



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Niveles de referencia de diagnóstico en tomografía computarizada en un hospital pediátrico de alta complejidad de la ciudad de Bogotá

Maria Antonieta Londoño Arévalo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina, Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas
Bogotá, Colombia
2022

Niveles de referencia de diagnóstico en tomografía computarizada en un hospital pediátrico de alta complejidad en la ciudad de Bogotá

Maria Antonieta Londoño Arévalo

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Radiología Pediátrica

Directora:

Profesora titular, Doctora Luz Ángela Moreno Gómez

Asesora temática:

Doctora Liliana Henao Gómez

Asesor metodológico:

Doctor Andrés Fernando López Cadena

Línea de Investigación:

Imágenes pediátricas

Grupo de Investigación:

Grupo de Investigación en Radiología e Imágenes Diagnósticas (GRID)

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina, Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas

Bogotá, Colombia

2022

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Maria Antonieta Londoño Arévalo

Fecha 10/07/2022

Agradecimientos

A mi familia, por ser mi apoyo y soporte.

A la Doctora Luz Ángela Moreno Gómez, Radióloga pediatra, docente del departamento de Imágenes Diagnósticas de la Universidad Nacional por el acompañamiento en el desarrollo del proyecto, a la Doctora Liliana Henao Gómez, Radióloga pediatra por la asesoría temática, Doctor Andrés López Cadena Radiólogo pediatra y epidemiólogo por la asesoría metodológica, Doctor Sergio Valencia, residente de radiología y epidemiólogo por la revisión del manuscrito.

A la candidata a Magister de Epidemiología Sara Melissa De La Cruz Acosta por la asesoría epidemiológica.

A los internos de la Universidad Nacional de Colombia Ignacio Moreno Cerón y Luis Enrique Najjar Suarez por la recolección de los datos antropométricos.

A la Asistente administrativa del servicio de radiología e imágenes diagnósticas Jessica Andrea López León por su apoyo en la recolección de datos.

A la Fundación Hospital Pediátrico de la Misericordia y al departamento de Imágenes Diagnósticas de la Universidad Nacional por permitir el desarrollo de este proyecto.

Resumen

Niveles de referencia de diagnóstico en tomografía computarizada en un hospital pediátrico de alta complejidad de la ciudad de Bogotá

Objetivo: El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de referencia diagnóstico locales (NRDL) y las dosis alcanzables (DA) para pacientes pediátricos durante los procedimientos de tomografía computarizada (TC) más comunes en un hospital pediátrico de tercer nivel en la ciudad de Bogotá, Colombia.

Metodología: Estudio observacional descriptivo retrospectivo de corte transversal que incluyó estudios en un periodo de tiempo comprendido entre enero 2019 y abril 2022, de una fase, de cráneo, tórax simple, tórax contrastado y abdomen-pelvis contrastado. El Nivel de referencia de diagnóstico (NRD) se obtuvo en función del índice de dosis de TC de volumen (CTDI vol) y el producto de longitud de dosis (DLP) para cinco grupos de edad en población pediátrica (hasta 18 años).

Resultados: Los datos de los pacientes (577) en cuanto a CTDI vol y DLP se registraron de cinco grupos etarios, de tal forma que los resultados pudieran ser comparados con las publicaciones existentes en la literatura. Los percentiles 75 de CTDI vol y DLP se consideraron como valores de NRDL y los percentiles 50 se describieron como DA para esos parámetros. En consecuencia, los NRDL adquiridos se compararon con otros valores publicados nacional e internacionalmente.

Conclusiones: El NRD desempeña un papel fundamental en la optimización de las dosis de radiación administradas a los pacientes y en la mejora de su protección. Este estudio proporciona los NRD y AD locales para la tomografía computarizada pediátrica más común en el Hospital de referencia y se plantean propuestas de mejora que permitan optimizar la práctica clínica y seguridad de los pacientes.

Palabras clave: tomografía computarizada, niveles, referencia, diagnóstico.

Abstract

Reference levels of diagnosis in computed tomography in a high complexity pediatric hospital of the city of Bogotá.

Objective: To determine local diagnostic reference levels (LDRL) and achievable doses (AD) of common pediatric CT procedures in a third-level pediatric hospital in the city of Bogotá Colombia.

Methodology: Retrospective cross-sectional descriptive observational study that included single phase studies (head CT, thorax with and without contrast and abdomen-pelvis) between January 2019 and April 2022. Standard dose indexes (volume CT dose index - CTDI vol- and dose length product -DLP- were categorized by body part and age in patients under 18 years of age.

Results: Patient data (577 studies) on CTDI vol and DLP were recorded from five age groups so that the results could be compared with the existing publications in the literature. The 75th percentiles of CTDI vol and DLP were considered as LDRL values and the 50th percentiles were described as DA. Accordingly, the acquired LDRL were compared with national and international published values

Conclusions: DRL plays a critical role in optimizing radiation doses administered to patients and improving radioprotection. This study provides the local DRL and AD for the most common pediatric computed tomography studies in the reference hospital and proposes strategies to promote the improvement and optimizing clinical practice and patient safety.

Keywords: computed tomography, levels, reference, diagnosis.

Contenido

| | Pág. |
|---|-------------|
| Resumen | IX |
| Lista de ilustraciones | XIII |
| Lista de tablas | XV |
| Lista de abreviaturas | XVII |
| Glosario | XVII |
| | |
| 1. Marco teórico | 22 |
| 1.1 Nivel de Referencia de Diagnóstico..... | 23 |
| 1.1.1 Definición de niveles de referencia locales | 24 |
| 1.1.2 Definición de Grupos | 25 |
| 1.1.3 Recomendaciones para la definición de Grupos..... | 26 |
| 1.1.4 Recomendaciones de comparación de los NRDL..... | 28 |
| 1.1.5 Calidad de la imagen | 28 |
| 1.1.6 Parámetros de comparación | 30 |
| 1.2 Protocolos de Tomografía internacionales | 31 |
| 1.3 Protocolos de Tomografía institucionales | 32 |
| 1.3.1 Tomografía de cráneo..... | 32 |
| 1.3.2 Tomografía de Tórax y abdomen..... | 32 |
| | |
| 2. Planteamiento del problema | 35 |
| 2.1 Justificación..... | 36 |
| 2.2 Pregunta de investigación | 37 |
| | |
| 3. Objetivos | 38 |
| 3.1 Objetivo general | 38 |
| 3.2 Objetivos específicos | 38 |
| | |
| 4. Metodología | 1 |
| 4.1 Tipo de estudio..... | 1 |
| 4.2 Población | 1 |
| 4.2.1 Población blanco: | 1 |
| 4.2.2 Población de estudio: | 1 |
| 4.2.3 Tamaño de la muestra:..... | 2 |
| 4.2.4 Estrategia de muestreo..... | 3 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.3 | Variables de estudio | 3 |
| 4.4 | Análisis estadístico | 4 |
| 4.5 | Aspectos éticos..... | 5 |
| 5. | Resultados | 7 |
| 5.1 | Descripción de la muestra..... | 7 |
| 5.2 | Análisis por tipo de estudio y grupo de edad..... | 9 |
| 5.2.1 | Tomografía de Cráneo | 9 |
| 5.2.2 | Tomografía de Tórax simple | 11 |
| 5.2.3 | Tomografía de Tórax contrastada | 12 |
| 5.2.4 | Tomografía de abdomen-pelvis contrastada | 14 |
| 5.3 | Comparación con referencias internacionales y nacional..... | 16 |
| 5.3.1 | Tomografía de Cráneo | 16 |
| 5.3.2 | Tomografía de Tórax..... | 17 |
| 5.3.3 | Tomografía de Tórax contrastada..... | 18 |
| 5.3.4 | Tomografía de abdomen contrastada..... | 19 |
| 6. | Discusión..... | 20 |
| 6.1 | Tomografía de Cráneo..... | 20 |
| 6.2 | Tomografía de tórax simple | 22 |
| 6.3 | Tomografía de tórax contrastada | 24 |
| 6.4 | Tomografía de abdomen-pelvis contrastada | 26 |
| 6.5 | Limitaciones..... | 33 |
| 7. | Conclusiones y recomendaciones | 36 |
| 7.1 | Conclusiones | 36 |
| 7.2 | Recomendaciones | 37 |

Lista de ilustraciones

| | Pág. |
|--|------|
| Ilustración 1 Tomógrafo institucional..... | 32 |
| Ilustración 2. Distribución por género y tipo de estudio | 8 |
| Ilustración 3 Tomografía de cráneo (edad) | 9 |
| Ilustración 4 Tomografía de cráneo (Peso) | 9 |
| Ilustración 5 Tomografía de tórax simple (Edad)..... | 11 |
| Ilustración 6 Tomografía de tórax simple (Peso)..... | 11 |
| Ilustración 7 Tomografía de tórax contrastada (Edad) | 13 |
| Ilustración 8 Tomografía de tórax contrastada (Peso)..... | 13 |
| Ilustración 9 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (Edad) | 14 |
| Ilustración 10 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (Peso) | 15 |
| Ilustración 11 Tomografía de cráneo CTDI vol HOMI vs ACR..... | 20 |
| Ilustración 12 Tomografía de cráneo DLP HOMI vs ACR | 21 |
| Ilustración 13 Tomografía de cráneo DLP..... | 22 |
| Ilustración 14 Tomografía de tórax simple DLP HOMI vs ACR | 23 |
| Ilustración 15 Tomografía de tórax simple DLP HOMI vs ACR | 23 |
| Ilustración 16 Tomografía de tórax simple DLP | 24 |
| Ilustración 17 Tomografía de tórax contrastada DLP HOMI vs ACR | 25 |
| Ilustración 18 Tomografía de tórax contrastada DLP HOMI vs ACR | 25 |
| Ilustración 19 Tomografía de tórax contrastada DLP | 26 |
| Ilustración 20 Tomografía de abdomen contrastada CTDI vol HOMI vs ACR | 27 |
| Ilustración 21 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP HOMI vs ACR..... | 27 |
| Ilustración 22 Tomografía de tórax contrastada DLP | 28 |
| Ilustración 23 Paciente masculino de 4 meses en postoperatorio de pancreatometomía. Posible infección | 30 |
| Ilustración 24 Paciente masculino de 3 meses. Estudio de dilatación del tracto urinario. Adquisición portal tardía | 30 |
| Ilustración 25 Tomografía de abdomen de paciente femenina de 16 años | 31 |
| Ilustración 26 Tomografía de tórax contrastada de paciente femenina de 17 años..... | 31 |
| Ilustración 27 Tomografía de tórax contrastada de paciente femenina de 16 años..... | 32 |
| Ilustración 28 Estrategia de auditoría de dosis de radiación | 39 |
| Ilustración 29 Campo de visión en tomografía | 40 |
| Ilustración 30 Angulación del Gantry en tomografía de cráneo | 41 |
| Ilustración 31 Área de estudio en tomografía de cráneo | 41 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 32 Estudio de baja dosis de radiación pero pobre calidad técnica, no diagnóstico..... | 42 |
| Ilustración 33 Postproceso en tomografías de cráneo | 42 |
| Ilustración 34 Espesor de reconstrucción | 43 |
| Ilustración 35 Protocolo consistente en estudios de seguimiento | 44 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 2 Categorías pediátricas para informar CTDI vol y parámetros del protocolo | 31 |
| Tabla 3 Protocolo de TC Cráneo institucional..... | 32 |
| Tabla 4 Protocolo de TC Tórax institucional | 33 |
| Tabla 5 Protocolo de TC de abdomen institucional..... | 33 |
| Tabla 6 Grupo de edad equivalente..... | 2 |
| Tabla 7 Variables epidemiológicas y clínicas..... | 3 |
| Tabla 8 Variables tomográficas | 3 |
| Tabla 9 Estadísticas de tomografías entre enero 2019 y abril 2022..... | 7 |
| Tabla 10 Tomografía de cráneo (CTDI vol) | 10 |
| Tabla 11 Tomografía de cráneo (DLP) | 10 |
| Tabla 12 Tomografía de cráneo (CDI vol y DLP) | 10 |
| Tabla 13 Tomografía de tórax simple (CTDI vol) | 12 |
| Tabla 14 tomografía de tórax simple (DLP) | 12 |
| Tabla 15 Tomografía de tórax contrastada (CTDI vol) | 13 |
| Tabla 16 Tomografía de tórax contrastada (DLP)..... | 14 |
| Tabla 17 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (CTDI vol)..... | 15 |
| Tabla 18 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (DLP)..... | 16 |
| Tabla 19 Comparación tomografía de cráneo HOMI vs ACR..... | 16 |
| Tabla 20 Comparación tomografía de cráneo CTDI vol..... | 17 |
| Tabla 21 Comparación tomografía de cráneo DLP..... | 17 |
| Tabla 22 Comparación tomografía de tórax y abdomen-pelvis HOMI vs ACR..... | 17 |
| Tabla 23 Comparación tomografía de tórax simple CTDI vol..... | 18 |
| Tabla 24 Comparación tomografía de tórax simple DLP..... | 18 |
| Tabla 25 Comparación tomografía de tórax contrastada CTDI vol..... | 18 |
| Tabla 26 Comparación tomografía de tórax contrastada DLP | 19 |
| Tabla 27 Comparación tomografía de abdomen-pelvis contrastada CTDI vol | 19 |
| Tabla 28 Comparación tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP | 19 |
| Tabla 29 Tomografía de cráneo CTDI vol HOMI vs ACR | 20 |
| Tabla 30 Tomografía de cráneo DLP HOMI vs ACR | 21 |
| Tabla 31 Desviación de Tomografías de cráneo | 21 |
| Tabla 32 Tomografía de tórax simple CTDI vol HOMI vs ACR | 22 |
| Tabla 33 Tomografía de tórax simple DLP vol HOMI vs ACR | 23 |
| Tabla 34 Tomografía de tórax contrastada CTDI vol HOMI vs ACR..... | 24 |
| Tabla 35 Tomografía de tórax contrastada DLP vol HOMI vs ACR | 25 |

| | |
|---|----|
| Tabla 36 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada CTDI vol HOMI vs ACR | 26 |
| Tabla 37 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP vol HOMI vs ACR..... | 27 |
| Tabla 38 Número de veces que el CTDI vol y DLP se encuentran por encima del nivel de referencia..... | 29 |
| Tabla 39 Tomografías de abdomen en menores de 1 año..... | 29 |
| Tabla 40 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2021..... | 34 |
| Tabla 41 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2020..... | 35 |
| Tabla 42 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2019..... | 35 |

Lista de abreviaturas

| Abreviatura | Término |
|--------------------|--|
| CTDI vol | Índice de dosis (volumen) de tomografía computarizada (volume CT dose index) |
| DA | Dosis alcanzable |
| DE | Desviación estándar |
| DLP | Producto de dosis-longitud (dose-length product) |
| FOV | Campo de visión (<i>field of view</i>) |
| NR | <i>Niveles de referencia</i> |
| NRD | <i>Niveles de referencia de diagnóstico</i> <i>Traducción de 'diagnostic reference level' (DRL)</i> |
| NRDL | <i>Niveles de referencia de diagnóstico locales</i> |
| NRDN | <i>Niveles de referencia de diagnóstico nacionales</i> |
| SSDE | Estimación de la dosis específica del tamaño (size-specific dose estimate) |
| TC | Tomografía computarizada |
| UH | Unidades Hounsfield |

Glosario

CTDI vol Índice de dosis (volumen) de tomografía computarizada

El CTDI ponderado, CTDI w, normalizado por el paso helicoidal (Pitch). Es una estimación de la dosis promedio en una sola adquisición en un fantoma de dosimetría por TC (medido en mGy). Informe 87 de la ICRU (ICRU, 2012).

DLP Producto de dosis-longitud

Parámetro utilizado como medida sustituta de la energía impartida al paciente en una tomografía computarizada de acuerdo con la longitud de la adquisición. Por convención, es reportado en las unidades de mGy*cm. Informe 87 de la ICRU (ICRU, 2012)

SSDE Estimación de la dosis específica del tamaño

Una estimación de la dosis del paciente para tomografía computarizada (TC) que considera correcciones basadas en el tamaño del paciente, utilizando dimensiones lineales medidas a partir del paciente o en imágenes del paciente.

Fantoma

Referencia antropomórfica computacional basado en imágenes de tomografía médica imágenes donde la anatomía se representa en un pequeño volumen tridimensional elementos (voxeles) que especifican la densidad y la composición atómica de la varios órganos y tejidos del cuerpo humano, disponibles para cuerpos humanos adultos y pediátricos, masculinos y femeninos.

Gray (Gy)

Nombre especial de la unidad del SI para la dosis absorbida: 1 Gy = 1 J kg⁻¹

Nivel de referencia

En emergencias, o en situaciones existentes de exposiciones controlables, representa el nivel de dosis o de riesgo, por encima del cual se juzga como inapropiado permitir que

tengan lugar exposiciones, y por debajo del cual debe implementarse la optimización de la protección. El valor escogido para un nivel de referencia dependerá de las circunstancias inherentes a la exposición en consideración

Nivel de referencia diagnóstico (NRD)

Usado en imagenología médica con radiación ionizante para indicar si, en condiciones de rutina, la dosis al paciente o la actividad administrada (cantidad de material radiactivo) de un procedimiento específico es inusualmente alta o baja para dicho procedimiento.

Nivel de referencia de diagnóstico local (NRDL)

También llamados valores típicos. Se basa en el tercer cuartil (Percentil 75) del valor de las dosis de pacientes en un departamento de imágenes de una institución o de un grupo de instituciones para una tarea clínica definida (Ej.: Protocolo con indicación en común) o por grupos de pacientes estandarizados.

Nivel de referencia de diagnóstico nacional (NRDN)

Se basa en el tercer cuartil (Percentil 75) y valor de la mediana (Percentil 50) del valor de las dosis de pacientes obtenidas de una muestra representativa de departamentos de imágenes de un país para una tarea clínica definida (EJ Protocolo con indicación en común) o por grupos de pacientes estandarizados.

Nivel de referencia de diagnóstico europeos (NRDE o EDRL)

Se basa en la mediana (Percentil 50) del valor de la distribución de NRDN.

Introducción

Con el avance de la tecnología, la definición y calidad técnica de las imágenes diagnósticas ha mejorado considerablemente, siendo posible evaluar estructuras con mejor detalle y ampliar el espectro de patologías que pueden ser diagnosticadas. Se destaca el impacto de la Radiografía digital (DR) y la Tomografía computarizada (TC), aunque la dosis de radiación impartida por este último estudio es sustancialmente mayor que en otras modalidades a pesar de los avances técnicos de los equipos. Por lo cual, no solo es importante la calidad técnica de estos estudios, sino también, optimizar la manera como se obtienen, procesan, almacenan e interpretan las imágenes. (ICRP publication 103, 2007).

La optimización de la imagen pediátrica es de particular importancia porque el riesgo de efectos nocivos de la radiación es mayor en los niños que en los adultos, ellos tienen una mayor esperanza de vida durante la cual estos efectos pueden manifestarse. Además, el tamaño corporal más pequeño de la mayoría de los niños en comparación con los adultos significa que hay más órganos cerca del área de interés por lo que la colimación precisa es más importante, aunque más difícil (ICRP Publication 121, 2013).

Por tal motivo, fueron propuestos los niveles de referencia de diagnóstico como una herramienta para medir y poder mejorar las condiciones de radiación y protección radiológica a los pacientes sin comprometer la calidad de los estudios, especialmente, en la población pediátrica.

1. Marco teórico

A pesar de que la radiación ionizante en el diagnóstico médico se ha usado desde hace décadas, tras el descubrimiento de los Rayos X en 1885 por el físico alemán Röntgen, el concepto de cultura de radioprotección fue propuesto sólo hasta el año 2008 por la Sociedad Francesa de Radioprotección. (Ploussi et al., 2016). Según IRPA (Asociación Internacional de Radioprotección), definiéndose la cultura de radioprotección como "La combinación de conocimiento, valores, comportamientos y experiencia de protección radiológica en todos sus aspectos para pacientes, trabajadores, población y medio ambiente, y en todas las situaciones de exposición, combinando dimensiones científicas y sociales" (IRPA., 2014).

La inclusión de la Radioprotección dentro de la cultura organizacional implica realizar un diagnóstico de cómo se encuentra la institución, especialmente en el área de tomografía que es en donde se emplean dosis más altas y donde además se ha demostrado la relación causal entre exposición y aumento de riesgo a largo plazo de leucemia y tumores cerebrales (Abalo, 2021). Deberá realizarse una atención diferencial a la población pediátrica, puesto que los niños son más sensibles a los efectos de la radiación (mayor radiosensibilidad tisular), mayor dosis acumulada debido a que tienen mayor tasa mitótica y más esperanza de vida durante la cual estos efectos pueden manifestarse (ICRP, 2013).

Por lo anterior, es fundamental contar con un programa de intervención en la mejora de la calidad para el servicio de radiología que debe basarse en una adecuada protección radiológica que incluya al paciente, sus acompañantes y a los trabajadores, bajo la premisa ALARA de niveles tan bajos como sea razonablemente posible, sin comprometer la calidad técnica y permitiendo un diagnóstico acertado. (Huda, 2004).

La realización de imágenes en esta población representa un reto importante debido a las diferencias sustanciales respecto a los adultos, por lo cual es fundamental conocer dentro de la institución cuales son las dosis de radiación que se imparten localmente al determinar los índices de dosis estándar que incluyen: el índice de dosis de TC de volumen (CTDI vol) y el producto de longitud de dosis (DLP). Con base en la información obtenida, y luego de compararse con las referencias nacionales e internacionales, desarrollar estrategias que

permitan proponer una actualización a los protocolos institucionales con el fin de optimizar la calidad de las imágenes y seguridad del paciente en el servicio de radiología.

1.1 Nivel de Referencia de Diagnóstico

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) introdujo por primera vez el término «nivel de referencia de diagnóstico» (NRD) en la Publicación 60 en el año 1990 y posteriormente fue aclarado en la Publicación 73 de 1996 donde se indicó que: “Los niveles de referencia se usan en el diagnóstico clínico para indicar si, en condiciones de rutina, los niveles de dosis al paciente o la actividad administrada (la cantidad de material radiactivo) en un procedimiento de imagen específico, son excepcionalmente altos o bajos para ese procedimiento. En ese caso, debe comenzarse una revisión local para determinar si la protección se ha optimizado adecuadamente o si se necesita una acción correctora”. Desde entonces se han usado para optimizar y monitorizar los niveles de radiación a los que se exponen los pacientes. Este concepto es fundamental y ha sido usado y revisado por múltiples instituciones internacionales. Como declaró la Comisión en la publicación 103 (ICRP, 2007a), uno de los principios de optimización de la protección en las exposiciones médicas se aplica a través del uso de NRD. El NRD ha demostrado ser una herramienta eficaz que ayuda en la optimización de la radioprotección en la exposición médica de los pacientes tanto para diagnóstico como para procedimientos intervencionistas. No son un límite, pero contribuyen a optimizar y comparar los protocolos de cada institución, país o continente.

Los valores de NRD no son estáticos. A medida que se optimizan los protocolos de los exámenes o el hardware y el software mejoran, los valores de NRD deben actualizarse. Cuando se introducen nuevas técnicas de imagen, se debe hacer un esfuerzo para medir adecuadamente y establecer valores de NRD tan pronto como sea posible. Adicionalmente, la comisión recomienda realizar un esfuerzo para establecer los NRD locales, nacionales y regionales.

La Publicación 35 (ICRP, 2017b) recomienda que la principal prioridad en la selección de exámenes y procedimientos de imagen para establecer los NRD debe incluir los exámenes comunes realizados, dando prioridad a las que se realizan con la mayor frecuencia o que

resultan en la dosis de radiación más alta del paciente. Debe tenerse en cuenta que está estimado que la tomografía computarizada es la responsable de aproximadamente el 50% de la dosis efectiva colectiva de procedimientos médicos debido a su relativa alta dosis comparada con otras modalidades de imágenes diagnósticas (Schauer, NCRP, 2009). Por lo anterior en el presente estudio se seleccionaron 4 tipos de estudios: tomografía de cráneo simple, tomografía de tórax simple y contrastada y tomografía de abdomen-pelvis contrastada.

