

Novedades de radioprotección en pediatría

News in radioprotection in pediatrics

Recibido: 25/09/2020

Aprobado: 30/11/2020

Autores

- ❖ Gabriela Puentes Suárez. MD. Universidad del Rosario.
Correo: puentes.gabriela@gmail.com
- ❖ Laura Melisa Herrera Ortega. MD. Universidad de Manizales.
Correo: laumel2627@gmail.com
- ❖ Luisa María Echeverry Holguín. MD. Escuela Latinoamericana de Medicina.
Correo: luisita17@gmail.com
- ❖ Steven Olaya Ramírez. MD. Universidad Pontificia Bolivariana.
Correo: stevenolaya@gmail.com

Resumen

Introducción: La edad pediátrica es un momento de la vida del ser humano, que por sus pluripatologías favorece la necesidad de practicar algún tipo de imagen diagnóstica, haciendo inevitable estar frente a un proceso de exposición de radiación ionizante, en algunos casos prevenible. De esta manera, a lo largo de este documento, centraremos la atención en el papel del médico pediatra que solicita un estudio y del médico radiólogo que lo practica, pues la mayoría de efectos a nivel sistémico de la radiación son manifiestos de manera tardía.

Objetivo: Identificar las principales medidas de radio protección en la población pediátrica.

Método: Se realizó una búsqueda sistemática con términos *Mesh*, en bases de datos *PubMed*, *Cinicalkey*, *Medscape*, *Lilacs*, *The New England Journal of Medicine* y *Google Academics*, *ProQuest*, *Google Scholar*, desde febrero 2016 hasta la fecha. Se encontró una amplia variedad de artículos, dentro de los que se encuentran revisiones sistemáticas, reporte de casos, estudios retrospectivos, estudios multicéntricos y revisiones bibliográficas. Se seleccionaron un total de 400 artículos y solo 25 artículos clasificaron para la

revisión final, los que abordan las principales exposiciones de la población pediátrica a las imágenes diagnósticas, así como sus consecuencias.

Palabras clave: Exposición radiológica, complicaciones sistémicas, niño, patología respiratoria, dolor, diagnóstico no invasivo.

Abstract

Introduction: *Pediatric age is a time in the life of the human being that, due to its multiple pathologies, favors the need to practice some type of diagnostic image, making it inevitable to be facing a process of ionizing radiation exposure, in some cases preventable. In this way, throughout this document we will focus our attention on the role of the pediatrician who requests a study and the radiologist who performs it, since most of the systemic effects of radiation are manifest late.*

Objective: *Identify the main radiation protection measures in the pediatric population.*

Method: *A systematic search was carried out with Mesh terms, in databases PubMed, Cinicalkey, Medscape, Lilacs, The New England Journal of Medecine and Google Academics, ProQuest, Google Scholar; from February 2016 to date. A wide variety of articles were found, including systematic reviews, case reports, retrospective studies, multicenter studies and bibliographic reviews, a total of 400 articles were selected and only 25 articles classified for the final Review, which address the Main exposures of the pediatric population to diagnostic images, as well as their consequences.*

Keywords: *Radiological exposure, systemic complications, child, respiratory pathology, pain.*

Introducción

Las imágenes médicas son importantes como herramienta diagnóstica, pero en pacientes pediátricos es necesario aminorar los riesgos de la radiación ionizante. Aunque los modelos han mostrado que el riesgo con las imágenes médicas es pequeño, se deben realizar todos los esfuerzos posibles para reducir la exposición innecesaria. Las imágenes radiológicas han permitido mejorar el diagnóstico y tratamiento de muchas condiciones médicas. Varios tipos o modalidades de procedimientos y exámenes con ellas, se utilizan en niños, bien sea para realizar el diagnóstico no invasivo e indoloro de enfermedades, monitorizar la terapia, soportar planes de tratamiento médico y quirúrgico, o efectuar intervenciones, como colocar catéteres u otros dispositivos dentro del cuerpo, y cada uno de ellos emplea diferentes tecnologías y técnicas,

Hasta hace pocas décadas, los efectos deletéreos de las radiaciones ionizantes, eran escasamente conocidos. En la primera mitad del siglo XX, las radiaciones se identificaron como un instrumento útil para el tratamiento de enfermedades (radioterapia) y, también, para el diagnóstico (rayos X). Después vino el desarrollo de las centrales nucleares. Pero el paso de los años nos ha ido advirtiendo de que todas esas bondades no estaban exentas de grandes y terribles riesgos. Pero las radiaciones ionizantes no se liberan o existen únicamente en instalaciones concretas.

