angioplastia transluminal percutánea, cavografía.

Los datos utilizados en el presente estudio fueron colectados a partir de la información provista por los controles del equipo. Por esa razón, se realizó previamente un exhaustivo análisis de las condiciones de funcionamiento del mismo.

Se realizaron mediciones utilizando las distintas modalidades de operación, para distintos espesores de pacientes, simulados con placas de Polimetilmetacrilato (PMMA).

En cada caso, se midieron las tasas de dosis de entrada en piel, y para el caso de radioscopia, el producto dosis-área (PDA) correspondiente.

Como un primer paso imprescindible para validar el seguimiento del control de procedimientos, la Tabla 2 muestra una síntesis de los datos obtenidos como parte del control dosimétrico del equipo utilizado. En la misma se detalla la dosis medida en función del espesor de acrílico utilizado:

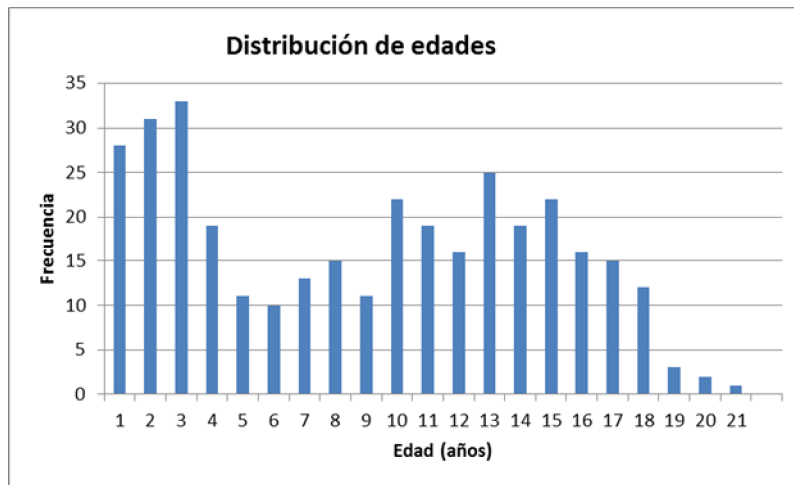
**Tabla 2: Dosis medida en función del espesor de acrílico utilizado:**

cm de Acrílico de PMMA	2	4	6	8	10	12
Tasa( Gy/s) - Radioscopia	5,6	8,6	13,2	20,4	28,2	42
Tasa( Gy/s) - Adquisición	12	19,6	31,2	48	69,6	99,2
Tasa( Gy/s) - Sustracción	12	20	31,2	46,6	69,6	98,8
Tasa( Gy/s) - Mapa	12	19,6	13,2	20	29,6	42

PDA ( Gy/m <sup>2</sup> .seg)	0,16	0,25	0,38	0,57	0,81	1,13
kVp	50	52	54	56,5	59	62

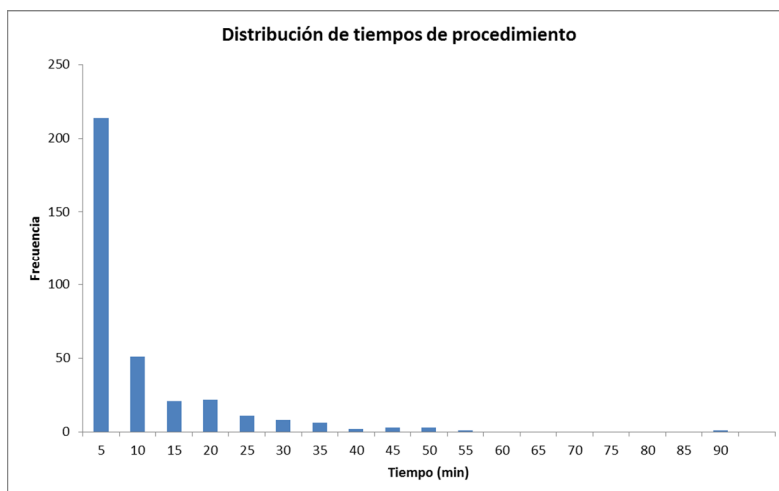
Puede apreciarse un aumento de la tasa de dosis de entrada en la piel del paciente esperable en este tipo de sistemas fluoroscópicos. Cabe señalar que todos estos valores obtenidos coinciden con los valores indicados por el fabricante en el manual del equipo y son apropiados para pediatría ya que pueden compararse perfectamente con aquella mostradas en la Tabla 19 del Documento del OIEA para pediatría (1) considerando valores máximos de tasa de dosis.