1.1.1 Definición de niveles de referencia locales

La Comisión Europea de Protección Radiológica N° 185 aporta las Directrices europeas de diagnóstico en Niveles de referencia para imágenes pediátricas y en la Sección 8 aporta “Métodos prácticos para establecer los Niveles de Referencia Pediátricos”. Para definir los Niveles de Referencia de Diagnóstico locales recomienda que de “cada institución recoja una muestra representativa de al menos 10 pacientes por tipo de procedimiento y por grupo de pacientes para exámenes no complejos como radiografía y Tomografía y al menos 20 pacientes por tipo de procedimiento y por grupo de pacientes para procedimientos complejos como fluoroscopia y procedimientos guiados por fluoroscopia” (Comisión Europea, 2018). En las recomendaciones de “Tamaño de muestra” del grupo de trabajo de tomografía computarizada de la sociedad europea de radiología pediátrica (Guías europeas de niveles de referencia de diagnóstico para imagen pediátrica) definieron que para establecer los NRD, se requiere recolectar un número relevante de datos de pacientes y que para definir los NRD nacionales cada institución debería aportar una muestra de al menos 10 pacientes por tipo de procedimiento por grupo etario para radiografía y tomografía (Granata et al, 2019).

La Sección 2.3.3 de la Publicación 35 (ICRP, 2017b) hace referencia a lo estipulado por el Protocolo Nacional para mediciones de dosis de pacientes en diagnóstico en Radiología del Reino Unido, en donde recomienda que para determinar los NRD para un examen particular en un hospital normalmente implicaría la recopilación de datos de al menos 20 pacientes para exámenes radiográficos y es preferible un grupo de al menos 30 pacientes dentro del rango de peso acordado para los procedimientos de fluoroscopia diagnóstica y TC (IPSM/NRPB/CoR, 1992)

Debido a la cantidad de datos necesarios y la gran cantidad de errores potenciales cuando se van a recopilar estos datos durante la práctica rutinaria, se recomienda la recopilación automática de datos siempre que sea posible. Sin embargo, se necesita un enfoque manual hasta que los sistemas automáticos se generalicen. (Comisión Europea, 2018).

1.1.2 Definición de Grupos

La selección del paciente es un aspecto importante en la configuración de los NRD. En TC, como en otras modalidades de imagen, el tamaño del paciente juega un papel importante en la determinación de la dosis de radiación para lograr una calidad de imagen adecuada para un procedimiento determinado (Samei y Christianson, 2014). La elección del protocolo de dosis puede establecerse de acuerdo con el rango de un grosor de paciente (a menudo estipulado como un rango de peso) o mediante las dimensiones laterales o anteroposteriores.

Sin embargo, es bien conocido que establecer los NRD en la población pediátrica conlleva más retos que en adultos por la variabilidad en los rangos de tamaños entre un neonato prematuro hasta un adolescente con obesidad, por lo cual no es posible determinar un “paciente estándar”. En el pasado se han definido grupos etarios de acuerdo con categorías por edad, sin embargo, la edad sola no es un buen indicador, por lo cual cada vez se recomienda más establecer categorías por peso cuando sea posible (ICRP, 2017a). Las Directrices Europeas recomiendan categorizar los estudios de cuerpo (tórax y abdomen) de acuerdo con el peso así: <5 kg, 5–<15 kg, 15 –<30 kg, 30 –<50 kg y 50–< 80 kg. Sin embargo, si la edad es la única medida disponible agruparlos en torno a edades de menor de un año, 1 a menor de 5 años, 5 a menor de 10 años, 10 a menor de 15 años y mayores de 15 años. Para los exámenes que involucran el cráneo, se recomiendan grupos de edad (en lugar de peso) para establecer valores de NRD. En la Publicación de la Comisión Europea incluyen: Menores de 1 año, 1 a menor de 2 años, 2 a menor de 6 años y 6 a 18 años. (Comisión Europea, 2018).

Para la comparación con los valores nacionales o regionales de NRD, los rangos de peso deben ser los mismos que los de la muestra en la que se basaron los valores de NRD.

La comparación de los resultados de diferentes encuestas siempre debe realizarse con precaución, teniendo en cuenta el método de agrupación de pacientes pediátricos. (ICRP, 2017). Por lo anterior en el análisis de los datos, es necesario tener en cuenta reagrupar

los pacientes de acuerdo con las diferentes características reportadas en publicaciones previas.

El CTDI vol y DLP para los exámenes de los pacientes se determinan basados en la referencia de un Fantoma estándar específico, ya sea de 16 cm (cabeza) o 32 cm (cuerpo) de diámetro (IEC, 2012; ICRP 2017)

Para la tomografía computarizada de un paciente determinado, el CTDI vol y DLP se muestran en la consola del tomógrafo para el fantoma de referencia seleccionado por el escáner. En general, para los exámenes que utilizan un protocolo de escaneo de cráneo, se utiliza el fantoma de 16 cm de diámetro y para Tórax – Abdomen se utiliza el fantoma de 32 cm de diámetro, sin embargo, puede variar de acuerdo con el tamaño del paciente.

Adicionalmente, los escáneres modernos permiten determinar el diámetro efectivo o el grosor equivalente del paciente (SSDE). Esto debe considerarse como un parámetro adicional para la configuración de los valores de NDR pediátrico, es decir, como fuente adicional de información para la optimización.

1.1.3 Recomendaciones para la definición de Grupos

En la Sección 2.3.3 de la Publicación 135 (ICRP, 2017) la Comisión aclara que no ha proporcionado previamente orientación sobre tamaños representativos de los niños para definir los NRD pediátricos. En el pasado, la edad del paciente se ha utilizado para definir grupos de niños con el fin de establecer NRD pediátricos. Se han utilizado edades de 0 (neonato), 1, 5, 10 y 15 años simulando los fantomas disponibles (ICRP, 2007b, 2013). Para garantizar resultados razonablemente precisos, los datos de al menos 30 pacientes en un grupo de edad particular se deberían recoger si el peso del paciente no se conoce (ICRP, 2017). En el pasado, se han utilizado con frecuencia cuatro grupos de edad: <1, >1–5, >5–10 y >10–15 años. (Vassileva and Rehani, 2015).

Sin embargo, existen grandes variaciones, incluso dentro de estos grupos, y Kleinman et al. (2010) demostraron que el tamaño individual del paciente no se correlaciona bien con la edad, por lo cual este estudio sugirió que es preferible utilizar agrupaciones basadas en el tamaño corporal del paciente pediátrico, y que el tamaño debe determinarse para

pacientes individuales antes de realizar procedimientos de diagnóstico por imágenes que impliquen riesgo de radiación.

El peso es un factor más confiable, que la edad, para vincularse con la cantidad de NRD (Watson and Coakley, 2010; Järvinen et al., 2015), por lo cual debería promoverse protocolos basados en grupos definidos de acuerdo con rangos de peso y no a rangos de edad.

Sin embargo, los valores de NRD basados en la edad del paciente son de valor principalmente para facilitar la comparación con datos más antiguos. De forma empírica se han estudiado las equivalencias para convertir los datos existentes basados en la edad en tamaños de paciente correspondientes para compararlos con datos basados en el peso (AAPM, 2011; Seidenbusch y Schneider, 2014). Ver Tabla 1.

Tabla 1 Grupos de peso recomendados por la Comisión Europea -Guías Europeas de Niveles de referencia de diagnóstico- y Grupos de edad / equivalentes de edad aproximados utilizados en estudios previos (ICRP, 2017)

| Descripción | Peso (Kg) | Grupo de edad | Grupos de edad mas comunes utilizados para NRD nacionales |
|---------------------------------------|-----------|-----------------|---|
| Neonato | <5 | <1 Mes | 0 |
| Bebé, niño pequeño y primera infancia | 5–<15 | 1 Mes a <4 años | 1 |
| Infancia media | 15–<30 | 4– <10 años | 5 |
| Adolescencia temprana | 30–<50 | 10 - <14 años | 10 |
| Adolescencia tardía | 50–<80 | 14 - <18 años | 15 |

Debe considerarse, además, que el tamaño de la cabeza varía menos con la edad que el tamaño corporal, por lo cual utilizar el peso para agrupar los pacientes pediátricos para los protocolos de tomografía de cráneo no es apropiado. La comisión europea recomienda establecer los NRD para tomografías de cráneo agrupándolos por edad así: <3 meses, 3 meses - <1año, 1-<6años y >6años. (Comisión Europea, 2018). Posteriormente en la reciente publicación americana basada en el registro de índice de Dosis (DIR: Dose Index Registry) del Colegio Americano de Radiología (ACR: American College of Radiology) que incluyó estudios realizados entre 2016 y 2020 en 1625 centros, con datos de 1.5430.535 estudios de las 10 tomografías más frecuentes en la población pediátrica, decidieron reagruparlos en: <1 año, 1-<2años, 2-<6 años y 6-18años. Lo anterior porque en el DIR no se registran pacientes por meses por lo cual juntaron los grupos de <3meses y 3meses-

1 año y además porque al existir diferencias sustanciales entre el grupo de 1-2 años y 2-6 años prefirieron dividirlos. (Kalpana et Al, 2021).

1.1.4 Recomendaciones de comparación de los NRDL

La comparación de los NRD tiene como objetivo identificar y mejorar las deficiencias en la optimización de las dosis de los pacientes dentro de la institución, estas permiten hacer un seguimiento de los niveles de dosis y si ocurren cambios imprevistos en los niveles, por ejemplo, debido a un mal funcionamiento del equipo, cambio no autorizado del protocolo institucional o falta de formación suficiente de los nuevos usuarios (Tecnólogos) facilitan la detección de dichos cambios.

La comparación de las dosis de los pacientes con los NRD siempre debe basarse en los datos de una muestra de pacientes, y no debe utilizarse en un paciente individual.

Se recomienda establecer la mediana (el percentil 50) de las distribuciones de dosis de los pacientes de una muestra representativa de exámenes en la institución (que corresponde a las Dosis Alcanzables) y debe compararse regularmente con los NRDL. Adicionalmente las instituciones que tienen sus propios NRDL deben llevar a cabo una comparación periódica de los Niveles de referencia diagnósticos locales (NRDL) con los Niveles de referencia diagnósticos nacionales (NRDN) para garantizar que no sean más altos. Si se encuentra que un NRDL es mayor que un nuevo NRDN reportado, se debe prestar mayor atención a la optimización y actualizar los NRDL si es necesario.

1.1.5 Calidad de la imagen

La máxima prioridad para cualquier examen de imágenes diagnósticas es lograr una calidad de imagen suficiente para responder la pregunta clínica, de modo que proporcionen toda la información diagnóstica requerida y el propósito clínico no se ponga en peligro. Cuando la calidad de imagen es inadecuada para el correcto diagnóstico clínico, la radiación no proporciona ningún beneficio clínico, el examen debe repetirse y el paciente recibe radiación adicional por el examen repetido. Por lo tanto, estudios con dosis de radiación demasiado baja que no respondan la pregunta clínica son tan indeseables como estudios con dosis de radiación demasiado alta. Por lo anterior, la optimización de los

protocolos debe considerar un balance entre la calidad de la imagen y la dosis de radiación que recibe el paciente (ICRP, 2017).

Debe considerarse que los NRD no son descriptores de la calidad de la imagen. Antes de recolectar los NRD debe asegurarse que el equipo funcione correctamente de acuerdo con un Programa de control de calidad prestando particular atención a la precisión de la cantidad dosimétrica de interés y que las imágenes tengan una calidad adecuada para la pregunta clínica (ICRP, 2017).

En cuanto a la calidad de la imagen se han utilizado varias medidas para caracterizar el contraste de imagen, los cuales requieren técnicas de medición especializadas que son proporcionadas por el fabricante para la mayoría de los sistemas de imágenes. Incluyen la función de transferencia de modulación, el factor de transferencia del sistema y la potencia de ruido que pueden ser realizadas por los físicos médicos hospitalarios y están cada vez más ampliamente disponibles (ICRU, 1995). Estas mediciones cuantitativas proporcionan una buena descripción del rendimiento inherente del detector de imágenes y ayudarían en el proceso de optimización para sistemas de imagen digital, pero no caracterizan el sistema en términos de imagen clínica (tarea clínica). Aunque la investigación sobre medidas objetivas de evaluación de imágenes ha sido realizada, no se ha establecido ninguna relación hasta la fecha entre las medidas físicas y el juicio del radiólogo (De Crop et al., 2015). Existe entonces una necesidad urgente de más investigación en esta área, y de datos adicionales sobre la magnitud de las variables objetivas de calidad de imagen vinculadas a las tareas de imagen clínica (ICRP, 2017).

La calidad de la imagen también debe tenerse en cuenta cuando los valores medios de NRD son demasiado altos o bajos. Es una tarea multifactorial compleja que incluye varios factores a saber:

- a. Visualización de la imagen (campo de visión, nivel de ventana y ancho de ventana).
- b. Resolución espacial (tamaño del punto focal y filtro de reconstrucción).
- c. Resolución temporal (tiempo de rotación, modo de reconstrucción).
- d. Sincronización del bolo del material de contraste (retardo de escaneo, tiempo de rotación y pitch). (ICRP, 2017):

En caso de determinar que la calidad técnica del estudio no es suficiente, es importante conocer cuáles son las causas de rechazo por parte de los radiólogos para poder definir acciones de mejora. En algunos casos los estudios serán devueltos para reenviar las imágenes porque no están disponibles completas en el PACS, pero en otros será necesario adquirir nuevamente el estudio, por lo cual deben quedar registrados los casos de sobreexposición.

1.1.6 Parámetros de comparación

En 2018 la Comisión Europea de Protección Radiológica N° 185 publicó los Niveles de Referencia de Diagnóstico Europeos (NRDE), recomendando que los NRDL se comparen con los NRDN de cada país, sin embargo, los NRDE presentados en estas Directrices pudieran considerarse como la elección preliminar hasta que las encuestas nacionales de dosis sean llevadas a cabo (Comisión Europea, 2018).

En 2017, se publicaron los NRD para exámenes de TC en adultos en los Estados Unidos utilizando el Registro del índice de dosis (DIR) del Colegio Americano de Radiología. Hasta 2019 existían pocas recomendaciones de los Estados Unidos para los NRD pediátricos y DA en TC, previamente basados en estudios con fantomas. Sin embargo, fue publicado un estudio retrospectivo de dosis (edad media de los pacientes, 12 años; rango de edad, 0-21 años) utilizando datos del Registro Nacional de Datos de Radiología (rango de años, 2016-2017) (n = 239 622) en donde se evaluaron tres tipos de examen: tomografías de cráneo simple, Tórax simple y abdomen-pelvis con medio de contraste intravenoso, comparando instituciones académicas y no académicas e instituciones pediátricas y donde también de atendían adultos (Strauss KJ, 2019). Posteriormente la misma Revista Radiology publicó los resultados de los 10 exámenes de TC más comúnmente realizados en 1625 instituciones de Estados Unidos entre enero de 2016 y diciembre de 2020 en pacientes de 18 años o menores (N=1 543 535). (Kalpana et Al, 2021)

En cuanto a Colombia, la Revista Colombiana de Radiología publicó en el año 2020 los Niveles de referencia de dosis de radiación en un Hospital Universitario de cuarto nivel en la ciudad de Medellín, estudio descriptivo retrospectivo realizado entre 2018 y 2019, donde

se analizaron los datos de 780 pacientes, de los cuales 320 correspondían a tomografías. (Cadavid, 2021).

1.2 Protocolos de Tomografía internacionales

La Asociación Americana de Físicos en Medicina (AAPM), a través de su Alianza para la Tomografía Computarizada de Calidad, publicó en su página WEB protocolos de Tomografía pediátrica de rutina que incluyen protocolos específicos del fabricante y del modelo. Inicialmente TC de cráneo Pediátrico (actualizado 14/12/2015) y posteriormente TC de tórax pediátrico (agregada el 21/07/2017) y TC de abdomen y pelvis pediátrico (agregada el 21/07/2017). (AAPM CT Scan Protocols - The Alliance for Quality Computed Tomography). Incluye las categorías pediátricas (Grupos equivalentes) para informar CTDI vol y parámetros del protocolo de acuerdo con los diámetros anteroposterior, transverso y efectivo, así como su equivalente aproximado en peso. Ver tabla 2.

Tabla 1 Categorías pediátricas para informar CTDI vol y parámetros del protocolo

| Edad | Diámetro AP cm | Diámetro Transverso cm | Diámetro efectivo cm | Peso Kg |
|--------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------|
| < 1 Año | 7-10 | 7-11 | 7-10 | 2.5-12.2 |
| 1-5 Años | 11-13 | 12-18 | 11-15 | 8.1-23.8 |
| 5 - 10 Años | 14 - 16 | 19-23 | 16-19 | 14.7-45.6 |
| 10 - 15 Años | 17 - 20 | 24-28 | 20-23 | 24.9-78.3 |
| >15 Años | 21 - 23 | 29-33 | 24-27 | 40.5-98.7 |

1.3 Protocolos de Tomografía institucionales

Ilustración 1 Tomógrafo institucional



La institución dispone de un Tomógrafo Marca: Toshiba, Modelo: Activion 16, Fabricado en: marzo de 2009, instalado en abril-2009, con última validación de calidad en marzo 2021. (Imagen de referencia adaptada de: [Toshiba Activion 16- Tecmed SRL](#))

1.3.1 Tomografía de cráneo

Tabla 2 Protocolo de TC Cráneo institucional

| TOMOGRAFÍA DE CRÁNEO | | KV | mA |
|----------------------|-----------|-----|-----|
| NEONATO | Topograma | 120 | 50 |
| | Estudio | 100 | 80 |
| 3 A 8 AÑOS | Topograma | 120 | 50 |
| | Estudio | 120 | 180 |
| 8 A 15 AÑOS | Topograma | 120 | 50 |
| | Estudio | 120 | 200 |

El protocolo de las tomografías de cráneo en la institución objeto de estudio están predeterminadas en la consola del Tomógrafo de acuerdo con 3 categorías: “Neonatos”, “3 a 8 años” y “8 a 15 años”. Los parámetros de las dosis de radiación están preestablecidos tanto para los kilovoltios como para los miliamperios. Tabla 3

1.3.2 Tomografía de Tórax y abdomen

El protocolo de las tomografías de Tórax y abdomen en la institución objeto de estudio están predeterminadas en la consola del Tomógrafo de acuerdo con 4 categorías: “Neonatos”, “12 a 22 kilos”, “23 a 32 kilos” y “40 a 60 kilos”. Los parámetros de las dosis de radiación están preestablecidos para los kilovoltios, los cuales se encuentran fijos con valor de 120. En cuanto a los miliamperios (mA), el tomógrafo de 16 canales del que dispone la institución cuenta con modulación de la corriente, por lo cual los miliamperios

van en un rango entre 50 y 300mA de acuerdo a lo que el equipo va censando durante la adquisición.

Los parámetros utilizados finalmente quedan registrados en la hoja de adquisición del equipo, sin embargo, esta información no pasa al PACS por lo que no puede recuperarse para su análisis posterior.

Tabla 3 Protocolo de TC Tórax institucional

| TOMOGRAFÍA DE TÓRAX | | | |
|---------------------|-----------|-----|-----|
| | Topograma | KV | mA |
| NEONATO | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 120 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 12 a 22kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 120 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 23 a 32kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 120 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 40 a 60kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 120 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |

Tabla 4 Protocolo de TC de abdomen institucional

| TOMOGRAFÍA DE ABDOMEN | | | |
|-----------------------|-----------|-----|-----|
| | Topograma | KV | mA |
| NEONATO | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 100 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 12 a 22kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 100 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 23 a 32kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 100 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |
| 40 a 60kg | Topograma | 120 | 30 |
| | Estudio | 120 | 50 |
| | | | 100 |
| | | | 150 |
| | | | 200 |
| | | | 250 |
| | | | 300 |

2.Planteamiento del problema

Se tiene evidencia que son pocos los servicios de radiología pediátrica que funcionan exclusivamente para atender a la población menor de edad. Usualmente se encuentran dentro de un servicio de adultos, o en instituciones pediátricas como un hospital infantil, clínica o centro pediátrico, pero que por su bajo volumen de pacientes atienden también a la población adulta. Esta situación conlleva en un gran número de casos a la adopción e implementación de los lineamientos para su funcionamiento a partir de otra institución de la organización u otra sede, con atención mixta para pacientes adultos y pediátricos, sin contar con protocolos ajustados al tamaño del paciente.

Adicionalmente, el personal asistencial (incluidos tecnólogos y auxiliares) con experiencia específica en el manejo del paciente radiológico pediátrico son escasos. Y, algunos servicios de radiología no cuentan con un adecuado registro de la información y soporte documental:

se realizan las mediciones, pero no se registra al Sistema de Información de Radiología RIS-PACS; no se plasman en la Historia Clínica electrónica datos relevantes para ajustar los protocolos de atención tales como peso y talla, en otros casos la dosis de radiación que se utiliza en pacientes de similares características antropométricas no es constante, se repiten estudios sin tener un control adecuado y, en muchos casos no se registran los estudios devueltos y sus causas, por lo que existe un subregistro de esta información.

En consecuencia, es de gran importancia que todos los servicios de radiología e imágenes diagnósticas donde se atienda población pediátrica cuenten con su propio Programa de Garantía de Calidad que permita enfocar acciones para lograr la optimización de las imágenes radiológicas, la protección radiológica de los pacientes, así como de los trabajadores ocupacionalmente expuestos y el público en general que acompaña a estos pacientes para que reciban dosis de radiación tan bajas como sean posibles a través de acciones sistemáticas y planificadas que permitan generar confianza en los servicios ofrecidos. Adicionalmente que los estudios realizados sean satisfactorios en términos de

calidad, exposición a radiación ionizante y a un costo razonable. Para esto es fundamental conocer los Niveles de referencia de diagnóstico institucionales a partir de los cuales se pueda realizar un diagnóstico y posteriormente desarrollar propuestas según los resultados encontrados.

Siendo la institución objeto de estudio una institución prestadora de salud que atiende exclusivamente a pacientes pediátricos es importante conocer cuáles son las dosis de radiación utilizadas en los estudios de tomografía en su población, con miras a desarrollar propuestas para implementar un programa de radioprotección y poder comparar estos resultados con otras instituciones que tengan servicios mixtos. Se plantea la pregunta de investigación:

¿Cuáles son los Niveles de Referencia de dosis para Diagnóstico (NRD) en tomografías computarizadas realizadas en pacientes pediátricos (menores de 18 años) en un Hospital Pediátrico de alta complejidad en la Ciudad de Bogotá, Colombia, en el periodo comprendido entre enero de 2019 y abril del 2022?

2.1 Justificación

La radiología pediátrica, como subespecialidad juega un papel cada vez más importante en la atención en salud de la población pediátrica y está alineada con la mega tendencia de especialización que rige en el entorno actual.

El diagnóstico por imágenes es una herramienta que ha cobrado una importancia fundamental en el abordaje de los pacientes facilitando la aproximación a diversas patologías y su tratamiento. Esto a su vez ha traído consigo un marcado aumento en la exposición a la radiación ionizante. La tomografía computarizada (TC) es la principal contribuyente a la carga de radiación, y en menor medida la fluoroscopia y la radiografía convencional que aún cumplen un rol esencial en la radiología pediátrica (Hall, 2002; Mahesh, 2015).