Existe radiactividad en todas partes y los seres humanos estamos expuestos simplemente por vivir donde vivimos y comer lo que comemos. Además, tienen un efecto sumatorio. Y las radiaciones ionizantes tienen un notable poder de modificar las estructuras de la dotación genética, del ADN, y con ello favorecer una miríada de efectos sobre la salud humana. Si, además, esa carga radiactiva actúa sobre un individuo en crecimiento, como es un niño, los efectos a largo plazo van a ser determinantes en su salud (1).

Tabla 1. Diferentes tipos de examen empleados con mayor frecuencia en la edad pediátrica y la dosis de irradiación emitida.

Tipo de examen	Edad				
	0	1	5	10	15
Abdomen AP	110	340	590	860	2010
Tórax PA/AP	60	80	110	70	110
Pelvis AP	170	350	510	650	1300
Cráneo AP	/	600	1250	/	/
Cráneo LAT	/	340	580	/	/
	Producto de la dosis por el área (mGy.cm ²)				
Cistouretrografía de micción (MCU)	430	810	940	1640	3410
Examen de tracto gastroduodenal con bario	760	1610	1620	3190	5670
Serie esofágica con deglución bario	560	1150	1010	2400	3170

Fuente: ACR. 2019 (25).

En la práctica pediátrica, la introducción de tomógrafos helicoidales y luego multiformes, ha llevado a un incremento en el número de exámenes por este método. Aun cuando la Tomografía Computarizada (TC) representa un 10% de los estudios radiológicos, aporta aproximadamente un 65% de las dosis de radiación por este concepto. Diferentes estudios han evaluado y

advertido sobre la falta de ajuste en los factores de exposición en niños sometidos a este examen, ya que se mantenía la dosis de adultos, recomendándose sacrificar calidad de imagen, pero exponer menos al paciente.

Se demostró un incremento del riesgo de mortalidad por cáncer con dosis mayores a 100 mSv, buena evidencia con dosis entre 50 y 100 mSv y razonable evidencia de incremento del riesgo con dosis entre 10 y 50 mSv. Por otra parte, en nuestro país existen factores sociales, como por ejemplo, justificar licencias postnatales, que mantienen una alta demanda por estudios radiológicos (esófago, estómago y duodeno), generalmente innecesarios desde la perspectiva clínica. Esto conlleva un aumento en las dosis de radiación en la población pediátrica (2,3).

Generalidades de la radiación ionizante disponible

Efectos observables

Cada tipo de exposición trae consigo una línea de continuidad entre la necesidad de la prueba y la exposición que la misma genera. De esta manera, se han identificado puntualmente los siguientes efectos:

1. Efectos determinísticos (previsibles o no estocásticos). Dependen de la dosis administrada y pueden producir daño celular por sobre la dosis umbral. Ejemplo, alteraciones digestivas, anemia, caída del cabello, esterilidad, radio dermatitis, cataratas, etc. (4).

2. Efectos estocásticos (imprevisibles o probabilísticos). Estos dependen únicamente del azar, independientes de la dosis. De esta forma, si solo un fotón de rayos X impacta en un punto de una célula especialmente sensible, podría ser capaz de provocar lesiones como malformaciones hereditarias o generar el desarrollo de un cáncer. Afortunadamente, la posibilidad de que se produzcan efectos estocásticos es baja, pero existe y aumenta con las sucesivas exposiciones a los rayos X, ya que las dosis son acumulativas de por vida. Por lo tanto, por escasa que sea la dosis, no hay radiación sin riesgo.