El 74 % de los pacientes se encuentra por debajo de los 14 años, y el histograma de distribución se muestra a continuación en la Fig 1



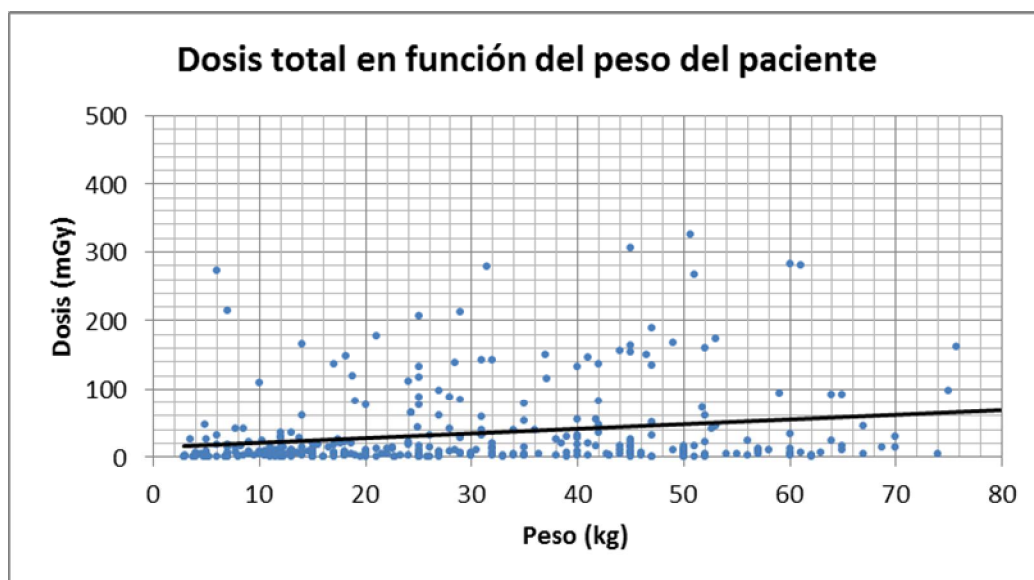
**Figura 1. Distribución de edades de los pacientes**

Se analizaron los tiempos de procedimientos informados, obteniéndose la distribución que se presenta en la Figura 2. El 77% de los procedimientos se realizaron en tiempos iguales o menores a 10 minutos de exposición total.



**Figura 2. Distribución de los tiempos de los procedimientos**

Se analizó también la dosis entregada en función del peso del paciente. Estos datos se presentan en la Figura 3



**Figura 3. Dosis en función del peso de los pacientes**

Los resultados obtenidos indican, realizadas las conversiones correspondientes que, para un procedimiento de unos 10 minutos de duración total, la dosis total recibida por el paciente, promediando los diferentes posibles procedimientos, no excedería los 40 mGy, lo cual está en concordancia con la Tabla 21 de (1).

### 2.3 Hemodinamia

Con el fin de estimar las dosis recibidas por los pacientes en estudios de hemodinamia, se realizaron estimaciones de las dosis a través de las mediciones de espesores de pacientes.

Se trabajó con el equipo Toshiba Infinix CB de la sala de hemodinamia, según sus protocolos de operación habituales.

Se realizaron mediciones utilizando las distintas modalidades de operación, para distintos espesores de pacientes, simulados con placas de Polimetilmetacrilato (PMMA).

En cada caso, se midieron las tasas de dosis de entrada en piel, y para el caso de radioscopia, el producto dosis-área (PA) correspondiente:

cm de Acrílico de PMMA	2	4	6	8	10	12
Tasa (mGy/s) - Radioscopia	7,2	9,1	16,6	22,4	33,1	55
Tasa (mGy/s) - Cine	19,2	29,8	44,3	59,4	77,1	130
PDA (mGy/m2.seg)	0,39	0,44	0,78	0,93	1,12	1,58
kVp	53	63	68	72	77	81

Estos valores son compatibles con los esperados en este tipo de equipos. Sin embargo, es recomendable minimizar los tiempos de exposición ya que las dosis de entrada en piel pueden ser considerables si las condiciones de posicionamiento no fueran las adecuadas.

## 2.4 Tomografía Computada

Con el objeto de verificar las dosis entregadas a los pacientes en tomografía computada, se realizaron mediciones dosimétricas y un análisis de cada uno de los protocolos utilizados habitualmente en el tomógrafo.

Para esto, se realizaron ensayos de Control de Calidad de imagen, y de los indicadores que aparecen en los informes de dosis para ver si las dosis informadas por los equipos y las dosis medidas según el protocolo dosimétrico eran concordantes.