Como la radiación es potencialmente deletérea, no debería permitirse ninguna exposición innecesaria, es por esto por lo que la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) creó el principio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable) que traduce: tan baja radiación como sea posible en forma razonable, y es un precepto que debe cumplirse e individualizarse en cada paciente pediátrico (ICRP, 1977; Slovis & Berdon, 2002)

La realización de imágenes en esta población representa un reto importante debido a las diferencias sustanciales respecto a los adultos, puesto que los niños son 10 veces más sensibles a los efectos de la radiación, tienen una mayor radiosensibilidad tisular, mayor dosis acumulada debido a que tienen mayor tasa mitótica y más esperanza de vida durante la cual estos efectos pueden manifestarse (Hall, 2002; Leung, 2015; Mahesh, 2015; Greenwood et Al, 2015).

Se tiene cada vez evidencia más sólida que demuestra la relación causal que existe entre la exposición a radiación ionizante y el posterior desarrollo de neoplasias (como Leucemia y tumores cerebrales), especialmente en la población pediátrica que es más radiosensible (Pearse et Al, 2012). Este aspecto da todo el soporte y ratifica la importancia de realizar esta investigación ya que al realizar un diagnóstico de los Niveles de referencia locales y fomentar la cultura de radioprotección se benefician los pacientes, su familia, la organización que presta sus servicios y a su vez el asegurador del paciente en el modelo de atención en salud en Colombia. Al mejorar la calidad de la atención se alinea la política institucional con la política nacional de seguridad del paciente (Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención en salud) que busca prevenir situaciones que puedan afectar la seguridad de los pacientes con lo que mejora también la satisfacción de los usuarios y a largo plazo disminuye los costos del sistema.

En Colombia sólo se dispone, hasta el momento, de una publicación de un Hospital de alta complejidad en Medellín en donde se atienden pacientes adultos y pediátricos. En Latinoamérica no contamos con niveles de referencia como si los tiene Europa en sus guías de dosis publicadas en 2018 y Estados Unidos en 2017, 2019 y 2021 donde presentan recomendaciones básicas sobre cómo establecer y utilizar los DRL para los exámenes y procedimientos con radiación ionizante

2.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los Niveles de Referencia de dosis para Diagnóstico (NRD) en tomografías computarizadas realizadas en pacientes pediátricos (menores de 18 años) en un Hospital Pediátrico de alta complejidad en la Ciudad de Bogotá, Colombia, en el periodo comprendido entre enero 2019 y abril 2022?

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Establecer los Niveles de Referencia diagnóstica (NRD) de Tomografía computarizada utilizados en un Hospital Pediátrico de alta complejidad en la Ciudad de Bogotá, Colombia; en el periodo comprendido entre enero 1 de 2019 y abril 30 de 2022 y a partir de estos generar propuestas de Radioprotección en la institución.

3.2 Objetivos específicos

Conocer cuál es la tecnología empleada en la institución para la realización de Tomografías computarizadas

Conocer cuáles son los protocolos de Tomografía institucionales

Aportar información de las Dosis institucionales al estudio multicéntrico de SLARP (Sociedad Latinoamericana de Radiología pediátrica) que busca conocer los Niveles de referencia de Diagnóstico en los estudios de Tomografía Computarizada en pacientes pediátricos de Latinoamérica

4. Metodología

4.1 Tipo de estudio

Estudio Observacional descriptivo retrospectivo de corte transversal

4.2 Población

4.2.1 Población blanco:

Pacientes pediátricos (< 18 años) a quienes se le realiza estudio tomográfico.

4.2.2 Población de estudio:

Pacientes pediátricos (<18 años) atendidos para estudios de tomografía (tomografía de cráneo simple, tomografía de tórax simple y contrastada y tomografía de abdomen-pelvis contrastada) en el servicio de radiología e imágenes diagnósticas en la Fundación Hospital Pediátrico La Misericordia en el período de tiempo previamente descrito.

Criterios de inclusión

Pacientes pediátricos (<18 años) a quienes se le haya realizado estudios de tomografía de cráneo simple, tórax simple, tomografía de tórax contrastada o tomografía de abdomen-pelvis contrastada dado que son los estudios que con más frecuencia se solicitan.

Criterios de exclusión

- Pacientes en donde no se disponga del registro completo de dosis de los estudios de Tomografía
- Estudios donde no exista un claro registro si se realizó una o más fases de adquisición de los estudios.

- Tomografías de diferentes sitios anatómicos donde no quede el registro de la dosis individual de cada estudio sino la sumatoria de ambos (Ejemplo Tomografía de Tórax y abdomen en la misma adquisición, Tomografía de cráneo y cuello / columna cervical o Tomografía de Cráneo / Senos paranasales y Tórax).
- Tomografías computarizadas como guía de procedimiento

4.2.3 Tamaño de la muestra:

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la Publicación 135 (ICRP, 2017 y NCRP, 2009) se seleccionaron 4 tipos tomografías computarizadas (TC) que son los estudios más frecuentes y que aportan la mayor cantidad de dosis de radiación en diagnóstico médico en radiología la institución a saber: tomografía de cráneo simple, tomografía de tórax simple y contrastada y tomografía de abdomen-pelvis contrastada. (ICRP, 2017 y NCRP, 2009).

Tamaño de la muestra: 30 TC por cada Tipo de estudio (Tomografía de cráneo, Tomografía de Tórax simple, Tomografía de tórax contrastada y Tomografía de abdomen-pelvis contrastada) y grupo de edad adoptado de la propuesta de la Publicación 135 (ICRP, 2017) distribuidos por grupos etarios según la comisión europea (teniendo en cuenta el grupo de edad equivalente para el análisis) (Comisión Europea 2018). Ver Tabla 6. Posteriormente los estudios de Tomografía de cráneo se reagruparon de acuerdo con los registros del colegio americano de radiología (ACR) así: <1 año, 1-<2años, 2-<6 años y 6-18años. (Kalpana et Al, 2021).

Tabla 5 Grupo de edad equivalente

| Descripción | Peso | Grupo de edad | Grupo de edad equivalente |
|--------------------------|--------------|-----------------|---------------------------|
| Neonato y Lactante | < 15 kg | 0 mes a < 1 año | 1 año |
| Preescolar | 15 - < 30 kg | 1 a < 5años | 5 años |
| Escolar / Preadolescente | 30 - < 50 kg | 5 a <10 años | 10 años |
| Adolescente temprano | 50 - < 80 kg | 10 a <15 años | 15 años |
| Adolescente/Adulto | 50 - < 80 kg | 15 a <18 años | Adulto |

4.2.4 Estrategia de muestreo

Se utilizó un muestreo no probabilístico, por conveniencia. Se seleccionaron los pacientes que cumplieron con los criterios de elegibilidad, de manera secuencial.

4.3 Variables de estudio

Para el análisis se tomaron variables demográficas de edad y sexo, Indicadores antropométricos con peso, así como variables de diámetro efectivo obtenidas del análisis de la imagen. (Tabla 7 y 8).

- **Epidemiológicas y Clínicas**

Tabla 6 Variables epidemiológicas y clínicas

| Variable | Clasificación | Unidades de medida |
|----------|-----------------------|--------------------|
| Edad | Cuantitativa discreta | Meses y años |
| Sexo | Cualitativa nominal | Femenino/Masculino |
| Peso | Cuantitativa continua | Kilogramos (kg) |

- **Tomográfica**

Tabla 7 Variables tomográficas

| Variable | Definición | Resultado | Tipo |
|------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| Número de detectores | Tecnología multicorte | Número | Numérica discreta (números enteros) |
| Kilo voltaje | Penetración del rayo X | kV | Numérica continua (números enteros) |
| Miliamperios por segundo | La cantidad del haz del rayo X | mAs | Numérica continua (números enteros) |
| CTDI vol | Dosis promedio de radiación en el volumen | Vol mGy | Numérica continua (números enteros) |
| DLP por serie | Dosis de longitud del producto | mGy* cm | Numérica continua (números enteros) |
| Phantom (Fantoma) | Instrumentos de calibración | 16 32 | Ordinal |
| Software modulación de dosis | Tecnología que modula la dosis de radiación | Nombre, casa comercial | Dicotómica |
| Reconstrucción iterativa | Tecnología que reduce ruido, mejora la calidad y reduce la radiación | SI NO Nombre, casa comercial | Dicotómica |

| | | | |
|---|---|---|-------------------------------------|
| Registro de dosis de radiación | Registro en el PACS o en el informe radiológico de la dosis de radiación, diferente al resumen generado por el tomógrafo automáticamente. | NO SI: Dosis efectiva DLP CTDI vol | Dicotómica |
| Protocolos aceptados por dirección médica de baja dosis | Parámetros ajustados o adaptados de baja dosis de radiación según edad, peso, talla, etc | NO SI | Numérica discreta |
| Diámetro efectivo | Para TC de abdomen y tórax | (*) (20) | |
| Otros parámetros | - PITCH - Espesor del corte - Longitud TC - Tiempo de rotación | - Número - mm - mm - Seg | Numérica continua (números enteros) |
| CT Image quality scoring | Puntuación de la calidad de la imagen a cargo de un radiólogo | 1. Totalmente aceptable 2. Aceptable 3. Inaceptable | Nominal |

4.4 Análisis estadístico

Con la información recolectada Se construyó una base de datos en programa Microsoft Excel con paquete de análisis de datos.

El análisis estadístico de los datos se realizó en el programa RStudio versión 2022.2.2.485.

Se utilizaron técnicas de estadística descriptiva. Para las variables categóricas se calcularon frecuencias absolutas y porcentajes y para las variables continuas medias o medianas y sus medidas de dispersión correspondientes (desviación estándar y rango intercuartílico) dependiendo de la distribución de la variable. Se recurrió a herramientas gráficas para sustentar este análisis (Cajas, histogramas, gráfico de barras).

Se calculó para cada tipo de estudio por grupo etario: la mediana, el rango y rango intercuartílico de los valores de DLP y CTDI vol. Se tomó el tercer cuartil de acuerdo con las recomendaciones de la CIPR, que establecen que los NRD para los procedimientos de diagnóstico deben establecerse como el valor redondeado del tercer cuartil de la distribución de los valores medianos. (RStudio Team (2022). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>).

Adicionalmente se corroboró la información por grupos etarios y mediante tablas dinámicas se tabuló por grupo etario, tipo de examen y sexo, obteniendo así las variables epidemiológicas.

Luego utilizando $f(x)$ se calculó para cada tipo de examen por grupo etario la mínima, máxima, la mediana y tercer cuartil del CTDI vol y DPL. Cabe anotar que los grupos etarios se clasificaron teniendo en cuenta los utilizados por el Colegio Americano de Radiología (ACR) y los grupos de edad equivalente recomendados por la comisión Europea, para así poder establecer comparaciones con referentes existentes.

4.5 Aspectos éticos

Teniendo en cuenta que la información recolectada se basa en la revisión narrativa de la literatura, y en los estudios de imágenes previamente realizados, sin intervención en la población de estudio, no se presentan dilemas éticos en la presente investigación. Corresponde a una “investigación sin riesgo” cumpliendo con lo descrito en el artículo 11 del capítulo 1 del título II de la resolución 8430 de octubre 4 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, ya que emplea técnicas y métodos de investigación documental retrospectivos como es el caso de la revisión de historias clínicas e imágenes DICOM. No existe riesgo probable de que el sujeto de investigación sufra daño como consecuencia inmediata o tardía de este estudio ya que no se realizan intervenciones.

Sin embargo, cabe anotar que toda investigación en que participen seres humanos debe realizarse de acuerdo con cuatro principios éticos básicos, a saber, el respeto por las personas, la beneficencia, la no maleficencia y la justicia, los cuales se respetan en la presente revisión.

Si bien no se realiza intervención directa sobre seres humanos, sino una revisión de la literatura y se toma información de las tomografías previamente realizadas, la

investigadora protegió la confidencialidad de los datos, personas o grupos que intervinieron en la investigación, incluido el Talento humano en salud que participó en la atención de los pacientes del estudio. Para el manejo de los datos personales se cumplió con lo establecido en la ley estatutaria 1581 de 2012, en cuanto al mantenimiento de la confidencialidad de la información de cada sujeto, los datos fueron codificados y su acceso fue privativo del investigador principal teniendo en cuenta la protección a la intimidad y confidencialidad de los datos.

Por lo anterior se consideró que no se requería contar con consentimiento informado de cada uno de los sujetos de investigación. El protocolo de investigación fue aprobado por el comité de ética de la institución objeto de estudio (Anexo E).

5.Resultados

5.1 Descripción de la muestra

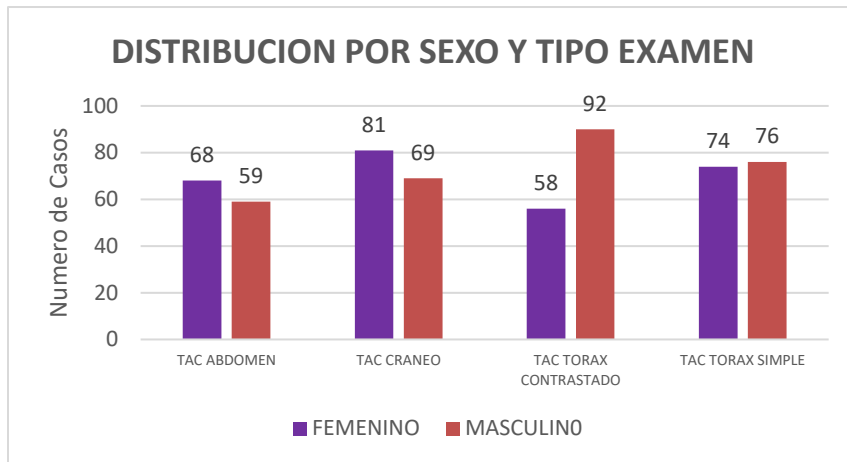
Se realizó un estudio observacional descriptivo retrospectivo de corte transversal, donde se incluyen los resultados de Tomografía de cráneo simple, Tomografía de tórax simple, Tomografía de tórax contrastado y Tomografía de abdomen-pelvis contrastada, atendidos en un Hospital pediátrico de la ciudad de Bogotá, Colombia entre enero 1 de 2019 y abril 30 de 2022.

Durante este periodo se realizaron 22.344 estudios de Tomografía de cráneo, tórax y abdomen-pelvis en la Fundación Hospital Pediátrico La Misericordia.

Tabla 8 Estadísticas de tomografías entre enero 2019 y abril 2022

| Tipo de estudio | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | TOTAL |
|--------------------------------|------|------|------|------|--------------|
| Tomografía de Cráneo | 2786 | 2093 | 2145 | 801 | 7825 |
| Tomografía de Tórax | 989 | 941 | 974 | 317 | 3221 |
| Tomografía de Abdomen - Pelvis | 1028 | 952 | 929 | 307 | 3216 |
| | 6822 | 6006 | 6069 | 3447 | 22344 |

Basados en las recomendaciones de la Publicación 135 de las recomendaciones 2017 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, 2017) se seleccionaron 30 pacientes por cada grupo etario y área anatómica. Luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se recopilaban 577 pacientes para el análisis estadístico (Ilustración 2), 296 pacientes de sexo masculino (51.3%) y 281 pacientes de sexo femenino (48.7%). (ICRP, 2017). (Ilustración 2).

Ilustración 2. Distribución por género y tipo de estudio

Teniendo en cuenta los grupos de edad para tomografía de cráneo se incluyeron 30 pacientes menores de 1 año, 30 pacientes entre 1- <5 años, 30 pacientes entre 5 - <10 años, 30 pacientes entre 10 - <15 años y 30 pacientes entre 15 - 18 años para un total de 150 pacientes que posteriormente se reagruparon en: 28 pacientes menores de 1 año, 9 pacientes 1- < 2 años, 30 pacientes entre 2 - <6 años y 83 pacientes entre 6 y 18 años para poder comparar los datos con los estándares publicados en estudios de referencia.

Para tomografía de tórax simple se incluyeron 30 pacientes menores de 1 año, 30 pacientes entre 1- <5 años, 30 pacientes entre 5 - <10 años, 30 pacientes entre 10 - <15 años y 30 pacientes entre 15 - 18 años, para un total de 150 pacientes.

Para tomografía de tórax contrastada se incluyeron 30 pacientes menores de 1 año, 30 pacientes entre 1- <5 años, 30 pacientes entre 5 - <10 años, 30 pacientes entre 10 - <15 años y 30 pacientes entre 15 - 18 años, para un total de 150 pacientes.

Para tomografía de abdomen-pelvis contrastada se incluyeron 7 pacientes menores de 1 año, 30 pacientes entre 1- <5 años, 30 pacientes entre 5 - <10 años, 30 pacientes entre 10 - <15 años y 30 pacientes entre 15 - 18 años, para un total de 127 pacientes.

5.2 Análisis por tipo de estudio y grupo de edad

5.2.1 Tomografía de Cráneo

Edad en estudios de tomografía de cráneo

El 50,67% de las tomografías de cráneo incluidos en el estudio se realizó en pacientes de 8 o menos años. El 50% de los datos analizados incluyó pacientes entre los 4 y 13 años. (Ilustración 3).

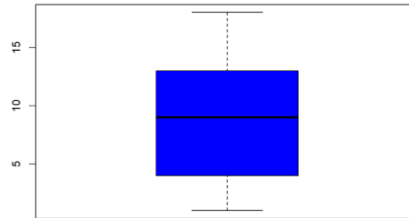


Ilustración 3 Tomografía de cráneo (edad)

Peso en estudios de tomografía de cráneo

El promedio del peso de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 29 Kg, con un rango entre 2 y 85 Kg. La mitad de los pacientes se encontraban entre 11 y 49 Kg de peso. (Ilustración 4).

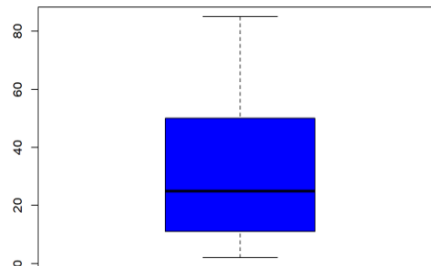


Ilustración 4 Tomografía de cráneo (Peso)

CTDI vol en estudios de tomografía de cráneo

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 15.8, 15.8, 16.3, 25 y 25 mGy para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 10).

Tabla 9 Tomografía de cráneo (CTDI vol)

| grupo | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|-------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 15.25 | 13.1 | 15.100 | 15.25 | 15.86 | 16.3 |
| 2 | 15.40 | 13.1 | 15.175 | 15.40 | 15.85 | 25.0 |
| 3 | 16.30 | 15.4 | 16.000 | 16.30 | 16.30 | 25.0 |
| 4 | 20.35 | 13.4 | 16.075 | 20.35 | 25.00 | 25.0 |
| 5 | 25.00 | 16.0 | 16.300 | 25.00 | 25.00 | 25.0 |

DLP en estudios de tomografía de cráneo

El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 300.3, 329.3, 370.9, 569.7 y 582.8mGy*cm para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). respectivamente. (Tabla 11).

Tabla 10 Tomografía de cráneo (DLP)

| grupo | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|-------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 281.60 | 195.3 | 269.425 | 281.60 | 300.300 | 376.3 |
| 2 | 305.65 | 271.4 | 294.125 | 305.65 | 329.350 | 575.4 |
| 3 | 334.20 | 296.8 | 323.400 | 334.20 | 370.925 | 586.9 |
| 4 | 454.00 | 295.3 | 336.250 | 454.00 | 569.700 | 617.3 |
| 5 | 541.70 | 295.3 | 352.625 | 541.70 | 582.850 | 711.7 |

Posteriormente se reagruparon en: Menores de 1 año, 1- < 2 años, 2 - <6 años y 6 y 18 años obteniendo el tercer cuartil de del CTDI vol de 16, 16, 16 y 25mGy y DLP de 301, 323, 440 y 518 mGy*cm respectivamente.

Tabla 11 Tomografía de cráneo (CDI vol y DLP)

| TIPO DE ESTUDIO | GRUPO ETARIO | < 1 año | 1- < 2 años | 2 - <6 años | 6 - 18 años |
|----------------------|--------------|---------|-------------|-------------|-------------|
| TOMOGRAFÍA DE CRÁNEO | CTDIvol | 16 | 16 | 16 | 25 |
| | DLP | 301 | 323 | 332 | 566 |

5.2.2 Tomografía de Tórax simple

Edad en estudios de tomografía de tórax simple

El 58% de las tomografías de tórax simple incluidos en el estudio se realizó en pacientes de 8 o menos años. El 50% de los casos analizados corresponde a pacientes entre los 4 y 12 años. (Ilustración 5).

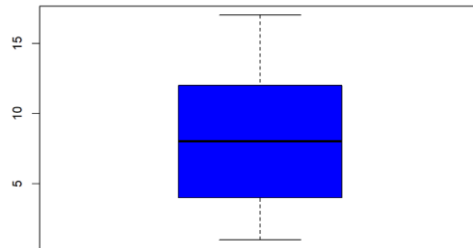


Ilustración 5 Tomografía de tórax simple (Edad)

Peso en estudios de tomografía de tórax simple

El promedio del peso de los pacientes estudiados en tomografía de tórax simple fue de 25Kg, con un rango entre 1.1 y 90Kg. La mitad de los pacientes se encontraban entre 12 y 46Kg de peso. (Ilustración 6).

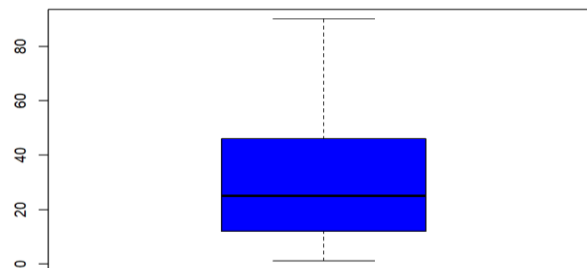


Ilustración 6 Tomografía de tórax simple (Peso)

CTDI vol en estudios de tomografía de tórax simple

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de tórax simple fue de 6.5, 4.9, 7.2, 11.2 y 17.9 mGy para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 13)

Tabla 12 Tomografía de tórax simple (CTDI vol)

| grupo2 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 3.85 | 2.4 | 3.325 | 3.85 | 6.525 | 13.4 |
| 2 | 3.90 | 2.4 | 3.000 | 3.90 | 4.900 | 23.2 |
| 3 | 5.90 | 2.4 | 5.025 | 5.90 | 7.275 | 13.5 |
| 4 | 7.50 | 4.4 | 6.400 | 7.50 | 11.200 | 19.2 |
| 5 | 13.25 | 5.8 | 10.600 | 13.25 | 17.900 | 19.2 |

DLP en estudios de tomografía de tórax simple

El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de tórax simple fue de 87.7, 90.1, 146.4, 256.6 y 423.4mGy*cm para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 14).

Tabla 13 tomografía de tórax simple (DLP)

| grupo2 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 56.75 | 39.2 | 45.60 | 56.75 | 87.75 | 230.2 |
| 2 | 73.65 | 53.4 | 58.80 | 73.65 | 90.10 | 566.4 |
| 3 | 119.50 | 52.0 | 96.05 | 119.50 | 146.40 | 325.4 |
| 4 | 178.00 | 93.7 | 129.85 | 178.00 | 256.65 | 477.8 |
| 5 | 309.35 | 138.5 | 255.65 | 309.35 | 423.45 | 516.7 |

5.2.3 Tomografía de Tórax contrastada

Edad en estudios de tomografía de tórax contrastado

El 54,67% de las tomografías de tórax contrastadas incluidas en el estudio se realizó en pacientes de 8 o menos años. El 50% de los casos corresponde a pacientes entre los 4 y 14 años. (Ilustración 7).