Al respecto, cabe señalar que una pequeña parte de las mutaciones genéticas y de las neoplasias malignas pueden atribuirse a la radiación natural de fondo (5-6). Es determinante identificar las fuentes de radiación, entendiéndose que existen: **Fuentes naturales** que aportan aproximadamente

el 82% de la radiación recibida: a) Radiación cósmica: 8%. b) Radiación terrestre: 8%. c) Radón: 55%. d) Radiación interna: 11%. Y **fuentes artificiales** que aportan menos del 18% del total: a) Rayos X médicos: 10%. b) Medicina nuclear: 4%. c) Productos de consumo un: 3% (7).

En cuanto a las medidas esenciales en radio protección tenemos: La medida de la dosis absorbida *Gray*, que se relaciona con la unidad tradicional. *Rad* por un simple factor de escala: $1Rad= 0.01Gray$. b). La medida de la dosis efectiva, que relaciona la dosis al daño biológico asociado. Su unidad vigente es el *Sievert* relacionada a la unidad tradicional *Rem*, $1Rem=0.01Sv$. En radiología es más frecuente hablar de *miliSievert* (mSv): $1 Sievert= 1000 mSv$ (8).

Evidencia del riesgo

Figura 1. Imagen simbólica sobre la importancia del efecto de la Radiología en comunidad pediátrica.



Fuente: Asociación Colombiana de Pediatría, vol. 10 del 2019.

Para una población global el riesgo de cáncer se incrementa en un 10%, cuando se recibe una dosis única de 1 Sv (1000 mSv). Si se limita al adulto de edad media, el riesgo llega al 1%. Al contrario, cuando se acota a edades inferiores a los 10 años asciende al 15%. La revisión de una serie de casi

5.000 niñas con repetidos estudios radiológicos por escoliosis, muestra una incidencia de cáncer de mamas similar al de dosis equivalentes en supervivientes japoneses de la bomba atómica. Está determinado que, a cualquier dosis asociada a un evento específico como un estudio radiológico, su repetición en el tiempo futuro acumula el daño asociado y aumenta la probabilidad de aparición de cáncer. El riesgo en la edad infantil por la práctica de estudios de tomografía computarizada, se incrementa por debajo de los 10 años y progresa conforme se acerca al período neonatal (9).

Es claro entonces que el mayor riesgo en población pediátrica sometida a estudios radiológicos, está relacionado con el mayor potencial de vida y la probabilidad de estudios radiológicos futuros. A ello se suma la alta capacidad mitótica y mayor sensibilidad a la radiación a esta edad, especialmente de algunos órganos como tiroides, mama, gónadas y medula ósea. La frecuencia se duplica en el sexo femenino por la presencia del cáncer de mama y factores hormonales no bien aclarados. Un factor técnico está dado por los valores absolutos de radiación profunda, recibidos como consecuencia del menor diámetro corporal.

Así, en estudios experimentales, se constata que, para un adulto de 30 cm de diámetro abdominal, la dosis profunda en su centro geométrico es del 50%. En un paciente pediátrico de 10 cm. de diámetro, la dosis central es del 80%. Las dosis de una sola exploración pediátrica pueden ir desde 1 mSv a 8 mSv. Aproximadamente, la mitad ha tenido por lo menos tres exploraciones, a lo que hay que agregar estudios polifásicos, lo que incrementa considerablemente las dosis acumuladas. Una exposición innecesaria se asocia a riesgo innecesario. Entre los cánceres más probables de ser originados por las radiaciones ionizantes, se encuentran los de médula ósea, excepto la leucemia linfática crónica, el cáncer de mamas, tiroides, hueso y pulmón (10).

La radiación juega un papel importante en la incidencia de leucemias en niños. Estudios efectuados en madres que recibieron dosis de 50 mSv sobre el feto por procedimientos diagnósticos, durante el segundo y tercer trimestre del embarazo, demostraron que podía duplicarse el riesgo de leucemias de estos niños, hasta los 10 años. De aquí que la radiación materna debe ser bien argumentada y justificada. Vale la pena identificar las diferentes dosis de los procedimientos diagnósticos a un número similar de radiografías de tórax y radiación por fuentes naturales (11).