Los resultados fueron los siguientes:

**Tabla : Equipo GE LightSpeed VCT desvío entre las dosis medidas y las reportadas por el equipo**

Protocolo	Dosis Medida	Dosis	Diferencia
-----------	--------------	-------	------------

	<b>CTDI Vol [mGy]</b>	<b>GE</b>	<b>Porcentual</b>
Cabeza - 0 ó 18 años	35,1	37,7	6,9%
Torax Baja Dosis ó Green Zone ó LowDose ó 0 a 9 kg	2,56	2,59	1,2%
Tórax Rutina - Pink Zone ó 0 a 9 kg	3,27	3,38	3,3%
Tórax Angio ó Grey Zone ó 0 a 9 kg	5,07	5,19	2,3%
Tórax / Abdomen - Baja Dosis -Green Zone ó LowDose - 27,3645,4 kg	5,45	5,99	9,0%
Tórax / Abdomen Rutina - Pink Zone ó 27,3645,4 kg	7,25	8,13	10,8%
Tórax / Angio - Grey Zone ó 27,3645,4 kg	7,8	9,91	21,3%

Como puede verse, en la mayoría de los casos las diferencias entre el índice de dosis medido y el indicado por el equipo es menor al 10% salvo en los dos últimos protocolos de la tabla anterior, aunque en todos los casos las dosis medidas son menores a las informadas por el equipo.

Los valores de los índices de dosis coinciden con los habituales encontrados en los niveles de referencia internacionales.

Se corrigieron los protocolos de abdomen, ya que el de baja dosis se encontraba con los parámetros de adquisición intercambiados con el de alta dosis creando un efecto contrario al deseado.

Realizando este tipo de análisis, es posible concluir que la utilización de los informes de dosis que presenta el tomógrafo al final de cada estudio son de suma utilidad a la hora de realizar actividades de optimización, es decir, de intentar disminuir las dosis recibidas por el paciente manteniendo una calidad diagnóstica apropiada. Es fundamental analizar estos informes y vigilar las dosis.

Además, fue posible constatar que para algunos protocolos no se generaba modulación de la intensidad. Esto se debe a una incongruencia entre el tamaño del paciente y los protocolos propuestos por el fabricante.

Es por esto que se trabajó en optimización de protocolos utilizando como eje la modulación. El área médica comenzó la clasificación de pacientes por peso, edad, tamaño, etc con el fin de establecer nuevos protocolos.

		<b>Edad [años]</b>	<b>Peso [kg]</b>	<b>PA [mm]</b>	<b>L.L. [mm]</b>	<b>Área Paciente [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>CTDI Vol [mGy]</b>	<b>DLP [mGy.cm<sup>2</sup>]</b>	<b>Rango Edad Protocolo</b>	
1	M	0,17	5	97,8	144,4	44,37	2,45	42,88	0 a 9 kg	0%
2	M	0,83	9	110,2	151,7	52,52	2,45	69,88	0 a 9 kg	0%
3	F	0,67	7	121	158	60,06	2,45	84,61	0 a 9 kg	0%
4	F	0,17	6	125,3	151,2	59,52	2,45	56,38	0 a 9 kg	0%
5	F	0,50	6	139,2	180,2	78,80	3,78	98,07	0 a 9 kg	0%
6	M	3	18	160	214	107,57	6,04	200,72	9 a 27 kg	1%
7	F	4	15	139	187,5	81,88	6,04	205,25	9 a 27 kg	1%
8	M	3	14	146,5	184,9	85,10	6,04	214,31	9 a 27 kg	1%