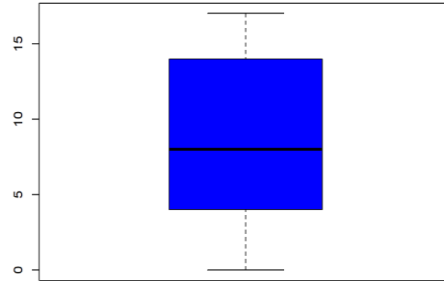


Ilustración 7 Tomografía de tórax contrastada (Edad)

Peso en estudios de tomografía de tórax contrastada

El promedio del peso de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 25Kg, con un rango entre 1.1 y 90Kg. La mitad de los pacientes se encontraban entre 12 y 46Kg de peso. (Ilustración 8)

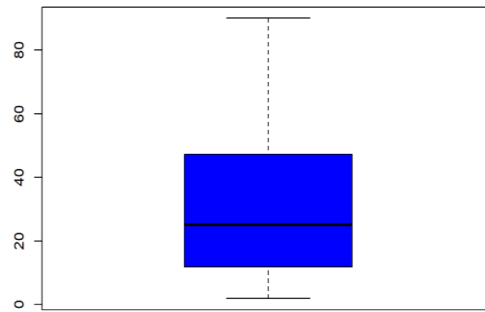


Ilustración 8 Tomografía de tórax contrastada (Peso)

CTDI vol en estudios de tomografía de tomografía de tórax contrastada

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de tórax contrastada fue de 6, 5.8, 6.9, 11.6 y 17.1 mGy para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5) respectivamente. (Tabla 15).

Tabla 14 Tomografía de tórax contrastada (CTDI vol)

| grupo3 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 4.80 | 2.4 | 2.400 | 4.80 | 6.000 | 13.4 |
| 2 | 4.15 | 2.4 | 3.400 | 4.15 | 5.875 | 16.0 |
| 3 | 6.30 | 2.9 | 4.400 | 6.30 | 6.900 | 13.0 |
| 4 | 9.45 | 3.9 | 6.525 | 9.45 | 11.625 | 27.0 |
| 5 | 12.85 | 7.4 | 10.600 | 12.85 | 17.175 | 35.2 |

DLP en estudios de tomografía de tórax contrastada

El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de tórax contrastada fue de 99.9, 110.1, 148.7, 324.5 y 428.5 mGy*cm para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 16)

Tabla 15 Tomografía de tórax contrastada (DLP)

| grupo3 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 78.6 | 34.5 | 44.625 | 78.6 | 99.900 | 186.2 |
| 2 | 76.9 | 45.3 | 62.400 | 76.9 | 110.100 | 306.0 |
| 3 | 122.4 | 62 | 92.000 | 122.4 | 148.700 | 353.5 |
| 4 | 241.9 | 90.1 | 171.800 | 241.9 | 324.550 | 643.0 |
| 5 | 349.0 | 224.8 | 269.750 | 349.0 | 428.575 | 736.4 |

5.2.4 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada

Edad en estudios de tomografía de abdomen-pelvis contrastada

El 52,76% de las tomografías de abdomen-pelvis contrastadas incluidas en el estudio se realizó en pacientes de 9 o menos años. El 50% de los casos analizados corresponde a pacientes entre los 4 años y medio y 14 años. (Ilustración 9)

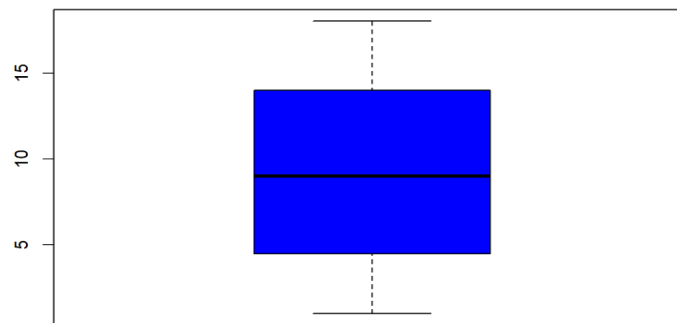


Ilustración 9 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (Edad)

Peso en estudios de tomografía de abdomen-pelvis contrastada

El promedio del peso de los pacientes estudiados en tomografía de abdomen contrastada fue de 25Kg, con un rango entre 1.1 y 90Kg. La mitad de los pacientes se encontraban entre 12 y 46Kg de peso. (Ilustración 10).

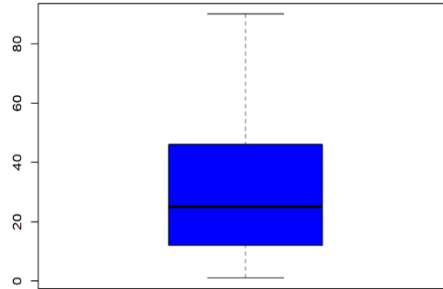


Ilustración 10 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (Peso)

CTDI vol en estudios de tomografía de abdomen-pelvis contrastada

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de abdomen contrastada fue de 13.4, 5.0, 7.6, 11.4 y 12.7 mGy para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 17).

Tabla 16 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (CTD Ivol)

| grupo4 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 6.40 | 2.9 | 3.70 | 6.40 | 13.400 | 18.6 |
| 2 | 3.90 | 2.4 | 3.40 | 3.90 | 5.050 | 14.6 |
| 3 | 6.45 | 3.6 | 5.40 | 6.45 | 7.600 | 15.2 |
| 4 | 9.05 | 5.4 | 6.85 | 9.05 | 11.475 | 19.2 |
| 5 | 10.60 | 5.8 | 9.50 | 10.60 | 12.700 | 20.7 |

DLP en estudios de tomografía de abdomen-pelvis contrastada

El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de abdomen contrastado fue de 277.6, 135.7, 256.4, 396 y 459.9 mGy*cm para los grupos etarios Menores de 1 año (1), 1- <5 años (2), 5 - <10 años (3), 10 - <15 años (4) y 15 - 18 años (5). (Tabla 18).

Tabla 17 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada (DLP)

| grupo4 | mediana1 | quantile1.0. | quantile1.25. | quantile1.50. | quantile1.75. | quantile1.100. |
|--------|----------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 184.30 | 82.1 | 85.100 | 184.30 | 277.600 | 385.8 |
| 2 | 104.40 | 78.1 | 92.575 | 104.40 | 135.700 | 360.0 |
| 3 | 190.05 | 118.6 | 153.725 | 190.05 | 256.475 | 553.1 |
| 4 | 327.50 | 161.8 | 277.750 | 327.50 | 396.075 | 757.5 |
| 5 | 372.00 | 248.7 | 342.100 | 372.00 | 459.950 | 902.9 |

5.3 Comparación con referencias internacionales y nacional

5.3.1 Tomografía de Cráneo

Posteriormente se realizó la comparación del resultado del Tercer cuartil de CTDI vol y DLP de cada Tipo de tomografía por grupo etario de la muestra institucional analizada con el tercer cuartil de CTDI vol y DLP de la referencia internacional (Tabla 19).

Tabla 18 Comparación tomografía de cráneo HOMI vs ACR

| TIPO DE ESTUDIO /GRUPO ETARIO | | | < 1 año | 1- < 2 años | 2 - <6 años | 6 - 18 años |
|-------------------------------|---------|------|---------|-------------|-------------|-------------|
| TOMOGRAFÍA DE CRANEO | CTDIvol | HOMI | 16 | 16 | 16 | 25 |
| | | ACR | 23 | 27 | 31 | 55 |
| | DLP | HOMI | 301 | 323 | 332 | 566 |
| | | ACR | 344 | 440 | 518 | 910 |

Adicionalmente se realiza comparación con otras publicaciones como la comisión europea y Hospital Pablo Tobón Uribe de Medellín, sin embargo, se tiene como limitaciones que en la referencia nacional fue reportado en términos de DLP y Dosis efectiva pero no fue reportado el CTDI vol y que utilizaron Grupos etarios diferentes por lo que hay que analizar con cuidado los resultados. (Tabla 20 y 21).

Tabla 19 Comparación tomografía de cráneo CTDI vol

| TOMOGRFÍA DE CRÁNEO CTDI vol mGy | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|-------------------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo Etario | EDRL |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 13 | 16 | 15 | 16 | 19 | 23 | 0-3 meses | 24 |
| | | | | | | | 3 Meses - < 1 año | 28 |
| 1- < 2 años | 13 | 16 | 15 | 16 | 22 | 27 | 1 - <6 años | 40 |
| 2 - <6 años | 15 | 25 | 15 | 16 | 25 | 31 | | |
| 6 - 18 años | 13 | 25 | 16 | 25 | 46 | 55 | > 6 años | 50 |

Tabla 20 Comparación tomografía de cráneo DLP

| TOMOGRFÍA DE CRÁNEO DLP mGy* cm | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|-------------------|----------------|----------------|---------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo Etario | EDRL | Grupo Etario | HPTU | |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil | | Mediana | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 195 | 376 | 284 | 301 | 267 | 344 | 0-3 meses | 300 | 1 mes - 3 años | 182 | 236.5 |
| | | | | | | | 3 Meses - < 1 año | 385 | | | |
| 1- < 2 años | 264 | 349 | 302 | 323 | 350 | 440 | 1 - <6 años | 505 | 3 - <6años | 244.5 | 263.75 |
| 2 - <6 años | 271 | 575 | 322 | 332 | 409 | 518 | | | | | |
| 6 - 18 años | 295 | 624 | 375 | 566 | 748 | 910 | > 6 años | 650 | 6 - <10 años | 301 | 342.75 |
| | | | | | | | | | 10 - <16 años | 414.5 | 514 |

5.3.2 Tomografía de Tórax

Para los estudios de Cuerpo, que incluyen Tomografía de Tórax y abdomen, se realizó la comparación del resultado del Tercer cuartil de CTDI vol y DLP de cada Tipo de tomografía por grupo etario de la muestra institucional analizada con el tercer cuartil de CTDI vol y DLP de la referencia internacional (Tabla 22).

Tabla 21 Comparación tomografía de tórax y abdomen-pelvis HOMI vs ACR

| TIPO DE ESTUDIO /GRUPO ETARIO | | | < 1 año | 1 - < 5años | 5 - < 10años | 10 - < 15 años | 15 - 18 años |
|--------------------------------|---------|------|---------|-------------|--------------|----------------|--------------|
| TOMOGRFÍA DE TÓRAX SIMPLE | CTDivol | HOMI | 6.5 | 4.9 | 7.2 | 11.2 | 17.9 |
| | | ACR | 1.7 | 2.2 | 2.5 | 4.1 | 7.4 |
| | DLP | HOMI | 99.0 | 110.0 | 148.0 | 268.1 | 428.0 |
| | | ACR | 27 | 49 | 70 | 128 | 257 |
| TOMOGRFÍA DE TÓRAX CONTRASTADO | CTDivol | HOMI | 6.0 | 5.8 | 6.9 | 11.6 | 17.1 |
| | | ACR | 1.4 | 1.8 | 2.3 | 4.6 | 8.8 |
| | DLP | HOMI | 99.0 | 110.0 | 148.0 | 268.1 | 428.0 |
| | | ACR | 31 | 58 | 95 | 272 | 596 |
| TOMOGRFÍA DE ABDOMEN | CTDivol | HOMI | 13.4 | 5.0 | 7.6 | 11.4 | 12.7 |
| | | ACR | 2.4 | 2.9 | 4.6 | 7.9 | 11.0 |
| | DLP | HOMI | 277.6 | 135.7 | 256.4 | 396.0 | 459.9 |
| | | ACR | 60 | 100 | 170 | 358 | 511 |

Al analizar los datos anteriormente descritos se encuentra que, en las tomografías de cuerpo, tanto el tercer cuartil de CTDI vol como DLP muestran valores mayores con respecto a la referencia.

Adicionalmente se realiza comparación con otras publicaciones como la Comisión Europea y Hospital Pablo Tobón Uribe de Medellín, sin embargo se tiene como limitaciones que en el caso de Tomografía de tórax no fueron subdivididos en estudio simple y contrastado, en la referencia nacional fue reportado en términos de DLP y Dosis efectiva pero no fue reportado el CTDI vol y que utilizaron Grupos etarios diferentes o incluso subdividieron los pacientes estudiados por peso en lugar de edad por lo que los resultados no son completamente comparables. (Tabla 23, 24, 25 y 26).

Tabla 22 Comparación tomografía de tórax simple CTDI vol

| TOMOGRAFÍA DE TÓRAX SIMPLE CTDI vol mGy | | | | | | | | |
|---|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 2.4 | 13.4 | 3.85 | 6.5 | 1.4 | 1.6 | < 5kg | 1.4 |
| 1- <5 años | 2.4 | 23.2 | 3.9 | 4.9 | 1.8 | 2.4 | 5 - <15kg | 1.8 |
| 5 - <10 años | 2.4 | 13.5 | 5.9 | 7.2 | 2.3 | 2.9 | 15 - <30kg | 2.7 |
| 10 - <15 años | 4.4 | 19.2 | 7.5 | 11.2 | 4.6 | 7.2 | 30 - <50kg | 3.7 |
| 15 - 18 años | 5.8 | 19.2 | 13.2 | 17.9 | 8.8 | 14 | 50 - 80kg | 5.4 |

Tabla 23 Comparación tomografía de tórax simple DLP

| TOMOGRAFÍA DE TÓRAX SIMPLE DLP mGy* cm | | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|----------------|----------------|---------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL | Grupo Etario | HPTU | |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil | | Mediana | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 39.2 | 230.2 | 56.7 | 99 | 22 | 27 | < 5kg | 35 | | | |
| 1- <5 años | 53.4 | 566.4 | 73.6 | 110 | 35 | 49 | 5 - <15kg | 50 | 1 mes - 3 años | 10.5 | 20.25 |
| 5 - <10 años | 52 | 325.4 | 119.5 | 148 | 57 | 70 | 15 - <30kg | 70 | 3 - <6años | 10.5 | 22 |
| 10 - <15 años | 93.7 | 477.8 | 178 | 268 | 107 | 128 | 30 - <50kg | 115 | 6 - <10 años | 27.5 | 60 |
| 15 - 18 años | 138.5 | 516.7 | 309.3 | 428 | 202 | 257 | 50 - 80kg | 200 | 10 - <16 años | 182 | 268 |

5.3.3 Tomografía de Tórax contrastada

Tabla 24 Comparación tomografía de tórax contrastada CTDI vol

| TOMOGRAFÍA DE TÓRAX CONTRASTADA CTDI vol mGy | | | | | | | | |
|--|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 2.4 | 13.4 | 4.8 | 6.0 | 1.4 | 1.6 | < 5kg | 1.4 |
| 1- <5 años | 2.4 | 16 | 4.1 | 5.8 | 1.8 | 2.4 | 5 - <15kg | 1.8 |
| 5 - <10 años | 2.9 | 13 | 6.3 | 6.9 | 2.3 | 2.9 | 15 - <30kg | 2.7 |
| 10 - <15 años | 3.9 | 27 | 9.4 | 11.6 | 4.6 | 7.2 | 30 - <50kg | 3.7 |
| 15 - 18 años | 7.4 | 35.2 | 12.85 | 17.1 | 8.8 | 14 | 50 - 80kg | 5.4 |

Tabla 25 Comparación tomografía de tórax contrastada DLP

| TOMOGRAFÍA DE TÓRAX CONTRASTADA DLP mGy* cm | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|------|----------------|---------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL | Grupo Etario | HPTU | |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | | | Mediana | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 34.5 | 186.2 | 78.6 | 99 | 23 | 31 | < 5kg | 35 | 1 mes - 3 años | 10.5 | 20.25 |
| 1- <5 años | 45.3 | 306.0 | 76.9 | 110 | 43 | 58 | 5 - <15kg | 50 | | | |
| 5 - <10 años | 62 | 353.5 | 122.4 | 148 | 64 | 95 | 15 - <30kg | 70 | 3 - <6años | 10.5 | 22 |
| | | | | | | | | | 6 - <10 años | 27.5 | 60 |
| 10 - <15 años | 90.1 | 643.0 | 241.9 | 324.5 | 146 | 272 | 30 - <50kg | 115 | 10 - <16 años | 182 | 268 |
| 15 - 18 años | 224.8 | 736.4 | 349.0 | 428.5 | 364 | 596 | 50 - 80kg | 200 | | | |

5.3.4 Tomografía de abdomen contrastada

Se realiza además la comparación con las publicaciones internacionales de la Comisión Europea y Hospital Pablo Tobón Uribe de Medellín, sin embargo, se tiene como limitación que en la referencia nacional fue reportado en términos de DLP y Dosis efectiva pero no fue reportado el CTDI vol y que utilizaron Grupos etarios diferentes o incluso subdividieron los pacientes estudiados por peso en lugar de edad por lo que los resultados no son completamente comparables. (Tabla 27 y 28)

Tabla 26 Comparación tomografía de abdomen-pelvis contrastada CTDI vol

| TOMOGRAFÍA DE ABDOMEN CONTRASTADA CTDI vol mGy | | | | | | | | |
|--|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 2.9 | 18.6 | 6.4 | 13.4 | 1.8 | 2.4 | < 5kg | |
| 1- <5 años | 2.4 | 14.6 | 3.9 | 5.0 | 2.4 | 2.9 | 5 - <15kg | 3.5 |
| 5 - <10 años | 3.6 | 15.2 | 6.4 | 7.6 | 3.3 | 4.6 | 15 - <30kg | 5.4 |
| 10 - <15 años | 5.4 | 19.2 | 9.0 | 11.4 | 6.2 | 7.9 | 30 - <50kg | 7.3 |
| 15 - 18 años | 5.8 | 20.7 | 10.6 | 12.7 | 8.3 | 11.0 | 50 - 80kg | 13.0 |

Tabla 27 Comparación tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP

| TOMOGRAFÍA DE ABDOMEN CONTRASTADA DLP mGy* cm | | | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|---------|----------------|---------|----------------|---------------|------|----------------|---------|----------------|
| Grupo Etario | HOMI | | | | ACR | | Grupo de peso | EDRL | Grupo Etario | HPTU | |
| | Mínimo | Máximo | Mediana | Tercer cuartil | Mediana | Tercer cuartil | | | | Mediana | Tercer cuartil |
| Menores de 1 año | 82.1 | 385.8 | 184.3 | 277.6 | 49 | 60 | < 5kg | 45 | 1 mes - 3 años | 32.5 | 50.2 |
| 1- <5 años | 78.1 | 360.0 | 104.4 | 135.7 | 79 | 100 | 5 - <15kg | 120 | | | |
| 5 - <10 años | 118.6 | 553.1 | 190.0 | 256.4 | 126 | 170 | 15 - <30kg | 150 | 3 - <6años | 51.0 | 66 |
| | | | | | | | | | 6 - <10 años | 78.5 | 129 |
| 10 - <15 años | 161.8 | 757.5 | 327.5 | 396.0 | 276 | 358 | 30 - <50kg | 210 | 10 - <16 años | 404 | 609 |
| 15 - 18 años | 248.7 | 902.9 | 372.0 | 459.9 | 402 | 511 | 50 - 80kg | 480 | | | |

6. Discusión

6.1 Tomografía de Cráneo

En Tomografía de Cráneo se evidencia que en 98% de los casos evaluados el CTDI vol usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del American College of Radiology. (Kanal et al. 2022) (Tabla 29 e ilustración 11).

Tabla 28 Tomografía de cráneo CTDI vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | CTDIvol | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | 28 | 0 | 28 |
| 1- <2 años | 9 | 0 | 9 |
| 2 - <6 años | 27 | 3 | 30 |
| 6 - 18 años | 83 | 0 | 83 |
| Total general | 147 | 3 | 150 |
| Porcentaje | 98,0 | 2,0 | |

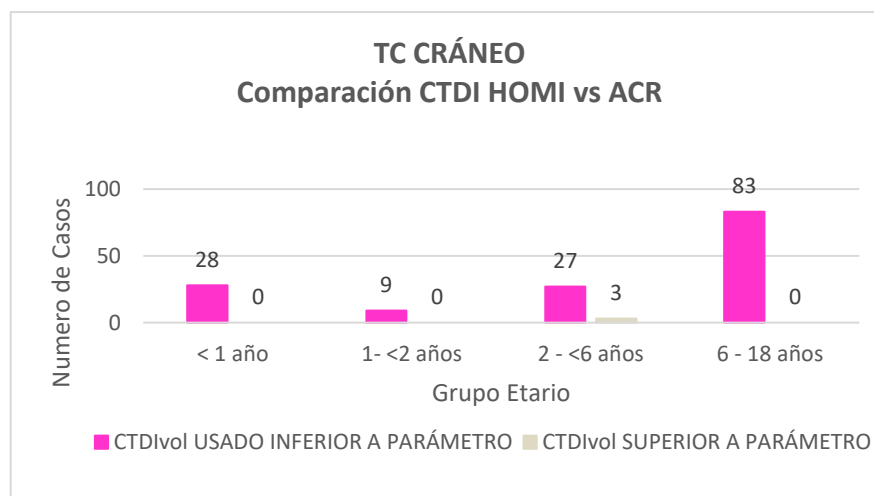


Ilustración 11 Tomografía de cráneo CTDI vol HOMI vs ACR

En el Tomografía de Cráneo se evidencia que en 76% de los casos evaluados el DLP usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del American College of Radiology. (Tabla 30 e ilustración 12).

Tabla 29 Tomografía de cráneo DLP HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | DLP | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | 22 | 6 | 28 |
| 1- <2 años | 7 | 2 | 9 |
| 2 - <6 años | 23 | 7 | 30 |
| 6 - 18 años | 62 | 21 | 83 |
| Total general | 114 | 36 | 150 |
| Porcentaje | 76,0 | 24,0 | |

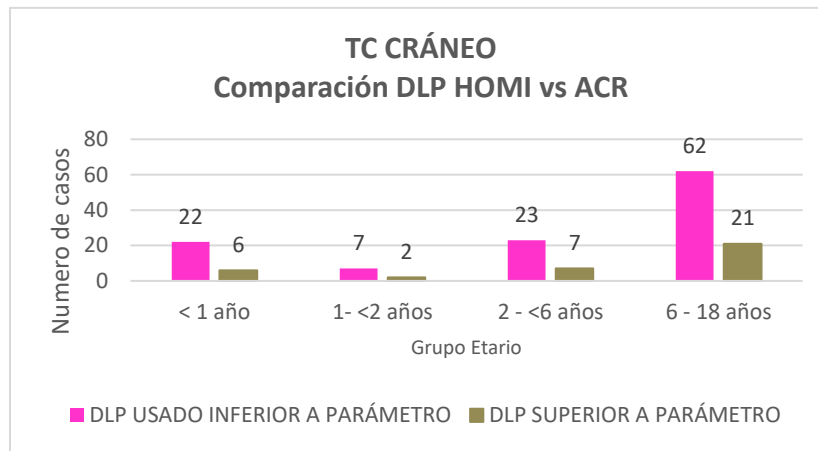


Ilustración 12 Tomografía de cráneo DLP HOMI vs ACR

Teniendo en cuenta los resultados encontrados se calculó el número de veces que el CTDI vol y el DLP se encuentran por encima del valor del tercer cuartil de referencia (Tabla 31).

La Tomografía de cráneo es el grupo estudiado que presenta una menor desviación con respecto a los parámetros internacionales, siendo menor de 1 en todos los grupos etarios.

Tabla 30 Desviación de Tomografías de cráneo

| TIPO DE ESTUDIO /GRUPO ETARIO | | < 1 año | 1- < 2 años | 2 - <6 años | 6 - 18 años |
|-------------------------------|----------|---------|-------------|-------------|-------------|
| TOMOGRAFÍA DE CRÁNEO | CTDI vol | 0,7 | 0,58 | 0,52 | 0,45 |
| | DLP | 0,88 | 0,73 | 0,64 | 0,62 |

Al tabular la información de las tomografías de cráneo incluidas en el estudio encontramos que el tercer cuartil tanto del CTDI vol como del DLP está por debajo del valor del tercer cuartil de referencia, esto se da porque se encuentran valores muy por debajo del estándar de referencia en un número considerable de casos, en especial en los mayores de 6 años que es el grupo etario donde se concentra la mayor parte de la muestra.