Tabla 2. Relación comparativa de los diferentes tipos de radiación producida por la toma de Rayos X de Tórax, con un periodo equivalente en tiempo de exposición a radiación natural.

Procedimiento diagnóstico	Dosis efectiva (mSv)	Nº Rx de tórax	Radiación natural
Radiología			
Tórax	0,02	1,0	3 días
Extremidades	0,01	0,5	1,5 días
Cráneo	0,07	3,5	11 días
Columna Dorsal	0,70	35	4 meses
Columna Lumbar	1,30	65	7 meses
Abdomen	1,00	50	6 meses
Pelvis	0,70	35	4 meses
Urografía	2,50	125	14 meses
Rx EED	3,00	150	16 meses
Enema opaco	7,00	350	3,2 años
TC de cráneo	2,30	115	1 año
TC de tórax	8,00	400	3,6 años
TC de abdomen	10,00	500	4,5 años
Cintigrafía			
Renal	1,00	50	6 meses
Tiroidea	1,00	50	6 meses
Oseo	4,00	200	1,8 años

Nota: Se usa la radiología de torax como referencia por ser más frecuente y por requerir baja dosis de radiación.

Fuente: ACR / 2019 (25).

Los efectos biológicos de la Radiación Ionizante (RI) derivan del daño que esta produce en la estructura química de los componentes de las células. Los riesgos tisulares ocurren cuando los niveles de exposición a la RI son elevados. Son raros en niños, y pueden incrementar un poco la posibilidad de desarrollar cáncer más tarde. El riesgo de cáncer inducido por estos rayos es mayor en los pacientes jóvenes, mientras que el riesgo general es bajo para las exposiciones a las IM, independientemente de la edad del paciente. Otros Estudios realizados en la población sobreviviente del accidente atómico de *Hiroshima y Nagasaki* han demostrado que aumentó el riesgo de neoplasias malignas en aquellos sometidos a dosis relativamente bajas de RI. Algunas comparables a las usadas en las pruebas radiológicas, menos de 150 milisievert.

Este riesgo es estocástico, es decir, que su probabilidad aumenta con la dosis de RI, pero la severidad de la neoplasia no se predice por la dosis. Además, registra periodos de latencia relativamente largos: se estiman entre dos a cinco años, como mínimo, para las leucemias, y cinco a diez años para tumores sólidos. En algunos reportes de estudios metacéntricos se encontró, que el uso de TC en niños con dosis acumulativas de cerca de 50 mGy podría casi triplicar el riesgo de leucemia y dosis de 60 mGy, también podrían

aumentar tres veces el riesgo de cáncer de cerebro (11). En otros estudios realizados en el reino unido se estimó cómo estos tipos de malignidad son relativamente raros, el riesgo absoluto relativo es pequeño: en los diez años posteriores a la primera exploración en pacientes menores de diez años, se estima que ocurra un caso en exceso de leucemia y uno de tumor cerebral por cada 10.000 TC de cabeza.

El número de Tomografías Computarizadas craneales realizadas por trauma cefálico en los niños ha aumentado en varios países, probablemente debido a la combinación de acceso más fácil a los tomógrafos con tecnologías más eficientes y a la preocupación entre los médicos de ser incapaces de identificar con certeza lesiones intracraneales, basados solo en la condición clínica del niño. Una manera de aumentar la sensibilidad y especificidad clínicas (es decir, minimizar las lesiones intracraneales clínicamente significativas y las investigaciones innecesarias), es desarrollar y utilizar reglas de decisión clínica basadas en la evidencia (12).