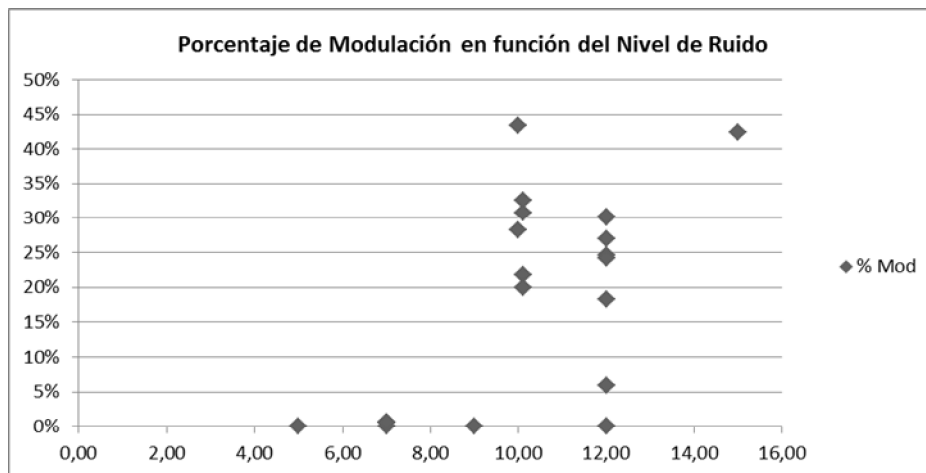


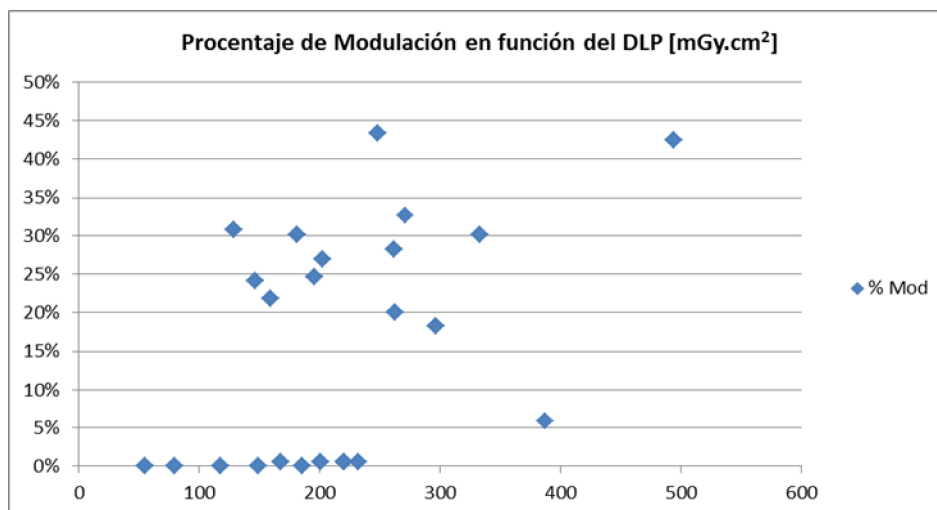
9	M	4	21	160,5	209,1	105,43	6,04	261,14	9 a 27 kg	1%
10	M	5	16	144,4	184,8	83,83	6,04	176,55	9 a 27 kg	1%
11	F	4	16	160,5	202,4	102,06	6,04	199,21	9 a 27 kg	1%
12	M	7	35	181,7	223,7	127,69	5,84	239,2	27 a 45 kg	6%
13	F	15	33	192,7	250	151,35	5,89	280,97	27 a 45 kg	1%
14	M	11	40	228,3	270,2	193,79	4,36	200,28	27 a 45 kg	0%
15	M	11	30	198,6	259	161,60	5,82	268,83	27 a 45 kg	4%
16	F	31	56	228,8	295	212,04	6,55	186,59	45 a 65 kg	18%
17	F	14	58	221,6	319,4	222,36	6,41	323,39	45 a 65 kg	32%
18	M	14	50	204,5	247,9	159,26	4,3	217,22	45 a 65 kg	31%

Se estima que se podrían establecer nuevos protocolos en función del peso y tamaño del paciente, con modulación de los mA a lo largo de todo el estudio. Esta actividad tiene en cuenta el control del ruido de la imagen y el porcentaje de modulación.

A continuación se muestran los resultados de modulación obtenidos desde el equipo en pacientes con imágenes adquiridas con modulaciones optimizadas en una primera aproximación. Sin embargo aún se debe completar este trabajo considerando que la modulación depende de los parámetros de exposición, y en gran medida de las dimensiones físicas del paciente.

Observando la relación que existe entre la relación PA y LAT de los pacientes, que permite hallar un área aproximada vista de manera axial, y la modulación del equipo, puede verse que los protocolos que tienen definido un nivel de ruido bajo no modulan; sólo se observa modulación en los que poseen definido un alto ruido como límite.





La optimización podrá lograrse siguiendo los siguientes pasos:

1. Elegir el protocolo adecuado en función de la contextura del paciente (no sólo de la edad sino también de la relación de espesores del paciente, peso, etc).
2. Redefinir los protocolos utilizados aumentando el nivel de ruido en los casos de rangos de corta edad ya que no se observa modulación.
3. Analizar los informes de dosis de aquellos protocolos que modulan porque muchas veces, el hecho de que exista una buena modulación, no implica una baja dosis. Esto puede observarse en el gráfico de % de modulación en función del DLP [mGy.cm<sup>2</sup>].

### 3. CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha sido exhaustivo a pesar de los problemas típicos que presentan los controles en una institución que realiza el número más importante de estudios radiológicos en el país. Esto significa hacerlos en los horarios de menor carga de trabajo, días feriados, o permanecer en la institución el tiempo necesario aguardando la disponibilidad del equipo.

Podemos inferir desde los resultados obtenidos una sujeción a los valores recomendados en cada especialidad y un correcto mantenimiento de los equipos para lograrlo.

Se observa también una gran preocupación por el tema del cuidado y la protección radiológica del paciente.

### 4. REFERENCIAS

1. IAEA Safety Reports Series: Radiation Protection in Paediatric Radiology, N° 71 Dec 2012.