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 15.4 mGy y el promedio de 9.5 mGy, que corresponde a la dosis alcanzable. El tercer cuartil del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de cráneo fue de 525.3 mGy*cm y el promedio de 329.2mGy*cm, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 195.3 y 711 mGy*cm. (Ilustración 13)

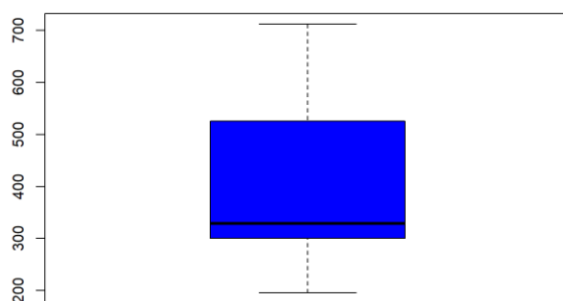


Ilustración 13 Tomografía de cráneo DLP

6.2 Tomografía de tórax simple

En Tomografía de tórax simple se encontró que sólo en el 4% de los casos evaluados el CTDI vol usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del American College of Radiology. (Tabla 32 e ilustración 14).

Tabla 31 Tomografía de tórax simple CTDI vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | CTDIvol | | TOTAL |
|----------------------------------|------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | | 30 | 30 |
| 1 - < 5años | | 30 | 30 |
| 10 - < 15 años | | 30 | 30 |
| 15 - 18 años | 5 | 25 | 30 |
| 5 - < 10años | 1 | 29 | 30 |
| Total general | 6 | 144 | 150 |
| Porcentaje | 4,0 | 96,0 | |

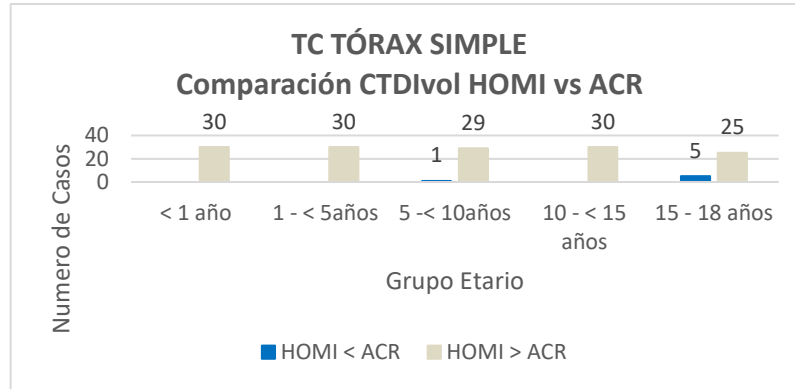


Ilustración 14 Tomografía de tórax simple DLP HOMI vs ACR

De igual forma, en Tomografía de tórax simple se evidencia que sólo en 12.7% de los casos evaluados el DLP usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del colegio americano de radiología. (Tabla 33 e Ilustración 16).

Tabla 32 Tomografía de tórax simple DLP vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | DLP | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | | 30 | 30 |
| 1 - < 5 años | | 30 | 30 |
| 10 - < 15 años | 7 | 23 | 30 |
| 15 - 18 años | 9 | 21 | 30 |
| 5 - < 10 años | 3 | 27 | 30 |
| Total general | 19 | 131 | 150 |
| Porcentaje | 12,7 | 87,3 | |

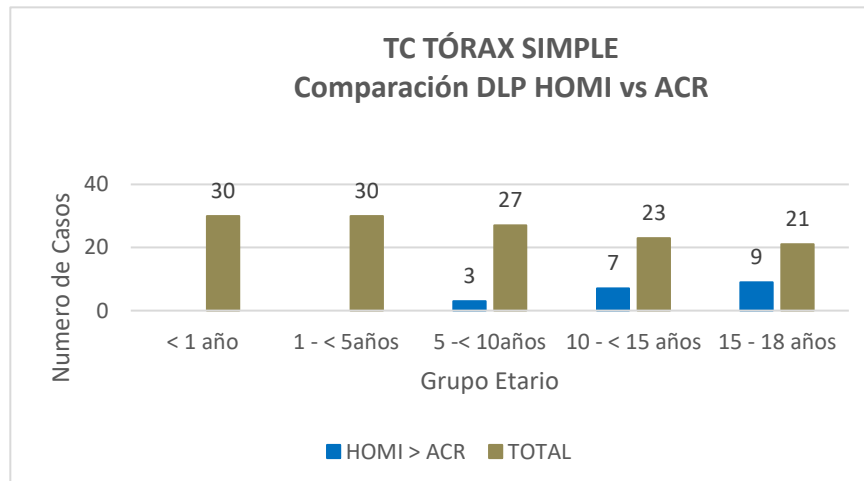


Ilustración 15 Tomografía de tórax simple DLP HOMI vs ACR

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de tórax simple fue de 10.6mGy y el promedio de 6.4 mGy, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 2.4 y 23.2 mGy. El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de tórax simple fue de 230.5 mGy*cm y el promedio de 126.4 mGy*cm, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 39.2 y 566 mGy*cm, con valores extremos representados en la gráfica. (Ilustración 16).

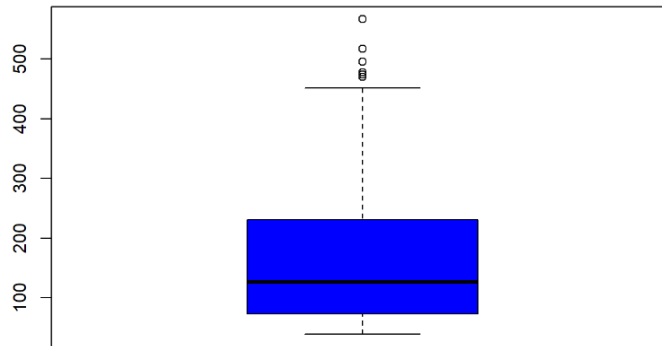


Ilustración 16 Tomografía de tórax simple DLP

6.3 Tomografía de tórax contrastada

En Tomografía de tórax contrastada, de forma similar al estudio simple, se encontró que sólo en el 2% de los casos evaluados el CTDI vol usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del colegio americano de radiología. (Tabla 34 e Ilustración 17).

Tabla 33 Tomografía de tórax contrastada CTDI vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | CTDIvol | | TOTAL |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | | 30 | 30 |
| 1 - < 5años | | 30 | 30 |
| 10 - < 15 años | 1 | 29 | 30 |
| 15 - 18 años | 2 | 28 | 30 |
| 5 - < 10años | | 30 | 30 |
| Total general | 3 | 147 | 150 |
| Porcentaje | 2,0 | 98,0 | |

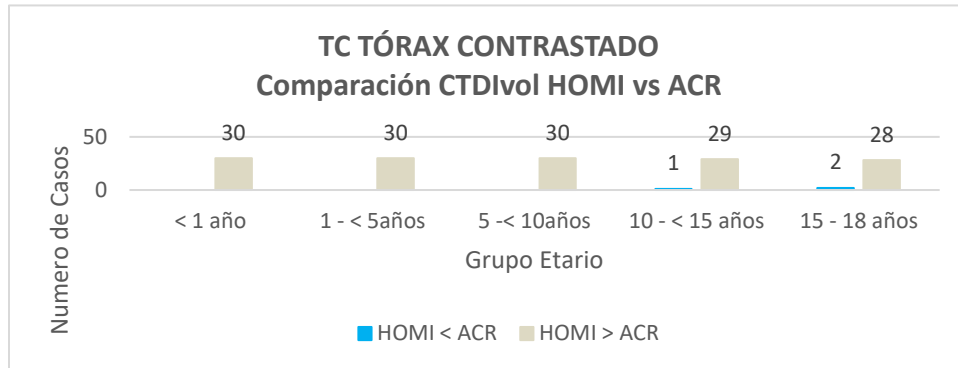


Ilustración 17 Tomografía de tórax contrastada DLP HOMI vs ACR

Al analizar el DLP usado para la realización de Tomografía de tórax contrastada se evidencia que en el 38% de los casos evaluados estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del American College of Radiology. Esta variación con respecto al estudio simple pudiera explicarse por diferencias en la longitud de la adquisición del estudio que impactan el cálculo del DLP.

Tabla 34 Tomografía de tórax contrastada DLP vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | DLP | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | 1 | 29 | 30 |
| 1 - < 5 años | 5 | 25 | 30 |
| 10 - < 15 años | 15 | 15 | 30 |
| 15 - 18 años | 28 | 2 | 30 |
| 5 - < 10 años | 8 | 22 | 30 |
| Total general | 57 | 93 | 150 |
| Porcentaje | 38,0 | 62,0 | |

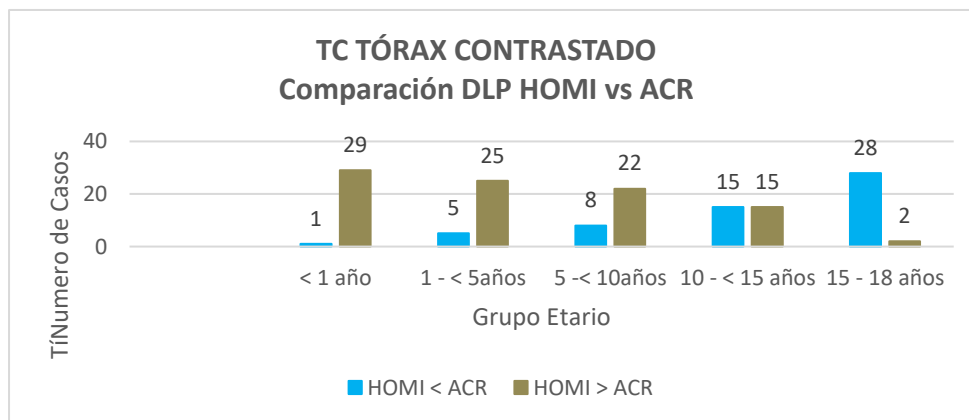
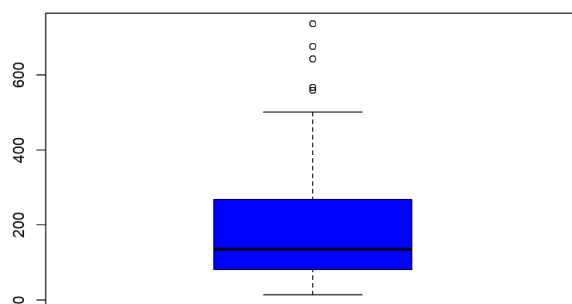


Ilustración 18 Tomografía de tórax contrastada DLP HOMI vs ACR

El tercer cuartil de CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de tórax contrastada fue de 15.4mGy y el promedio 9.5 mGy, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 2.4 y 35,2 mGy

El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de tórax contratada fue de 267.8mGy*cm y el promedio de 134.6 mGy*cm, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 34.5 y 736.4 mGy*cm. Al igual que en tomografía de tórax simple también se aprecian valores extremos, representados con puntos en la gráfica. (Ilustración 19)

Ilustración 19 Tomografía de tórax contrastada DLP



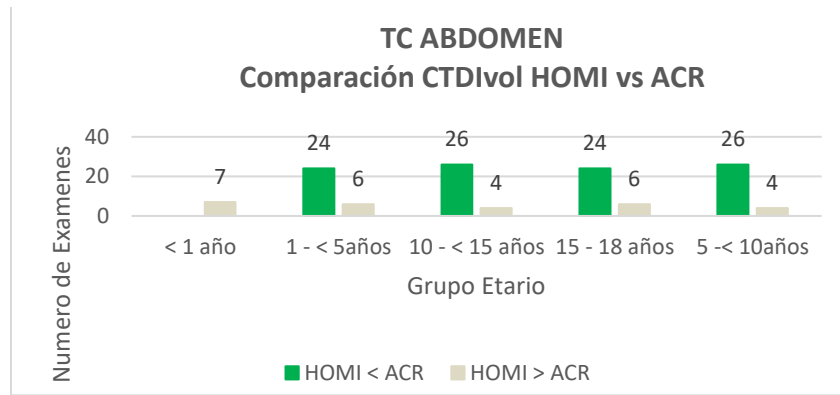
6.4 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada

En Tomografía de abdomen se evidencia que en 78,7% de los casos evaluados el CTDI vol usado para la realización del examen estaba por debajo o era igual al tercer cuartil del colegio americano de radiología, pero ese 21.3% de estudios en donde se sobrepasa la dosis ocasiona una desviación de los resultados generales. (Tabla 36 e Ilustración 20).

Tabla 35 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada CTDI vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | CTDIvol | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | | 7 | 7 |
| 1 - < 5años | 24 | 6 | 30 |
| 10 - < 15 años | 26 | 4 | 30 |
| 15 - 18 años | 24 | 6 | 30 |
| 5 - < 10años | 26 | 4 | 30 |
| Total general | 100 | 27 | 127 |
| Porcentaje | 78,7 | 21,3 | |

Ilustración 20 Tomografía de abdomen contrastada CTDI vol HOMI vs ACR



En Tomografía de abdomen-pelvis contrastada se evidencia que el 71.7% de los casos evaluados el DLP usado para la realización de examen estaba por debajo o era igual al estándar del tercer cuartil del colegio americano de radiología. (Tabla 37 e Ilustración 21).

Tabla 36 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP vol HOMI vs ACR

| GRUPO ETARIO/ COMPARACIÓN ACR | DLP | | TOTAL |
|----------------------------------|-------------|-------------|------------|
| | HOMI ≤ ACR | HOMI > ACR | |
| < 1 año | | 7 | 7 |
| 1 - < 5 años | 24 | 6 | 30 |
| 10 - < 15 años | 23 | 7 | 30 |
| 15 - 18 años | 21 | 9 | 30 |
| 5 - < 10 años | 23 | 7 | 30 |
| Total general | 91 | 36 | 127 |
| Porcentaje | 71,7 | 28,3 | |

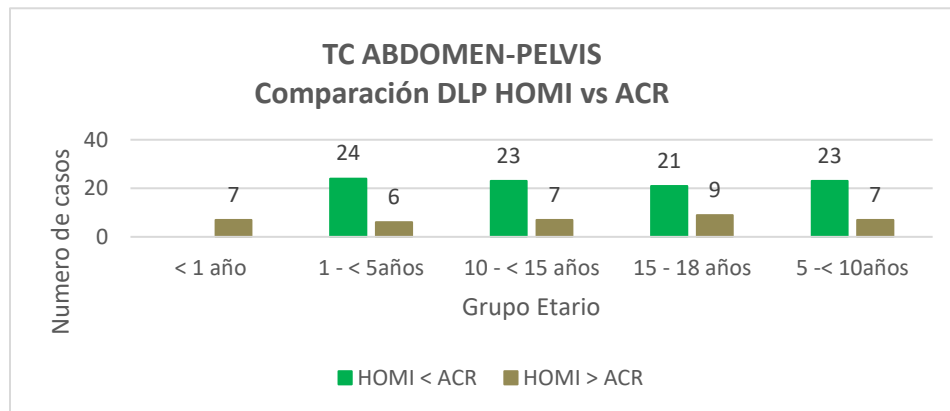
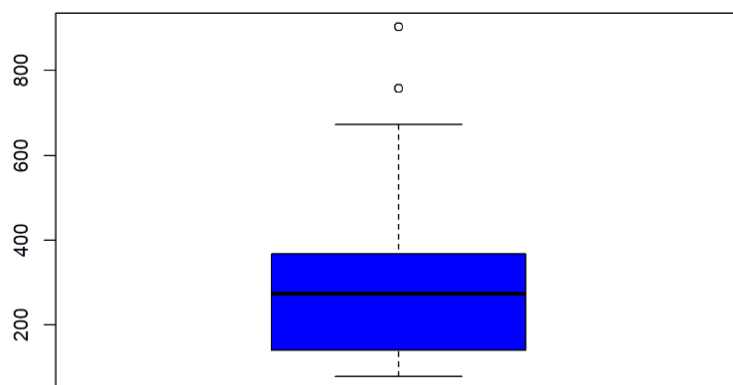


Ilustración 21 Tomografía de abdomen-pelvis contrastada DLP HOMI vs ACR

El tercer cuartil de del CTDI vol de los pacientes estudiados en tomografía de abdomen contrastada fue de 10.6 mGy y el promedio de 7.4 mGy, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 2.4 y 20.7 mGy. El tercer cuartil de del DLP de los pacientes estudiados en tomografía de abdomen contrastada fue de 367 mGy*cm y el promedio de 273.2 mGy*cm, que corresponde a la dosis alcanzable, con un rango entre 78.1 y 902 mGy*cm. (Ilustración 22).

Ilustración 22 Tomografía de tórax contrastada DLP



Por otra parte aunque no se recomienda evaluar valores de CTDI vol y DLP de casos aislados versus comparación de valores de referencia, se quiso evaluar el porcentaje de casos en que los valores encontrados en el estudio son menores o iguales al valor de referencia con el objeto de evaluar el porcentaje de población que presentó sobre exposición y determinar si las desviaciones consolidadas del tercer cuartil de los pacientes estudiados estaba dado por valores aislados atípicos o si estaban dadas por un patrón uniforme de dosis altas. Debe tenerse en cuenta que existen valores atípicos que superan el estándar hasta 7.5 veces por encima el valor de referencia lo que afecta el valor final tabulado.

Al analizar los datos anteriormente descritos de los estudios de cuerpo se encuentra que para las Tomografías de tórax (simple y contrastada) y abdomen tanto el tercer cuartil de CTDI vol como DLP demuestran valores mayores con respecto a la referencia, encontrando mayores discrepancias a menor edad de los pacientes, sin embargo, con datos aislados como se muestra en los puntos de la ilustración 22.

Para profundizar, se decidió realizar un análisis de cada uno de los exámenes por grupo etario y se calculó el número de veces que el CTDI vol y el DLP se encuentran por encima del valor del tercer cuartil de referencia y compararlo encontrando que únicamente en el

grupo etario de 15 a 18 años el DLP para tomografía de tórax contrastada y tomografía de abdomen contrastada se encuentran por debajo de la unidad, siendo crítico en el grupo etario de menores de 1 año en donde en los 3 tipos de estudios se encuentran más de 3 veces por encima de la referencia (Tabla 38).

Tabla 37 Número de veces que el CTDI vol y DLP se encuentran por encima del nivel de referencia

| TIPO DE ESTUDIO /GRUPO ETARIO | | < 1 año | 1 - < 5años | 5 -< 10años | 10 - < 15 años | 15 - 18 años |
|--------------------------------|---------|---------|-------------|-------------|----------------|--------------|
| TOMOGRFÍA DE TÓRAX SIMPLE | CTDIvol | 3,94 | 2,32 | 2,95 | 2,77 | 2,43 |
| | DLP | 3,31 | 1,99 | 2,1 | 2,09 | 1,68 |
| TOMOGRFÍA DE TÓRAX CONTRASTADO | CTDIvol | 4,41 | 3,28 | 3,87 | 2,55 | 1,97 |
| | DLP | 3,31 | 1,93 | 1,66 | 1,38 | 0,73 |
| TOMOGRFÍA DE ABDOMEN | CTDIvol | 7,5 | 1,82 | 1,67 | 1,46 | 1,16 |
| | DLP | 6,03 | 1,4 | 1,54 | 1,13 | 0,91 |

El grupo que presenta la mayor diferencia corresponde a las tomografías de abdomen en menores de 1 año, sin embargo, debe tenerse en cuenta que la muestra obtenida fueron sólo 7 pacientes ya que son pocos los estudios realizados y de estos la mayoría no cumplían con los criterios de inclusión. Lo anterior también explica porque los valores del grupo etario de 1 - <5años son ligeramente inferiores a los < de 1 año, ya que al ser una muestra más pequeña los valores extremos lo afectan (Tabla 39).

Tabla 38 Tomografías de abdomen en menores de 1 año

| CASO | GRUPO ETAREO | EDAD (Meses) | Sexo F / M | Peso Kg | CTDI vol mGy Total | DLP mGy* cm total | Phantom (16 o 32) | Espesor del corte mm | Tiempo de rotación seg | Diámetro AP mm | Diámetro Lat mm | Calidad 1/2/3 |
|------|--------------|--------------|------------|---------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------------|------------------------|----------------|-----------------|---------------|
| 3 | < 1 año | 4 | M | 5.2 | 18 | 361.6 | 16 | 3 | 29.96 | 98 | 155 | 2 |
| 4 | < 1 año | 3 | M | 5.9 | 18.6 | 385.8 | 16 | 3 | 21.44 | 126 | 166 | 1 |
| 1 | < 1 año | 10 | F | 6.0 | 3.4 | 82.1 | 32 | 5 | 17.7 | 122 | 153 | 1 |
| 5 | < 1 año | 8 | M | 6.2 | 8.8 | 193.6 | 32 | 3 | 23.26 | 121 | 160 | 1 |
| 6 | < 1 año | 9 | F | 6.5 | 4 | 87.2 | 32 | 5 | 12.46 | 126 | 158 | 2 |
| 7 | < 1 año | 11 | M | 8.5 | 6.4 | 184.3 | 32 | 5 | 15.01 | 155 | 191 | 2 |
| 2 | < 1 año | 10 | M | 9.5 | 2.9 | 83 | 32 | 3 | 18.89 | 126 | 173 | 1 |

Al analizar de forma individual los casos que presentaron sobreexposición (señalados con sombreado gris) se encontró que en ambos fue seleccionado el fantoma de 16cm en lugar de 32cm, con un CTDI vol de 18 mGy y 18,6 mGy y DLP de 361.6 mGy*cm y 385.6 mGy*cm (ilustración 23 y 24).