Durante el embarazo, la exposición a radiografías diagnósticas de la unidad materno-fetal durante el embarazo debe evitarse, a menos que sean absolutamente necesarias, para evitar los potenciales efectos dañinos en el feto en vía de desarrollo, donde la actividad mitótica es alta y su tamaño pequeño lo hacen vulnerable (13). Se desconocen los efectos reales a largo plazo de la exposición a la RI temprana en el feto.

En cuanto a la exposición en Neonatos Prematuros Extremos especialmente, se debe regular la necesidad de múltiples exámenes, ya que con frecuencia, sus presentaciones patológicas a nivel respiratoria, gastrointestinal y en el neurodesarrollo, lo requieren. Por tanto, no es claro el nivel de exposición a la RI seguro para este grupo de neonatos. Algunos autores encontraron, que la que excede las máximas recomendadas (1.000 μ Sv) y tiene alto riesgo de secuelas a largo plazo ocurre en 12,1% de los niños con menos de 33 semanas de gestación durante su estadía en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales UCIN.

La colocación de catéteres (22%) sumó el 19,2% de la exposición a RI total, y las evaluaciones gastrointestinales la más alta cantidad de exposición a RI (41,8%). Por esta razón, recomiendan considerar procedimientos alternativos a la radiografía y la fluoroscopia en esta población vulnerable en la UCIN, y usar otras estrategias de IM, como el ultrasonido, que no ha

demostrado ningún efecto perjudicial y se considera seguro cuando se utiliza para las indicaciones apropiadas (14).

Figura 2. Imagen pediátrica de un paciente con carcinomatosis generalizada por exposición excesiva de radiación.



Fuente: Asociación Colombiana de Pediatría, vol. 10 del 2019.

Medidas ineludibles

Es imprescindible hablar y poner en práctica lo que enmarca el concepto “**Alara** (*As Low As Reasonably Achievable*, es decir «tan bajo como sea razonablemente alcanzable). “La comisión internacional de protección radiológica”, creada en 1928, viene estableciendo, periódicamente, los límites de dosis para la población en general y el personal expuesto. Las sucesivas propuestas recomiendan una progresiva disminución de las dosis máximas permisibles (15).

En 1965, esta comisión, introdujo el concepto Alara del inglés «*as low as reasonably achievable*» o «utilizar una dosis tan baja como, razonablemente, posible». El límite de la dosis efectiva para el público en general es de 1mSv/año y el del personal profesionalmente expuesto de 100 mSv/año durante un período consecutivo de cinco años, sujeto a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial. La razón de esta política estriba en la información, ahora conocida, acerca de los efectos cancerígenos evolutivos a raíz del lamentable uso de la bomba atómica en Japón sobre la

población civil (5), algunos de los cuales recibieron dosis de radiación en el rango de las generadas por estudios radiológicos diagnósticos rutinarios, especialmente incrementadas con el advenimiento de la tomografía computarizada (16).

Bajo este concepto y sin dejar de lado los indudables aportes al diagnóstico de la radiología, debe primar el sentido común que limite su indicación, evitando sobre todo aquellos exámenes, que no van a aportar datos decisivos para el manejo clínico del paciente. Un estudio radiológico útil es aquél cuyo resultado, positivo o negativo, contribuye a modificar la conducta diagnóstica o terapéutica. Dicho de otra forma, hay que reducir la exposición innecesaria. Muchas indicaciones no cumplen estos cometidos y exponen innecesariamente a los niños. Se estima que entre un 25% y un 40% de las TC son cuestionables en términos de su necesidad (17).

Estudio imageneológico más empleado

Diferentes tipificaciones de exposición han corroborado, que la mayor parte de la población pediátrica, está expuesta a un mínimo de 2 tomografías axiales computarizadas (TC) en su primera infancia. La TC es una técnica diagnóstica muy valiosa y su uso ha aumentado rápidamente en los últimos años. A pesar del beneficio inmediato para el paciente, que puede ser sustancial, las dosis relativamente altas de radiación en comparación con la radiología convencional, pueden tener consecuencias negativas (18).

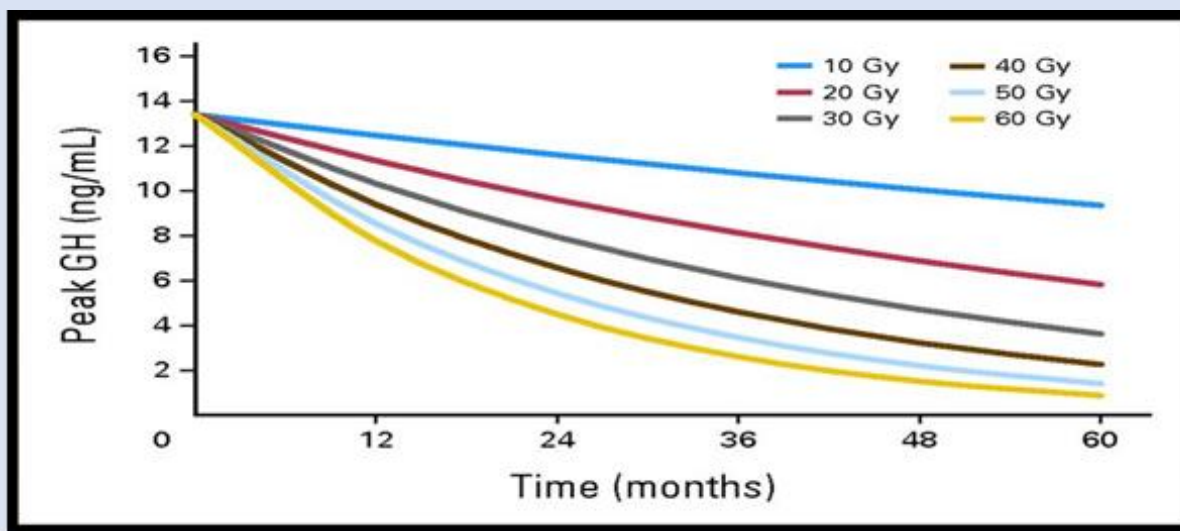
Se ha identificado que el cáncer aumenta después de las TC realizadas en la infancia y la primera edad adulta. Siendo los efectos más preocupantes la leucemia y los cánceres intra-cerebrales, ya que la médula ósea y el cerebro son tejidos muy radiosensibles, especialmente en la infancia. Además, se trata de los tejidos que con más frecuencia son expuestos a las radiaciones de las TC en la infancia, y las leucemias y los tumores cerebrales son los cánceres más frecuentes en estas edades. Se estima que la asociación es positiva para las dosis de radiación de las TC y leucemia (exceso de riesgo relativo [ERR] por cada mgy de radiación: 0,036; intervalo de confianza del 95% [IC 95%]: 0,005 a 0,120) y también tumores cerebrales (ERR: 0,023; IC 95%: 0,010 a 0,049). El uso de la TC en niños que conlleva una dosis acumulada en la médula ósea de 50 mgy triplica el riesgo de leucemia (riesgo relativo [RR]:

3,18; IC 95%: 1,46 a 6,94) y una dosis de 60 mgy casi triplica el riesgo de cáncer cerebral (RR: 2,82; IC 95%: 1,33 a 6,03).

Teniendo en cuenta las dosis habituales de las TC hechas después de 2001 en niños menores de 15 años, 5-10 TC craneales producen una acumulación aproximada de 50 mgy en la médula ósea y 2-3 TC craneales causan una acumulación aproximada de 60 mgy en el cerebro (19). Como estos cánceres son relativamente raros, los riesgos absolutos acumulados son bajos: en los diez años posteriores a la primera TC en pacientes menores de diez años, se estima que se dará un caso adicional de leucemia y un caso adicional de tumor cerebral por cada 10 000 TC realizadas.

La estimación descrita se basa en un estudio realizado por el colegio Americano de Radiología en 2018 en donde se incluyeron 140 pacientes sin enfermedad maligna previa a los que se hizo una TC por primera vez entre 1985 y 2002, cuando eran menores de 22 años. Se obtuvieron datos de incidencia, mortalidad y pérdidas de seguimiento del registro central del *National Health System* entre 1985 y 2008 (19).