Ilustración 23 Paciente masculino de 4 meses en postoperatorio de pancreatomectomía. Posible infección

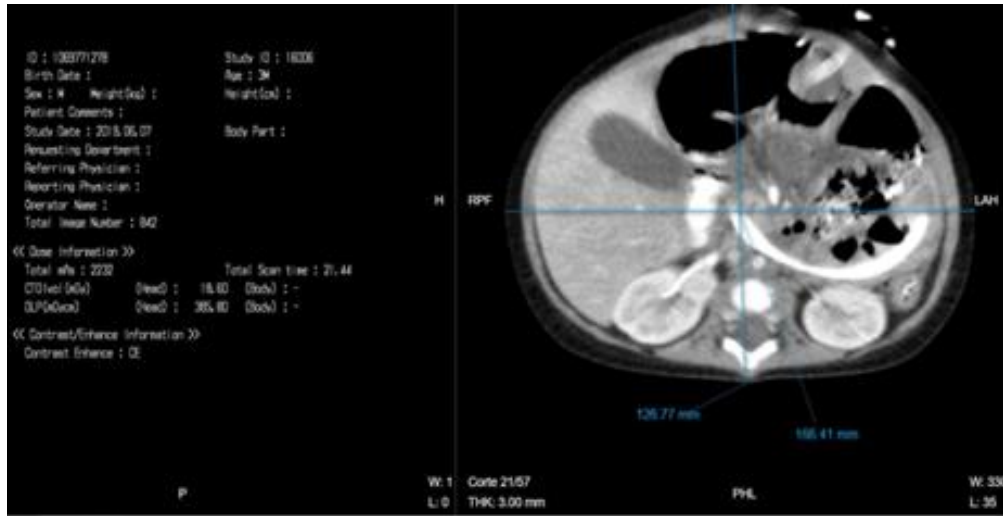
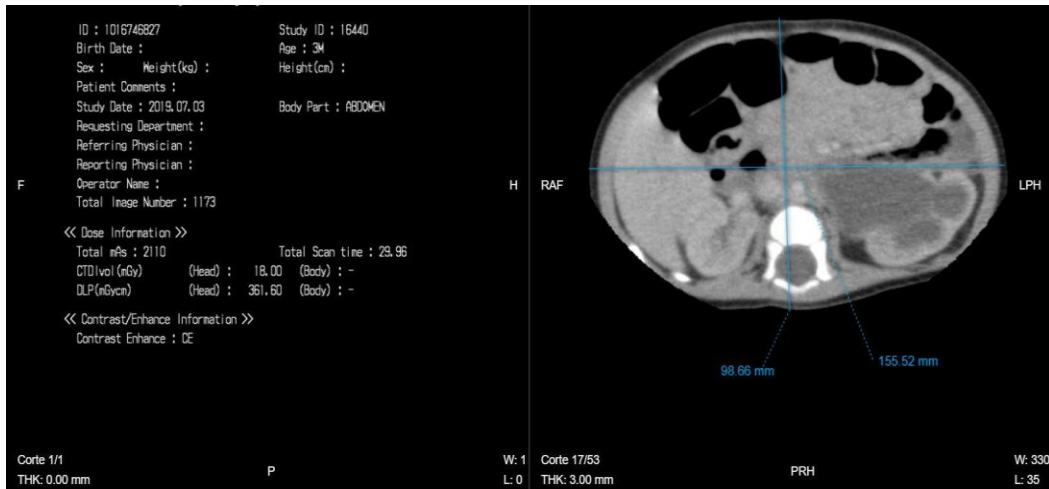


Ilustración 24 Paciente masculino de 3 meses. Estudio de dilatación del tracto urinario. Adquisición portal tardía

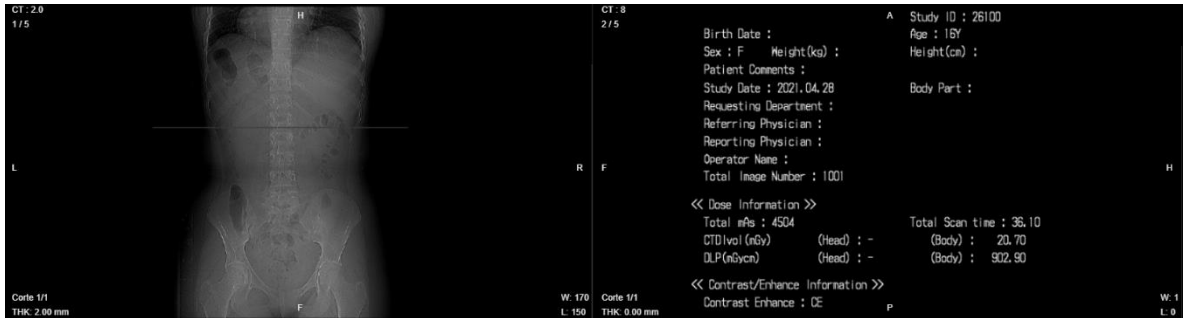


Teniendo en cuenta la discrepancia en los resultados encontrados en los estudios de abdomen se calculó el número de veces que el CTDI vol y el DLP se encuentran por encima del valor del tercer cuartil de referencia, siendo 7.5 veces y 6 veces mayor que la referencia para el grupo etario de < 1 año, 1.8 y 1.6 veces mayor en el grupo de 1 - <5 años, 1.6 y 1.5 veces mayor para el grupo de 5 - <10 años, 1.4 y 1.1 veces mayor en el grupo de 10 - <15 años y 1.1 a 0.9 veces mayor en el grupo de 15 a 18 años respectivamente (Tabla 36).

En tomografía de abdomen contrastada del Grupo etario 5 que corresponde a pacientes entre 15 y 18 años, se encontró un valor aislado de DLP de una paciente femenina de 16 años, 63kg de peso, con un diámetro efectivo de 26. Sus datos antropométricos no fueron

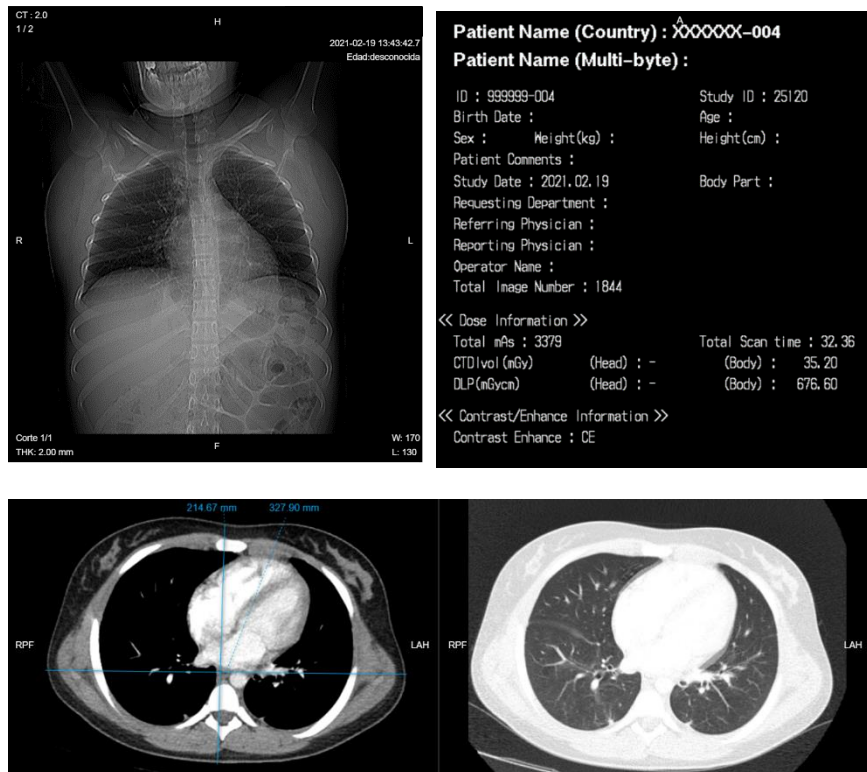
registrados al momento de la adquisición del estudio. Teniendo en cuenta que los valores promedio de peso reportados en la literatura en el Grupo etario de > 15 años corresponde a 40.5 a 95.7 y los diámetros efectivos entre 24 y 27cm, la paciente se encuentra dentro de lo esperado para su edad (Ilustración 25).

Ilustración 25 Tomografía de abdomen de paciente femenina de 16 años



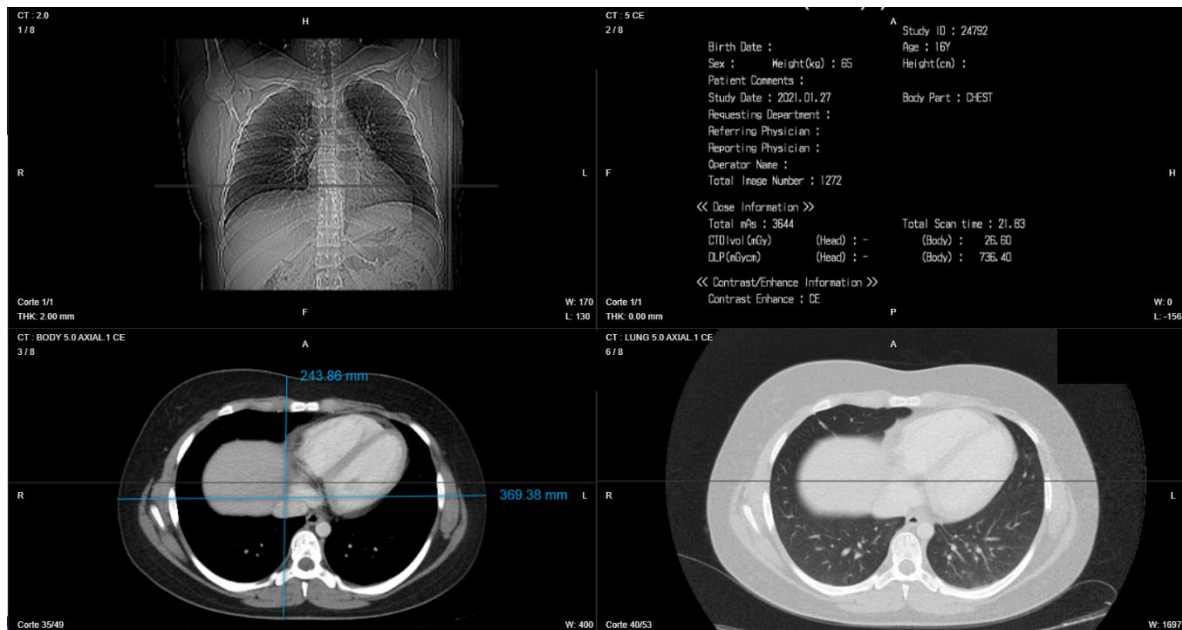
En tomografía de tórax contrastada se encontró como dato aislado un CTDI vol de 35.2mGy que corresponde a una paciente femenina de 17 años y 3 meses, 68 kg con un diámetro efectivo de 26,4cm. Sus datos antropométricos no fueron registrados al momento de la adquisición del estudio. Teniendo en cuenta que los valores promedio de peso reportados en la literatura en el Grupo etario de > 15 años corresponde a 40.5 a 95.7 y los diámetros efectivos entre 24 y 27 cm, la paciente se encuentra dentro de lo esperado para su edad (Ilustración 26).

Ilustración 26 Tomografía de tórax contrastada de paciente femenina de 17 años



En tomografía de tórax contrastada se encontró también un valor aislado de DLP de 736.4 mGy*cm que corresponde a una paciente femenina de 16 años, 83kg de peso, con un diámetro efectivo de 29,9cm. Sus datos antropométricos no fueron registrados al momento de la adquisición del estudio. Teniendo en cuenta que los valores promedio de peso reportados en la literatura en el Grupo etario de > 15 años corresponde a 40.5 a 95.7 y los diámetros efectivos entre 24 y 27cm, la paciente se encuentra dentro de lo esperado para su edad (Ilustración 27).

Ilustración 27 Tomografía de tórax contrastada de paciente femenina de 16 años



6.5 Limitaciones

La Comisión Europea de Protección Radiológica N° 185 en sus Directrices europeas de diagnóstico en Niveles de referencia para imágenes pediátricas y en la Sección 8 menciona: “Debido a la cantidad generalmente grande de datos necesarios y la gran cantidad de errores potenciales cuando se van a recopilar estos datos durante la práctica rutinaria, se recomienda la recopilación automática de datos siempre que sea posible”. Sin embargo, el Sistema de datos de Radiología RIS - PACS del Hospital de referencia no dispone de una base de datos automatizada para recopilar la información, adicionalmente tanto el Sistema de Historia clínica (sistema de información hospitalaria o HIS por sus siglas en inglés (Hospital Information System) como el Sistema de almacenamiento de imágenes médicas en radiología PACS (Sistema de archivo y comunicación de imágenes de “picture archiving and communication system”) y RIS (Sistema de información en Radiología), han cambiado en el último quinquenio. Por lo tanto, la recopilación de los datos tuvo que realizarse de forma manual hasta que un sistema RIS-PACS y HIS sea estable y consistente en el tiempo en la institución y los sistemas automáticos estén disponibles.

Al no disponer de una Base de datos estandarizada con los registros de las tomografías realizadas en la institución, existe sesgo de selección dado que la muestra fue seleccionada sin seguir un orden o aleatorización sino por conveniencia. Adicionalmente algunos estudios no estaban disponibles para consulta por actualizaciones en el Sistema de registro de información de radiología en el momento del desarrollo del estudio.

Adicionalmente, no es frecuente que en los servicios de radiología exista la cultura de registro de información y adecuado soporte documental, donde se consignen los datos relevantes para ajustar los protocolos de atención (como peso y talla), o en otros casos la dosis de radiación que se utiliza en pacientes de similares características antropométricas no es constante. En otros casos se mide, pero no se registra en el Sistema de Información

de Radiología RIS-PACS, o no se plasma en la Historia Clínica electrónica de cada paciente. Por otra parte, se sabe que se repiten estudios sin tener un control adecuado, en muchos casos no se miden los estudios devueltos y sus causas, o existe subregistro de esta información

Limitaciones en la obtención de la muestra:

No fue posible completar la muestra de Tomografía de abdomen-pelvis contrastado para el Grupo etario de menores de 1 año.

En el primer cuatrimestre del año 2022 no se registraron tomografías de abdomen-pelvis en menores de 1 año.

De la base de datos de tomografías realizadas en 2021, se encontraron 7 pacientes menores de 1 a los cuales se les realizó Tomografía de abdomen-pelvis, de los cuales 5 correspondían a Tomografía Toracoabdominal por lo que fueron excluidas. Se incluyeron 2 pacientes que si cumplían con los criterios de inclusión (Tabla 40).

Tabla 39 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2021

| Número de ac | Nume | EDAD | edad | fecha de nacimiento | documento |
|--------------|------|----------|--------------------|---------------------|------------|
| HOMI250271 | | | 0.16666666666667 | 2021-05-15 | 1222139429 |
| HOMI283542 | | | 0.66666666666667 | 2021-04-14 | 1023988332 |
| HOMI251814 | | | 0.5 | 2021-01-27 | 1049663255 |
| HOMI282582 | 2 | 10 Meses | 0.83333333333333 | 2021-01-19 | 1020009949 |
| HOMI261836 | 1 | 10 meses | 0.83333333333333 | 2020-11-11 | 1140939989 |
| HOMI260395 | | | 0.91666666666667 | 2020-09-11 | 1069773362 |
| HOMI282113 | | | 1.25 | 2020-09-11 | 1069773362 |
| HOMI267907 | 1 | AÑO | 11.666.666.666.667 | 2020-07-14 | 1031856430 |

Para el año 2020, se encontraron 14 pacientes menores de 1 año a los cuales se les realizó Tomografía de abdomen, de los cuales 7 correspondían a Tomografía Toracoabdominal por lo que fueron excluidas. Se encontró como limitación la no disponibilidad de 7 de los estudios consultados (Tabla 41).

Tabla 40 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2020

| número de a | EDAD | fecha de nacimiento | documento | fecha de la cita |
|-------------|----------|---------------------|------------|------------------|
| HOMI148171 | 0 | 1/05/2016 | 1016101908 | 3/01/2020 7:00 |
| HOMI160596 | 0.25 | 20/01/2020 | 1028674861 | 1/03/2020 16:17 |
| HOMI160693 | 0.25 | 19/05/2020 | 1011259010 | 2/03/2020 7:14 |
| HOMI160702 | 0.25 | 9/07/2020 | 161131197 | 2/03/2020 8:11 |
| HOMI160840 | 1 AÑO | 13/03/2018 | 1145932566 | 2/03/2020 15:26 |
| HOMI161247 | 0.25 | 8/10/2016 | 1028671970 | 4/03/2020 7:49 |
| HOMI161673 | 0.25 | 1/02/2017 | 1141526443 | 6/03/2020 7:06 |
| HOMI161694 | 0.333333 | 12/10/2018 | 1076748436 | 6/03/2020 8:06 |
| HOMI162257 | 0.416666 | 3/12/2016 | 1222214594 | 9/03/2020 7:13 |
| HOMI162339 | 0.416666 | 6/01/2016 | 1021690226 | 9/03/2020 11:26 |
| HOMI162762 | 0.416666 | 14/06/2017 | 1072111982 | 11/03/2020 7:08 |
| HOMI162921 | 0.416666 | 24/05/2020 | 1076749357 | 11/03/2020 17:30 |
| HOMI163523 | 11 MESES | 6/11/2019 | 1016967924 | 14/03/2020 6:35 |
| HOMI164111 | 0.833333 | 26/06/2020 | 159775704 | 17/03/2020 9:12 |

Para el año 2019, se encontraron 11 pacientes menores de 1 a los cuales se les realizó Tomografía de abdomen-pelvis, de los cuales 5 correspondían a Tomografía Toracoabdominal por lo que fueron excluidas. Se encontró como limitación la no disponibilidad de 2 de los estudios consultados. Se incluyeron 5 pacientes que si cumplían con los criterios de inclusión (Tabla 42).

Tabla 41 Pacientes menores de 1 año de Tomografías de abdomen año 2019

| número de a | edad | fecha de nacimiento | documento | fecha de la cita |
|-------------|--------------------|---------------------|------------|------------------|
| HOMI121822 | 0.0833333333333333 | 7/07/2019 | 1013696271 | 17/08/2019 12:41 |
| HOMI130737 | 0.166666666666667 | 24/07/2019 | 1029154761 | 2/10/2019 7:11 |
| HOMI107482 | 0.25 | 27/02/2019 | 1069771278 | 7/06/2019 17:18 |
| HOMI112340 | 0.333333333333333 | 23/02/2019 | 1016746827 | 2/07/2019 16:05 |
| HOMI99739 | 0.416666666666667 | 8/11/2018 | 1029297499 | 3/05/2019 7:10 |
| HOMI100740 | 0.583333333333333 | 3/10/2018 | 1201473271 | 8/05/2019 8:41 |
| HOMI145580 | 0.666666666666667 | 11/04/2019 | 1011256117 | 18/12/2019 8:10 |
| HOMI118412 | 0.75 | 4/10/2018 | 1072676363 | 31/07/2019 7:15 |
| HOMI122388 | 0.833333333333333 | 4/10/2018 | 1031851771 | 21/08/2019 7:52 |
| HOMI113575 | 0.916666666666667 | 21/07/2018 | 1099430245 | 8/07/2019 17:49 |
| HOMI131220 | 0.916666666666667 | 12/10/2018 | 1076748436 | 4/10/2019 7:38 |
| HOMI132851 | 0.916666666666667 | 12/10/2018 | 1076748436 | 11/10/2019 23:40 |

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Las dosis de radiación encontradas en el presente estudio permiten demostrar que para tomografía de cráneo existe similitud con las referencias internacionales, incluso se dispone de un margen que permitía aumentar las dosis si se requiere mejorar la calidad de los estudios.

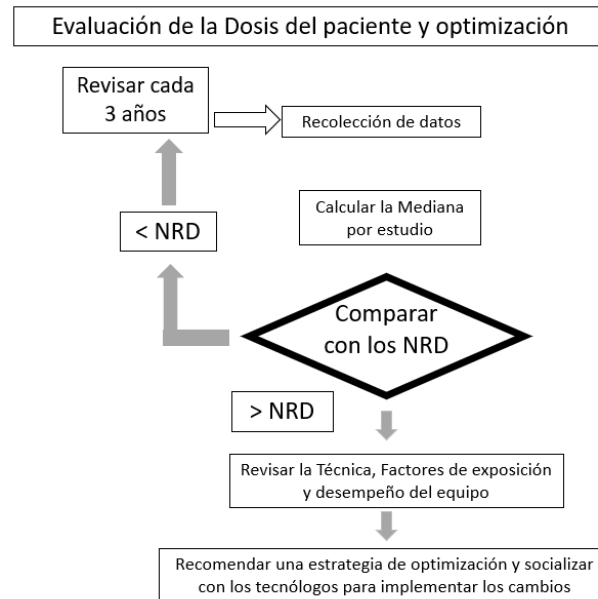
Por otro lado, para tomografía de tórax tanto simple como contrastada ocurre lo contrario, son menos los estudios que se ajustan a las referencias internacionales que las que si lo hacen. Al encontrar que el 96-98% de los estudios realizados tienen un CTDI vol que supera las referencias internacionales se sobreentiende que los protocolos no son acordes a las recomendaciones. Es por esto que se recomienda prestar especial atención a los parámetros de radiación que se están utilizando y realizar de forma prioritaria el ajuste de estos para adherirse a los estándares reportados en la literatura.

En tomografía de abdomen existe un punto intermedio, sin embargo, se encuentran un quinto (1/5) de estudios que condicionan la desviación de los percentiles 50 y 75 por lo que es recomendable también redefinir los grupos etarios y especialmente al encontrar que el registro del peso no es consistente desde el momento de la adquisición es fundamental hacen énfasis en ese punto.

7.2 Recomendaciones

1. Lo ideal sería **renovar periódicamente la tecnología** con la que se realizan los estudios con el fin de disponer de un equipo que permita disminuir el tiempo de rotación del gantry para realizar adquisiciones más rápidas y así disminuir los artefactos por movimientos, mejorando la calidad de los estudios (McNitt-Gray, 2004):
 - Disponer de tecnología que tenga capacidad de calentamiento y enfriamiento del tubo de Rayos X ya que corrientes más altas requieren mayores capacidades de generar calor en el tubo
 - Técnicas de reducción y optimización de la dosis: Debe tenerse en cuenta que la mayoría de los escáneres multidetectores actuales cuentan con estrategias de reducción de la dosis que incluyen:
 - Estrategias específicamente dirigidas a la población pediátrica al implementar reducciones basadas en el tamaño y peso, así como codificación de colores (Frush et al, 2002).
 - Implementación de técnicas de modulación de la corriente del tubo que se ajusta de acuerdo con la atenuación de la parte del cuerpo que se está escaneando (Kalender *et al*, 1999).
2. Adicionalmente, contar un **Físico médico** que examine y evalúe periódicamente las especificaciones técnicas y físicas del equipo como son el rendimiento del ruido y rendimiento de la dosimetría de radiación (McNitt-Gray, 2004).
3. La variabilidad en las dosis de los estudios depende de variables no dependientes como los tecnólogos, protocolo de los estudios, etc. Con base a los hallazgos se realizan las siguientes recomendaciones:
 - Se recomienda desarrollar protocolos específicos de acuerdo con el grupo etario, para lo cual es aconsejable acogerse a las recomendaciones del fabricante para el Tomógrafo del que se dispone (<http://toshibamedicalsystems.com>).
 - Definir el kv y mAs por grupo etario de forma preestablecida en la consola

- Se recomienda registrar la identificación del tecnólogo que realiza el estudio para poder definir protocolos de actuación (auditoría por pares entre tecnólogos)
 - Se recomienda que la toma de decisiones de la dosis se base en el peso del paciente mientras se dispone de un registro consistente del diámetro efectivo, para lograrlo, es necesario registrar de forma consistente el peso de los pacientes al momento de la adquisición del estudio (registro en la hoja de identificación).
 - Para los Protocolos de cráneo se recomienda definir los grupos de acuerdo con la edad acorde a las recomendaciones de la publicación del colegio americano de radiología (Kanal et Al, 2022) y para estudios de cuerpo de acuerdo con el peso los equivalentes de la publicación europea (Comisión Europea 2018).
4. La Comisión Europea de Protección Radiológica N° 185 en sus Directrices europeas de diagnóstico en Niveles de referencia para imágenes pediátricas y en la Sección 8 menciona “Es necesario actualizar los DRL a intervalos regulares, en función de la nueva dosis del paciente. Los NRD nacionales deben revisarse y actualizarse con una frecuencia mínima (intervalo máximo) de 5 años. Una vez que los sistemas automáticos de gestión de dosis estén más disponibles, la frecuencia podría ser de 3 años o incluso menor. NRD locales deben revisarse y actualizarse al menos cada 3 años y cuando haya cambios de los equipos o prácticas que tengan un impacto potencial en los niveles de dosis de los pacientes”. La Comisión internacional de protección radiológica en la publicación 135 (ICRP, 2017) recomienda realizar un ciclo de auditoría y un diagrama de flujo de optimización de los NRD, que debería revisarse cada 3 años (Ilustración 28). (CE, 2018). 35 (ICRP-CIPR, 2017)

Ilustración 28 Estrategia de auditoría de dosis de radiación

Otros aspectos que se deben tener en cuenta son:

- a) Los exámenes deben abarcar la labor de todos los grupos de operadores que realizan procedimientos de rayos X en el departamento, es decir, los tecnólogos, radiólogos, médicos no radiólogos (por ejemplo, cardiólogos, cirujanos) y otros.
- b) Es útil incluir exámenes para los que existe un NRD nacional valor u otro comparador disponible, aunque esto no es esencial.