Gráfico 1. Asociación positiva de las dosis de radiación con leucemia y cáncer intra-cerebral.



Fuente: Tomado de la Asociación Colombiana de Radiológica vol. 12 /2019 (25).

Principales causas de mal uso de los estudios radiológicos

- 1) Repetición innecesaria de exámenes efectuados recientemente, en otro hospital o servicio de urgencia. Siempre deben ser requeridos.
- 2) Solicitud de exámenes que no alteran el manejo del paciente, bien porque los hallazgos son irrelevantes o improbables.
- 3) Controles innecesarios antes que la enfermedad evolucione o mejore.
- 4) Petición de exámenes inadecuados para un problema clínico específico. Ante la duda del clínico es conveniente la interconsulta al radiólogo.
- 5) Falta de aporte de antecedentes clínicos junto a la solicitud del examen, con los cuales el radiólogo podría sugerir una técnica alternativa con igual o mejor rendimiento para el paciente y con un menor riesgo de irradiación.
- 6) Solicitud de exámenes radiológicos por presión de los familiares o razones sociales, sin existir una razón clínica que los avale (19).

Recomendaciones

Lo ideal es la conformación de un comité de protección radiológica en cada hospital pediátrico o servicio de pediatría con la participación de radiólogos, tecnólogos médicos, pediatras, enfermeras, técnicos paramédicos y el apoyo de la dirección del hospital (20). Este comité se debe abocar a reducir las dosis de radiación mediante:

- A) Racionalización de los estudios radiológicos, especialmente los contrastados y tomografías computadas. Optar por técnicas alternativas, tales como ecotomografía o resonancia magnética, dependiendo de su disponibilidad y utilidad para el problema clínico en estudio. Existen algunas buenas guías clínicas para la solicitud de estudios de diagnóstico por imágenes en pediatría recomendada por algunas instituciones (21).

Tabla 3. Guía de práctica clínica para la solicitud de estudios de diagnóstico por imagen en pediatría, del Sistema Nervioso Central, Columna, Cardiopulmonar.

SNC			
Cráneocinostosis	Rx cráneo	TC 3D	Define cirugía
Macrocefalia asintomática	US Doppler	TC	
Hidrocefalia con disfunción valvular	Rx, US	TC, MN, RM	MN para fractura de derivación
Cefalea	No Rx de cráneo		Afecta hasta un 60% de los niños entre 7 y 15 años
Cefalea con síntomas neurológicos	No Rx de cráneo	TC, RM	HSA, etc
Convulsiones focales o generalizadas	No Rx de cráneo	RM, TC	RM superior a la TC
Posible sinusitis con fiebre	Rx de CPN	TC	Evaluar meatos
Columna			
Tortícolis	US		Fibromatosis colli
Sospecha Disrafia	US en RN y lactantes	RM	RM ante síntomas neurológicos
Escoliosis	Rx columna total	TC, RM	En neurofibromatosis
Cardiopulmonar			
Infección pulmonar aguda	Rx tórax		Rx control sólo para evolución tórpida, neumonía redonda
Sospecha de cuerpo extraño	Rx tórax inspir./expiración		Rx normal y sospecha alta: Fibrobroncoscopia
Sospecha de cardiopatía	Rx tórax	Ecocardiografía, RM cardíaca	

Fuente: ACR / 2019 (25).

Tabla 4. Guía de práctica clínica para la solicitud de estudios de diagnóstico por imagen en pediatría, del Digestivo y Genitourinario.

Digestivo			
Ingestión de cuerpo extraño radioopaco	No siempre Rx		Salvo punzantes o pilas alcalinas
Trauma abdominal	US	TC	Con contraste
Masa abdominal	US	TC, RM	
Dolor FID	US		Clínica, sexo, edad
Genitourinario			
Criptorquidia	US	RM	RM (US negativa)
Infección urinaria	US		Cistografía, MN
Hematuria traumática	US	TC	Técnica de elección

Fuente: ACR / 2019 (25).