Recomendaciones generales en Tomografía (Anexo D)

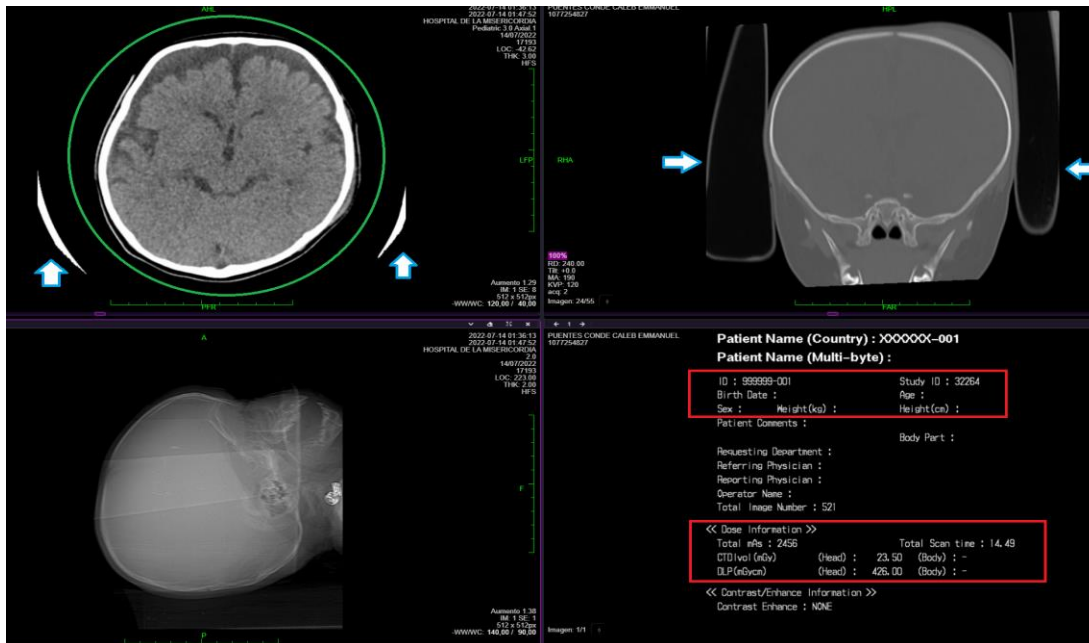
1. Diligenciar los datos demográficos del paciente:
 - Edad
 - Peso
 - Documento de identidad correcto
 - Nombre correcto
2. Inmovilizar al paciente para evitar artificios
3. Centrar el paciente en el isocentro del Gantry
4. La planeación del estudio debe incluir escanigrama en los 2 planos para lograr una adecuada selección del campo de visión (FOV: Field of view), teniendo en cuenta reducir la dosis del Topograma: 80kv 20mAs

5. Reducir el tamaño del escanograma en la dirección Z (Longitud) durante la adquisición
6. Seleccionar el protocolo de adquisición correcto de acuerdo con los parámetros de edad en el caso de Tomografías de cráneo y Peso en Tomografías de cuerpo
7. Verificar que la dosis de radiación se ajuste a los parámetros y realizar el registro de la dosis en la Tabla de control de exposición.

CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA TOMOGRAFÍA DE CRÁNEO

El campo de visión debe limitarse al área anatómica de estudio para no irradiar los cristalinos, evitar la radiación dispersa, disminuir la dosis de radiación y mejorar la calidad técnica del estudio. (Ilustración 29)

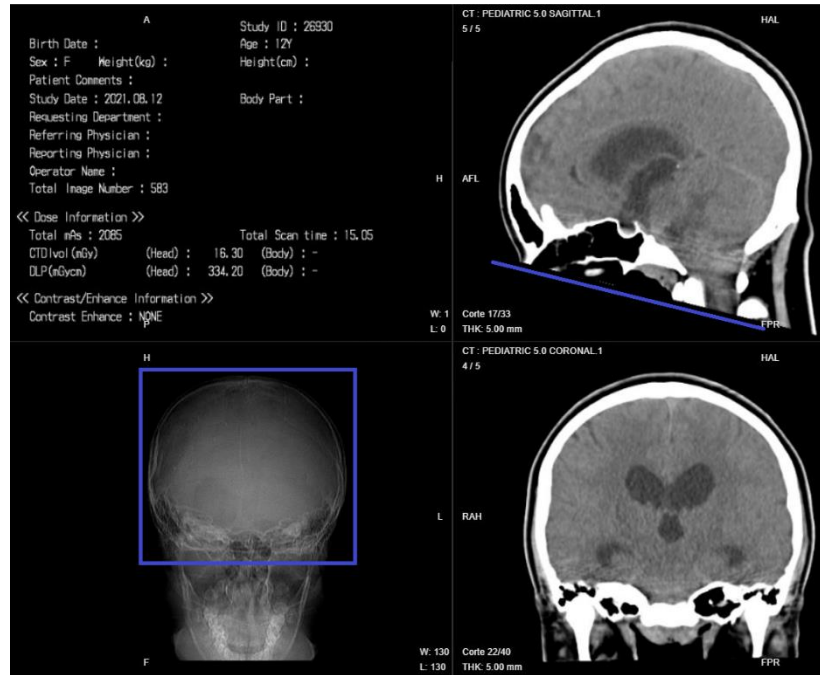
Ilustración 29 Campo de visión en tomografía



Lactante masculino de 8 meses

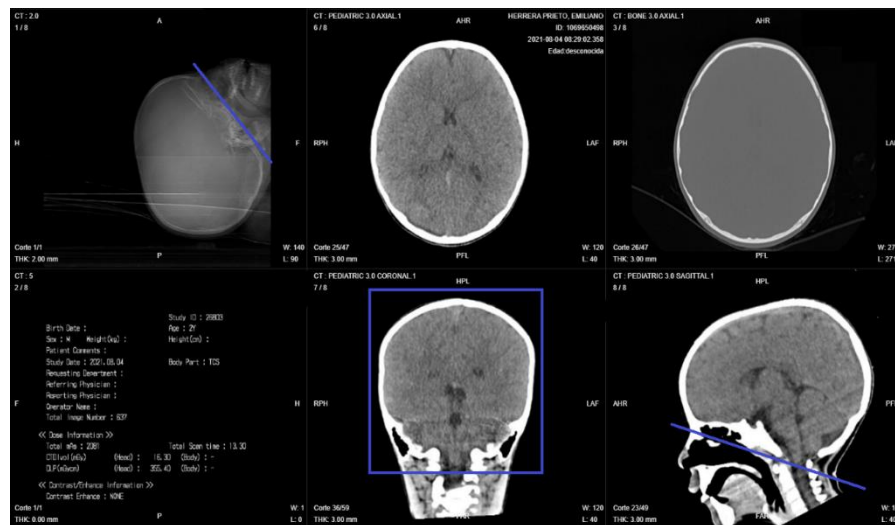
Un factor clave que influye en la adecuada adquisición de las Tomografías de Cráneo incluye la correcta angulación del Gantry y limitar la exposición de Globos oculares (Ilustración 30).

Ilustración 30 Angulación del Gantry en tomografía de cráneo



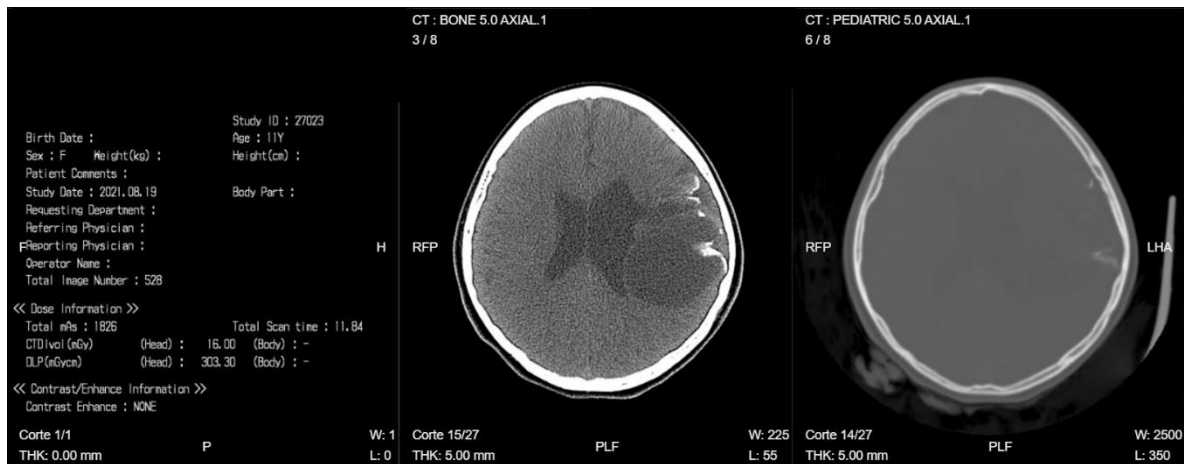
Adicionalmente debe limitarse el área de estudio de las Tomografías de Cráneo al área de interés, es decir al cerebro, sin incluir la cara dentro del campo de estudio (Ilustración 31).

Ilustración 31 Área de estudio en tomografía de cráneo



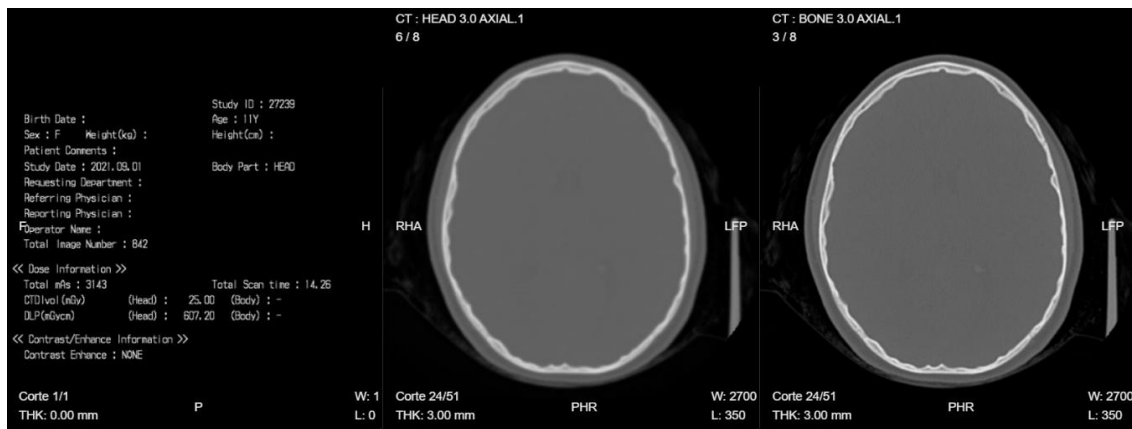
Si bien es importante cuidar la dosis de radiación, es fundamental adherirse a la premisa ALARA “Tan bajo como sea razonablemente posible”, lo cual incluye que el estudio sea diagnóstico (Ilustración 32).

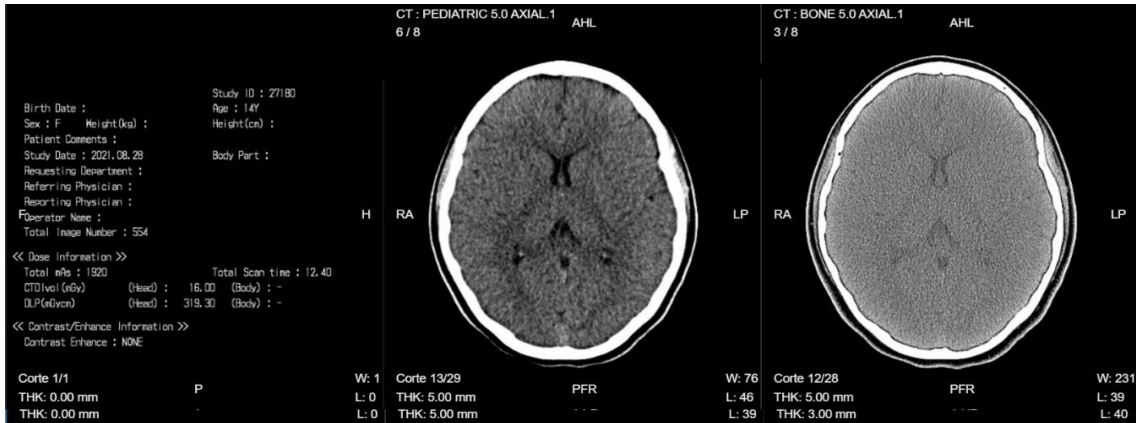
Ilustración 32 Estudio de baja dosis de radiación, pero pobre calidad técnica, no diagnóstico



Además de asegurar la selección adecuada del protocolo de adquisición, el postproceso es fundamental para poder realizar una correcta aproximación diagnóstica. Las Tomografías de cráneo deben incluir reconstrucciones en ventana para cerebro y ventana ósea. En el ejemplo 1 se observa que se realizaron 2 reconstrucciones en ventana de hueso, sin embargo, no se dispone de ventana de cerebro. En el ejemplo 2 y 3 se observa que el Protocolo de reconstrucción de la ventana de cerebro es adecuada, sin embargo, la ventana de hueso no es diagnóstica (Ilustración 33).

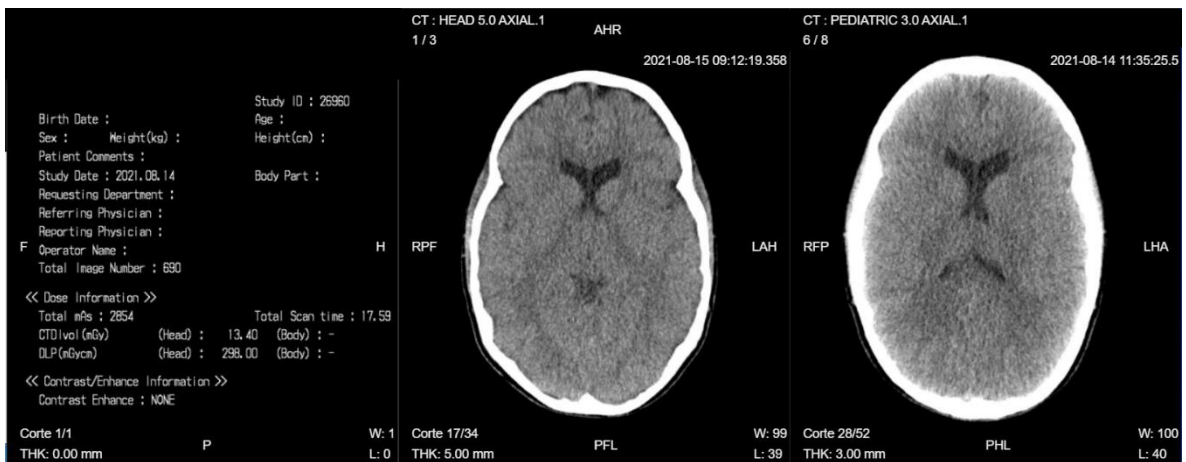
Ilustración 33 Postproceso en tomografías de cráneo





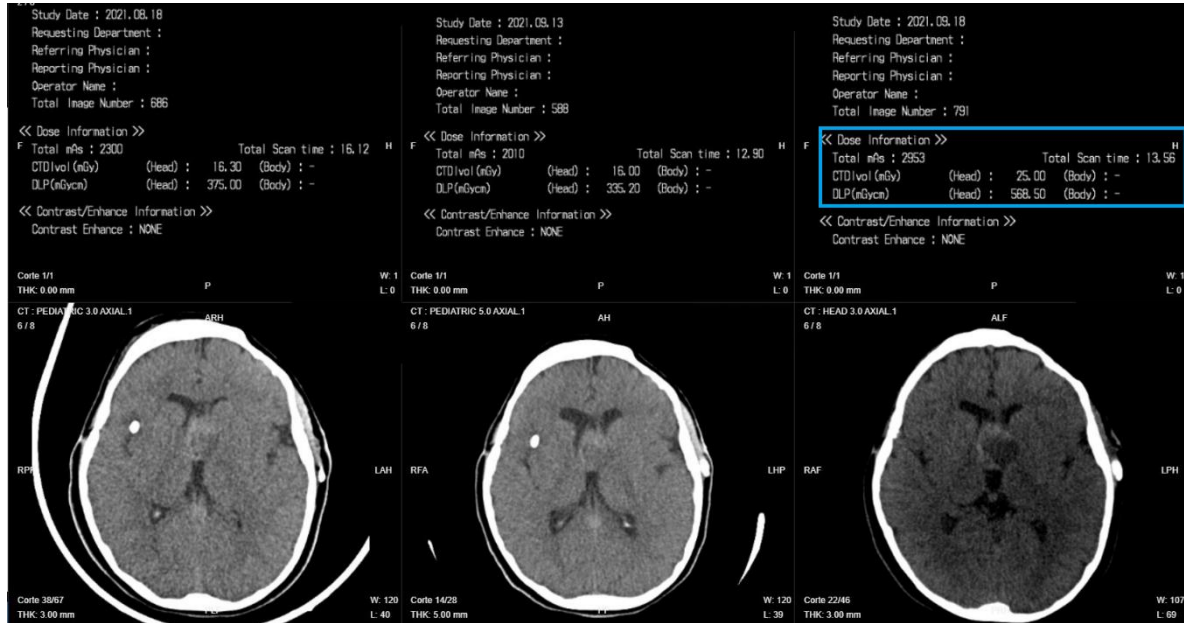
Adicionalmente debe seleccionarse el espesor correcto de acuerdo con el protocolo para lograr adecuada calidad de la imagen. Tomografía del centro con espesor de corte de 5mm, adecuada reconstrucción y calidad de la imagen, tomografía de la derecha con espesor de corte de 3mm y protocolo de reconstrucción con baja calidad de la imagen (Ilustración 34).

Ilustración 34 Espesor de reconstrucción



En casos que ameriten seguimiento debe seguirse el mismo protocolo o disminuir la dosis en lugar de aumentarla (Ilustración 35).

Ilustración 35 Protocolo consistente en estudios de seguimiento

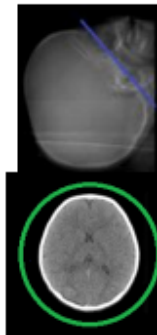


Finalmente, el estudio debe ser enviado completo al PACS, con las reconstrucciones que correspondan, para evitar reprocesos y retrasos en la interpretación del estudio y en la emisión del reporte radiológico.

A.Anexo: Tutorial de Tomografía de cráneo

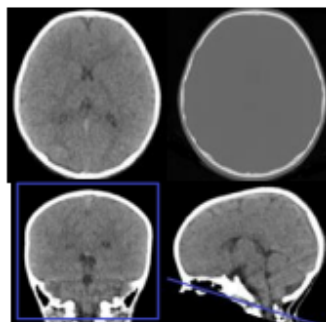


| |
|-------------------------------------|
| Protocolos Tomografía computarizada |
| Tomografía de cráneo |



| CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ADQUISICIÓN | |
|--|---|
| Elementos radiopacos | Antes de adquirir el estudio retirar todos los elementos radiopacos que puedan interferir en el campo de estudio y ocasionar artefactos (endurecimiento de rayo) |
| Inmovilización | Los artefactos de movimiento deterioran la calidad de la imagen por lo cual se recomienda envolver al paciente en una cobija y fijar la cabeza con cintas a la mesa del tomógrafo |
| Posición del paciente | Decúbito supino / Cabeza primero |
| Posición del Gantry | 10-12° Ángulo de adquisición paralelo al borde supraorbitario y la tabla interna del borde posterior del foramen magno (Objetivo: disminución de la exposición del lente ocular) |
| Volúmen de la adquisición | Desde el forámen magno (borde superior de C1) - Iniciar 1cm por encima de la base del cráneo hasta el vértex |
| FOV | Ajustar el FOV (Field of view) o "Campo de visión" al diámetro del cráneo del paciente (Aprox. 16cm) y asegurarse que se encuentre en el isocentro del Gantry. |

| | | Esesor | kV | mA | Tiempo de rotación |
|---------------------|------------|------------|-----|-----|--------------------|
| 0 - ≤ 1 AÑO | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | 80 | 0.75 seg |
| 1 - ≤ 3 AÑOS | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | 200 | 0.75 seg |
| 3 - ≤ 6 AÑOS | Helicoidal | 0.5mm x 17 | 120 | 180 | 0.5 seg |
| 6 - 12 AÑOS | Helicoidal | 0.5mm x 18 | 120 | 200 | 0.75 seg |

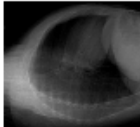
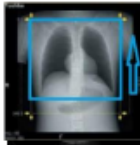
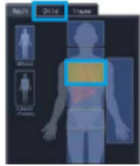


| Reconstrucción | | | |
|-------------------------|---------|--|-------------------|
| 5 mm / 5 mm | | Cerebro pediátrico (siempre) | Hueso (Siempre) |
| Ancho de ventana | | 160:40 UH | 2000-3000 HU |
| Nivel de ventana | | 80:40 UH | 200-400 HU |
| Planos | | Axial (Siempre) | |
| | | Coronal (Siempre) | Sagital (Siempre) |
| | Inicio | Anterior | Izquierda |
| | Fin | Posterior | Derecha |
| | Esesor | 5 mm | 5 mm |
| | Espacio | 5 mm | 5 mm |
| | | Coronal (Deseable) Sagital (Deseable) | |

B.Anexo: Tutorial de Tomografía de Tórax



| Protocolos Tomografía computarizada |
|-------------------------------------|
| Tomografía de tórax |



| CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ADQUISICIÓN | |
|--|--|
| Elementos radiopacos | Antes de adquirir el estudio retirar todos los elementos radiopacos que puedan interferir en el campo de estudio y ocasionar artefactos (endurecimiento de rayo) |
| Inmovilización | Los artefactos de movimiento deterioran la calidad de la imagen por lo cual se recomienda envolver al paciente en una cobija |
| Posición del paciente | Decúbito supino / Pies primero (Adquirir desde los diafragmas al ápice pulmonar). Brazos elevados por fuera del campo de estudio Prono o decúbito lateral: sólo por indicación médica. |
| Posición del Gantry | Sin angulación |
| Volúmen de la adquisición | Desde opérculo torácico hasta hemiabdomen superior (receso pleural posterior).Adquirir desde los diafragmas al ápice pulmonar) |
| FOV | Escanograma en los 2 planos que permita ajustar el FOV (Field of view) o "Campo de visión" al diámetro del tórax del paciente(Aprox. 32cm) y asegurarse que se encuentre en el isocentro del Gantry. |
| Fase de respiración | Inspiración sostenida Espiración sostenida: Sólo por indicación del radiólogo (atrapamiento de aire, diferenciar vidrio esmerilado). |

| | | Espesor | kV | mA | Tiempo de rotación |
|------------|------------|------------|-----|---------------|--------------------|
| ≤ 15 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 80 | SURE EXPOSURE | 0.35 seg |
| 15 - 30 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | SURE EXPOSURE | 0.35 seg |
| 31 - 45 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |
| 45 - 60 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 120 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |
| >60 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 120 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |

| Reconstrucción | | | | |
|-------------------------|-------------|--|-------------------|-------------------------|
| < 15 kg | 2 mm / 2 mm | Mediastino / Tejidos blandos (siempre) | | Pulmón (Siempre) |
| > 15 kg | 3 mm / 3 mm | | | |
| | | Sin MC | Con MC | 2000-3000 HU |
| Ancho de ventana | | 400 (300-600) | 400 UH | 1500 (800 a1600) UH |
| Nivel de ventana | | 40 (0-30) UH | 60 (30-60) UH | -650UH (-500 a -700) UH |
| Planos | | Axial (Siempre) | Coronal (Siempre) | Sagital (Siempre) |
| | Inicio | | Anterior | Izquierda |
| | Fin | | Posterior | Derecha |
| | Espesor | < 15 kg | 2 mm / 2 mm | |
| | Espacio | > 15 kg | 3 mm / 3 mm | |

Fuente: Pediatric Procolo Guides - Aquilion 16. TOSHIBA Leading Innovation

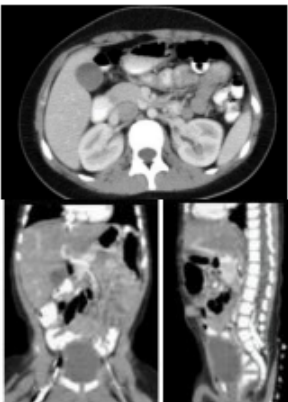
C.Anexo: Tutorial de Tomografía de Abdomen



| |
|-------------------------------------|
| Protocolos Tomografía computarizada |
| Tomografía de Abdomen |

| CONSIDERACIONES PREVIAS A LA ADQUISICIÓN | |
|--|--|
| Elementos radiopacos | Antes de adquirir el estudio retirar todos los elementos radiopacos que puedan interferir en el campo de estudio y ocasionar artefactos (endurecimiento de rayo) |
| Inmovilización | Los artefactos de movimiento deterioran la calidad de la imagen por lo cual se recomienda envolver al paciente en una cobija |
| Posición del paciente | Decúbito supino / Pies primero (Adquirir desde los diafragmas hasta la pelvis). Brazos elevados por fuera del campo de estudio |
| Posición del Gantry | Sin angulación |
| Volumen de la adquisición | Desde opérculo torácico hasta hemiabdomen superior (receso pleural posterior).Adquirir desde los diafragmas al ápice pulmonar) |
| FOV | Escanograma en los 2 planos que permita ajustar el FOV (Field of view) o "Campo de visión" al diámetro del abdomen del paciente(Aprox. 32cm) y asegurarse que se encuentre en el isocentro del Gantry. |
| Fase de respiración | Inspiración sostenida |
| Previo a la adquisición | Previo a la adquisición administrar líquido (Agua) para distender el estómago |

| | | Espesor | kV | mA | Tiempo de rotación |
|------------|------------|------------|-----|---------------|--------------------|
| ≤ 15 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 80 | SURE EXPOSURE | 0.35 seg |
| 16 - 30 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | SURE EXPOSURE | 0.35 seg |
| 31 - 45 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 100 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |
| 46 - 60 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 120 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |
| >60 kg | Helicoidal | 0.5mm x 16 | 120 | SURE EXPOSURE | 0.5 seg |



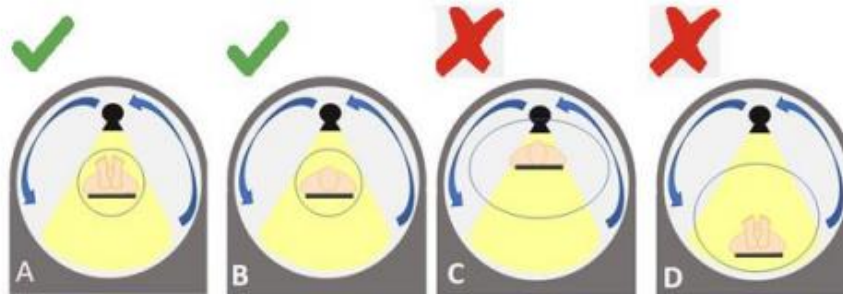
| Reconstrucción | | | |
|-------------------------|-------------|---------------------------------------|-------------------|
| < 15 kg | 2 mm / 2 mm | Abdomen / Cuerpo pediátrico (siempre) | |
| > 15 kg | 3 mm / 3 mm | | |
| Ancho de ventana | | 400 UH | |
| Nivel de ventana | | 40 UH | |
| Planos | | Axial (Siempre) | Coronal (Siempre) |
| | | | Sagital (Siempre) |
| Inicio | | | Anterior |
| Fin | | | Posterior |
| Espesor | | < 15 kg | 2 mm / 2 mm |
| Espacio | | > 15 kg | 3 mm / 3 mm |

Fuente: Pediatric Procolo Guides - Aquilion 16. TOSHIBA Leading Innovation

D.Anexo: Recomendaciones generales de tomografía

Recomendaciones generales en Tomografía

1. Diligenciar los datos demográficos del paciente:
 - Documento de identidad correcto
 - Nombre correcto
 - Edad
 - Peso
2. Inmovilizar al paciente para evitar artificios
3. Centrar el paciente en el Isocentro del Gantry



- A. Correcto para tomografía de cráneo
- B. Correcto para tomografía de tórax y abdomen
- C. Incorrecto
- D. Incorrecto

4. Seleccionar el área anatómica a explorar y el protocolo pediátrico (CHILD)



5. La planeación del estudio debe incluir escanograma en los **2 planos** para lograr una adecuada selección del campo de visión (FOV: Field of view) y para poder utilizar la unción del equipo de control de radiación ^{SURE}Exposure™, teniendo en cuenta reducir la dosis del Topograma: 80kv 20mAs



Para Tomografía de Cráneo angular respetando las órbitas para no irradiar los cristalinos

6. Reducir el tamaño del escanograma en la dirección Z (Longitud) durante la adquisición



7. Seleccionar el protocolo de adquisición correcto de acuerdo con los parámetros de Edad en el caso de Tomografías de cráneo y Peso en Tomografías de cuerpo

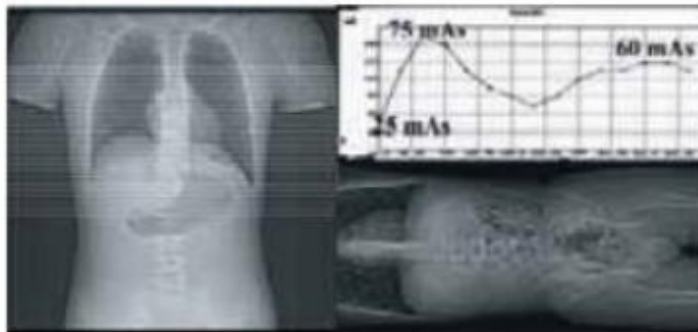
Verificar que la dosis de radiación se ajuste a los parámetros y realizar el registro de la dosis en la Tabla de control de exposición. Luego teniendo en cuenta las recomendaciones de la Resolución 482 debe realizarse el cálculo del Nivel de Referencia para el diagnóstico, teniendo en cuenta el promedio de la dosis Expresada en DLP (mGy*cm).

Registrar la dosis en la Tabla de control de exposición

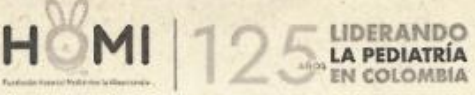


Antes de adquirir el estudio Verificar:

- Paciente correcto
- Orden médica correcta
- Protocolo correcto (de acuerdo a la edad para Tomografía de cráneo y de acuerdo al peso para los estudios de cuerpo)
- Dosis calculada por el equipo correcta y acorde a la edad / peso del paciente
- Verificar que esté activa la función de modulación de corriente ^{SURE}Exposure™



E.Anexo: Carta de aprobación del comité de ética



Bogotá, 28 de Marzo 2022

Doctora
María Antonieta Londoño Arévalo
 Investigadora Principal

Acta No. 58
472-22

Ref. Respuesta Evaluación Comité de Ética e Investigación

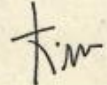
Reciba un cordial saludo.

El Comité de Ética e Investigación de HOMI Fundación Hospital Pediátrico La Misericordia, el cual se constituyó mediante acta No. 02-02-10 el 12 de febrero de 2010, certifica que:


Evaluó la solicitud para el desarrollo del proyecto de investigación **"NIVELES DE REFERENCIA DE DOSIS DE RADIACIÓN DE TOMOGRAFÍAS EN POBLACIÓN PEDIÁTRICA LATINOAMERICANA FUNDACIÓN HOSPITAL PEDIÁTRICO LA MISERICORDIA. ESTUDIO MULTICÉNTRICO"** considerando viable desde el punto de vista ético y metodológico su desarrollo en HOMI, motivo por el cual da su concepto de **APROBACIÓN**. Coinvestigadores: Dra. Luz Ángela Moreno G, Dra. Liliana Henao Gómez, Dr. Andrés Fernando López.

El comité informará a las directivas institucionales cualquier desacato de los investigadores a las solicitudes del comité, cualquier suspensión o terminación de la aprobación de este comité, lesiones o daños a sujetos humanos por la participación en esta investigación o cualquier cambio o modificación a este proyecto que haya sido revisado y aprobado por este comité. El investigador principal deberá informar cualquier cambio que se proponga con este proyecto y no podrá ejecutar ningún cambio hasta no tener aprobación nuevamente del comité, a menos que esto implique minimizar o suprimir un riesgo grave que se represente para los sujetos que participan en la investigación y debe avisar cualquier situación que considere implica un riesgo para los sujetos o la comunidad en la cual se lleva a cabo la investigación, informar cualquier evento adverso que se presente. Y al final, debe entregar un informe final de cierre del estudio firmado por el investigador principal. Por otro lado, el comité recuerda que los datos extraídos del Hospital para el desarrollo de este estudio son exclusivos del personal de la institución y no pueden ser empleados ahora ni a futuro, en otro tipo de investigación sin previa autorización.

Cordialmente,



Fernando Fierro M.D. MSc.
 Especialista en Cirugía Pediátrica, Bioteticista, Profesor Asociado UN
 Presidente Comité de Ética e Investigación HOMI



Dir.: Av. Caracas Nro. 1 - 65, Bogotá D. C., Colombia Tel: +57 601 328 2510
 www.fundacionhomi.org.co @FundacionHOMIoficial • @fundacionhomi

Bibliografía

1. Abalo, K. D., Rage, E., Leuraud, K., Richardson, D. B., le Pointe, H. D., Laurier, D., & Bernier, M. O. (2021). Early life ionizing radiation exposure and cancer risks: systematic review and meta-analysis. *Pediatric Radiology*, 51(1), 45–56. <https://doi.org/10.1007/s00247-020-04803-0>
2. ACR-AAPM-SPR General Diagnostic Radiology Practice Parameters. Practice parameter for diagnostic reference levels and achievable doses in medical x-ray imaging. Disponible en: ACR–AAPM–SPR Practice Parameter for Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses in Medical X-Ray Imaging
3. Alzen, G., & Benz-Bohm, G. (2011). Kinderradiologie - besonderheiten des strahlenschutzes. In *Deutsches Arzteblatt* (Vol. 108, Issue 24, pp. 407–414). <https://doi.org/10.3238/arztebl.2011.0407>
4. American Association of Physycists in Medicine (AAPM). Size-specific dose estimates (SSDE) in pediatric and adult body CT examinations: the report of AAPM Task Group 204. https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_204. Pdf. Published 2011. Accessed October 9, 2021.
5. American Association of Physicists in Medicine. (AAPM). (s.f). CT Scan Protocols - The Alliance for Quality Computed Tomography. Disponible en: <https://www.aapm.org/pubs/CTProtocols>
6. Amis, E. S., & Butler, P. F. (2010). ACR white paper on radiation dose in medicine: Three years later. In *Journal of the American College of Radiology* (Vol. 7, Issue 11, pp. 865–870). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2010.04.006>
7. Amurao, M., King, S. H., Becker, M. D., Sheetz, M. A., Franz, S. C., Rubinstein, A. E., Gress, D. A., & Creech, W. (n.d.). ACR-AAPM Radiation Safety Officer Resources ACR-AAPM Radiation Safety Officer Resources ACR-AAPM Radiation Safety Officer Resources iii.
8. Brady, A. P., Beets-Tan, R. G., Brkljačić, B., Catalano, C., Rockall, A., & Fuchsjäger, M. (2022). The role of radiologist in the changing world of healthcare: a White Paper

- of the European Society of Radiology (ESR). *Insights into Imaging*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13244-022-01241-4>
9. Bos, D., Zensen, S., Opitz, M. K., Haubold, J., Nassenstein, K., Kinner, S., Schweiger, B., Forsting, M., Wetter, A., & Guberina, N. (2022). Diagnostic reference levels for chest computed tomography in children as a function of patient size. *Pediatric Radiology*, 52(8), 1446–1455. <https://doi.org/10.1007/s00247-022-05340-8>
 10. Cadavid Álvarez, L. M., Poveda Bolaño, J. F., Palacio Montoya, M. F., González Londoño, J. F., & Saldarriaga Arango, M. F. (2020). Niveles de referencia de dosis de radiación para la toma de imágenes en pediatría. *Rev. Colomb. Radiol.*, 31(2), 5328–5334.
 11. Célier, D., Roch, P., Etard, C., Ducou Le Pointe, H., & Brisse, H. J. (2020). Multicentre survey on patient dose in paediatric imaging and proposal for updated diagnostic reference levels for France. Part 1: computed tomography. *European Radiology*, 30(2), 1156–1165. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06405-3>
 12. De Crop, A., Smeets, P., Hoof, T.V., et al., 2015. Correlation of clinical and physical-technical image quality in chest CT: a human cadaver study applied on iterative reconstruction. *BMC Med. Imag.* 15, 32
 13. De Jesus FM, Magalhães LAG, Kodlulovich S. Paediatric CT exposure practice in the county of Rio de Janeiro: the need to establish diagnostic reference levels. *Radiat Prot Dosimetry*. noviembre de 2016;171(3):389-97
 14. European Commission. Radiation Protection No 185 - European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging [Internet]. 2018 [citado 26 de enero de 2021]. Disponible en: http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2018/09/rp_185.pdf
 15. Food and drug administration (FDA). White paper: Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging. 2018. Disponible en: [Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging | FDA](#)
 16. Frush DP, Soden B, Frush KS, Lowry C. Improved pediatric multidetector body CT using a size-based color-coded format. *AJR Am J Roentgenol*. 2002 Mar;178(3):721-6. Doi: 10.2214/ajr.178.3.1780721. PMID: 11856705.
 17. Granata, C., Sorantin, E., Seuri, R., & Owens, C. M. (2019). European Society of Paediatric Radiology Computed Tomography and Dose Task Force: European guidelines on diagnostic reference levels for paediatric imaging. *Pediatric Radiology*, 49(5), 702–705. <https://doi.org/10.1007/s00247-019-04346-z>

18. Greenwood, T. J., Lopez-Costa, R. I., Rhoades, P. D., Ramírez-Giraldo, J. C., Starr, M., Street, M., Duncan, J., & McKinstry, R. C. (2015). CT dose optimization in pediatric radiology: A multiyear effort to preserve the benefits of imaging while reducing the risks. *Radiographics*, 35(5), 1539–1554. <https://doi.org/10.1148/rq.2015140267>
19. Goske, M. J., Charkot, E., Herrmann, T., John, S. D., Mills, T. T., Morrison, G., & Smith, S. N. (2011). Image Gently: Challenges for radiologic technologists when performing digital radiography in children. *Pediatric Radiology*, 41(5), 611–619. <https://doi.org/10.1007/s00247-010-1957-3>
20. Hall EJ. Lessons we have learned from our children: cancer risks from diagnostic radiology. *Pediatr Radiol Roentgenol Nucl Med Ultrasound CT MRI*. 1 de octubre de 2002;32(10):700-700-6. <https://doi.org/10.1007/s00247-002-0774-8>
21. Harding K, Thomson WH. Radiological protection and safety in medicine - ICRP 73. *Eur J Nucl Med*. octubre de 1997;24(10):1207-
22. Huda, W. (2004). Assessment of the problem: Pediatric doses in screen-film and digital radiography. *Pediatric Radiology*, 34(SUPPL. 3), 173–182. <https://doi.org/10.1007/s00247-004-1267-8>
23. IAEA Safety standards and related publications. (n.d.). <http://www-ns.iaea.org/standards/>
24. IEC, 2012. Medical Electrical Equipment – Part 2-44: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of X-ray Equipment for Computed Tomography. IEC 60601-2-44, ed 3.1. IEC, Geneva.
25. International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU), 1995. Medical imaging – the assessment of image quality. Report 54. International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD.
26. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report No. 87: Radiation dose and image-quality assessment in computed tomography. *J ICRU*. 2012 Apr;12(1):1-149. doi: 10.1093/jicru/ndt007. PMID: 24158924.
27. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. *Ann. ICRP* 1(3): 1 - 53.
28. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1990. Recommendations of International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann ICRP* 21:1–120 *Ann 1991*;21(1-3):1-201. PMID: 2053748

-
29. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 1996. Harding K, Thomson WH. Radiological protection and safety in medicine - ICRP Publication 73. Eur J Nucl Med. 1997 Oct;24(10):1207-9. PMID: 9323259.
 30. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2007a. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP. 2007;37(2-4):1-332. Doi: 10.1016/j.icrp.2007.10.003. PMID: 18082557.
 31. International Commission on Radiological Protection (ICRP), 2007b. Radiation protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann ICRP. 2007;37(6):1-63. Doi: 10.1016/j.icrp.2008.08.001. PMID: 18762065.
 32. ICRP, Khong PL, Ringertz H, Donoghue V, Frush D, Rehani M, Appelgate K, Sanchez R. ICRP publication 121: radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. Ann ICRP. 2013 Apr;42(2):1-63. Doi: 10.1016/j.icrp.2012.10.001. Erratum in: Ann ICRP. 2020 Oct 5;146645320966413. Erratum in: Ann ICRP. 2021 Mar 25;1466453211000254. PMID: 23218172.
 33. ICRP, Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, Ortiz-López P, Mattsson S, Padovani R, Rogers A; Authors on behalf of ICRP. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. Ann ICRP. 2017 Oct;46(1):1-144. Doi: 10.1177/0146645317717209. PMID: 29065694.
 34. IPSM/NRPB/CoR, 1992. National Protocol for Patient Dose Measurements in Diagnostic Radiology. National Radiological Protection Board, Chilton. Disponible en: [Diagnostic radiology: national protocol for patient dose measurements - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk)
 35. International Radiation Protection Association (IRPA). IRPA Guiding Principles on radiation protection culture. 2014. Disponible en: [IRPA - INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION. IRPA Guiding Principles on RP Culture \(2014\).pdf](#)
 36. Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
 37. Järvinen H, Seuri R, Kortenesniemi M, Lajunen A, Hallinen E, Savikurki-Heikkilä P, et al. Indication-based national diagnostic reference levels for paediatric CT: a new approach with proposed values. Radiat Prot Dosimetry. julio de 2015;165(1-4):86-90. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv044>
 38. Kanal, K. M., Butler, P. F., Chatfield, M. B., Wells, J., Samei, E., Simanowith, M., Golden, D., Gress, D. A., Burleson, J., Sensakovic, W. F., Strauss, K. J., & Frush, D. (2022). U.S. Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses for 10 Pediatric

- CT Examinations. *Radiology*, 302(1), 164–174.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2021211241>
39. Kleinman, P.L., Strauss, K.J., Zurakowski, D., Buckley, K.S., Taylor, G.A., 2010. Patient size measured on CT images as a function of age at a tertiary care children's hospital. *AJR. Am. J. Roentgenol.* 194, 1611–1619.
40. Kalender W.A, Wolf H, Suess C, Gies M, Greess H, Bautz W.A. Dose reduction in CT by on-line tube current control principles and validation on phantoms and cadavers. *Eur Radiol.* 1999; 9: 323-328
41. Leung RS. Radiation protection of the child from diagnostic imaging. *Curr Pediatr Rev.* 1 de enero de 2015;11(4):235-235-42.
42. Linet, M. S., Kim, K. P., & Rajaraman, P. (2009). Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: Epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatric Radiology*, 39(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1007/s00247-008-1026-3>
43. Mahesh M. Update on radiation safety and dose reduction in pediatric neuroradiology. *Pediatr Radiol.* 1 de septiembre de 2015;45 Suppl 3:S370-S370
44. Mcnitt-Gray, M. F., & Morin, R. L. (2004). Selecting a New Computed Tomography Scanner: Things to Consider. www.acr.org/dyna/?docdepartments/stand
45. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, LeeC, Kim KP, Howe NL; Ronckers CM, Rajaraman P, Sir Craft AW, Parker L, Berrington de Gonzalez A. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet.* 2012 Aug 4;380(9840):499-505.doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.Epub 2012 Jun 7. PMID: 22681860; PMCID: PMC2418594.
46. Ploussi, A., & Efstathopoulos, E. P. (2016). Importance of establishing radiation protection culture in Radiology Department. *World Journal of Radiology*, 8(2), 142. <https://doi.org/10.4329/wjr.v8.i2.142>
47. Rehani, M. M., Szczykutowicz, T. P., & Zaidi, H. (2020). CT is still not a low-dose imaging modality. In *Medical Physics* (Vol. 47, Issue 2, pp. 293–296). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/mp.14000>
48. Rehani, M. M., & Brady, Z. (2021). Contemporary issues in radiation protection in medical imaging special feature: editorial Contemporary issues in radiation protection in medical imaging: introductory editorial 1.

-
49. Samei, E., Christianson, O., 2014. Dose index analytics: more than a low number. *J. Am. Coll. Radiol.* 11, 832–834.
50. Satharasinghe, D. M., Jeyasugiththan, J., Wanninayake, W. M. N. M. B., & Pallewatte, A. S. (2021). Paediatric diagnostic reference levels in computed tomography: A systematic review. In *Journal of Radiological Protection* (Vol. 41, Issue 1, pp. R1–R27). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/abd840>
51. Seidenbusch, M.C., Schneider, K., 2014. Conversion coefficients for determining organ doses in paediatric pelvis and hip joint radiography. *Pediatr. Radiol.* 44, 1110–1123.
52. Schauer DA, Linton OW. NCRP Report No. 160, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, medical exposure--are we doing less with more, and is there a role for health physicists? *Health Phys.* 2009 Jul;97(1):1-5. doi: 10.1097/01.HP.0000356672.44380.b7. PMID: 19509507.
53. Siciliano, R. (2017). Radiological examinations in pediatric age. *Annali Di Igiene Medicina Preventiva e Di Comunita*, 29(2), 134–140. <https://doi.org/10.7416/ai.2017.2140>
54. Siegel, M. J., Mhlanga, J. C., Salter, A., & Ramirez-Giraldo, J. C. (2021). Comparison of radiation dose and image quality between contrast-enhanced single- and dual-energy abdominopelvic computed tomography in children as a function of patient size. *Pediatric Radiology*, 51(11), 2000–2008. <https://doi.org/10.1007/s00247-021-05127-3>
55. Slovis TL. CT and computed radiography: the pictures are great, but is the radiation dose greater than required? *AJR Am J Roentgenol.* 2002 Jul;179(1):39-41. DOI: 10.2214/ajr.179.1.1790039. PMID: 12076901.
56. Slovis TL, Berdon WE. The ALARA concept in pediatric CT intelligent dose reduction. *Pediatr Radiol* 2002;32:217–317
57. Strauss, K. J., Racadio, J. M., Johnson, N., Patel, M., & Nachabe, R. A. (2015). Estimates of diagnostic reference levels for pediatric peripheral and abdominal fluoroscopically guided procedures. *American Journal of Roentgenology*, 204(6), W713–W719. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13630>
58. Strauss KJ, Somasundaram E, Sengupta D, Marin JR, Brady SL. Radiation Dose for Pediatric CT: Comparison of Pediatric versus Adult Imaging Facilities. *Radiology* 2019;291(1)
59. Vassileva, J., Rehani, M., Kostova-Letterova, D., et al., 2015. A study to establish international diagnostic reference levels for paediatric computed tomography. *Radiat. Prot. Dosim.* 165, 70–80.

60. Vawda, Z., Pitcher, R., Akudugu, J., & Groenewald, W. (2015). Diagnostic reference levels for paediatric computed tomography. *South African Journal of Radiology*, 19(2). <https://doi.org/10.4102/sajr.v19i2.846>
61. Watson, D.J., Coakley, K.S., 2010. Paediatric CT reference doses based on weight and CT dosimetry phantom size: local experience using a 64-slice CT scanner. *Pediatr. Radiol.* 40, 693–703