B) Reducción de la dosis: Es responsabilidad del radiólogo y equipo técnico responsable y debe orientarse especialmente a estudios de tomografía computada.

Reducción de los factores de exposición

- mAs: Existe una relación lineal entre el mAs y la dosis de irradiación. Para esto se dispone de tablas para el cálculo del mAs por kilo de peso y área a estudiar.
- Pitch: Aumentarlo disminuye la dosis. Recomendado no más allá de 1.5.
- kV: Si se reduce el kV se baja la dosis, aumenta el ruido y disminuye el contraste de la imagen, pero hay datos que sugieren que un kV de 80 puede proporcionar una calidad aceptable de la imagen en recién nacidos (22).

En suma, se deben ajustar para obtener una mínima dosis con calidad suficiente que aporte al diagnóstico.

C) Reducir el estudio sólo al área de interés.

D) Limitar el estudio polifásico en tomografía computada, sólo a casos estrictamente necesarios como, por ejemplo, tumores, lesiones focales y reducir o eliminar el número de cortes sin contraste.

E) Protección para órganos de superficie más sensibles, tales como mamas, tiroides, gónadas y que están fuera de la zona de estudio.

F) Implantación de tarjeta o ficha individual.

G) Información a usuarios y población general, evitando un clima injustificado de alarma con la entrega de una cartilla educativa a los padres. Recordar los anteriormente citados al inicio, que complementan la importancia y el verdadero rol interdisciplinario del médico tratante y el radiólogo.

Apéndice de preguntas más frecuentes

Durante este apartado se reunirán aquellos interrogantes que embargan al operador dependiente, al médico tratante y al familiar responsable. Tenemos así:

1. *¿Cuáles exámenes de rayos X son los que más contribuyen a la dosis individual de los pacientes y a la dosis colectiva de la población?*

R/ Los exámenes radiológicos de CT y las intervenciones guiadas con rayos X son de elevadas dosis, mayores que otros exámenes radiológicos. La dosis de CT a los pacientes es un tema importante para los niños, dado que hay informes que sugieren que en algunos centros los datos de exposición utilizados para exploraciones de niños son los mismos que los de los adultos.

Este problema es de menor importancia relativa en intervenciones guiadas por rayos X, puesto que en la mayoría de los equipos modernos, la máquina ajusta automáticamente los datos de exposición en función del grosor del cuerpo atravesado por el haz de rayos X. Debido al uso creciente de la CT, las exploraciones de esta modalidad son las que más contribuyen a la dosis colectiva de los exámenes radiográficos. Se ha publicado que el 30% de los adultos y niños reciben tres o más exploraciones de CT (23).

2. *¿Hacen falta consideraciones técnicas especiales para reducir la exposición a los pacientes y mantener una buena calidad de imagen en radiografía pediátrica?*

R/ Normalmente, no se necesitan rejillas anti difusoras en radiografía pediátrica, dado que la mejora de la calidad de imagen que éstas aportan no justifica el aumento de dosis a los pacientes, excepto en niños mayores de 10 años y cuando la corpulencia es tal que aumenta mucho la radiación dispersa (23).

- Un buen grado de detalle en la imagen se consigue manteniendo un equilibrio entre el uso de un foco pequeño y un tiempo de exposición corto.
- Se deberían emplear combinaciones de pantallas y película de alta sensibilidad que permitan reducir la exposición a la radiación y el tiempo de exposición, ya que la pérdida de resolución que éstas ocasionan es insignificante en la mayoría de las indicaciones clínicas.
- En general, el uso del control automático de exposición (AEC) no es apropiado para niños dado que los sensores (su tamaño y geometría) están normalmente diseñados para pacientes adultos. En su lugar, es más seguro y fácil utilizar tablas de exposición que contengan la técnica

radiográfica, el grosor de la parte del paciente atravesado por el haz de rayos X y la presencia o ausencia de rejilla anti difusora.

- Se debería limitar el tamaño del haz de radiación mediante la colimación.
- Deberían colocarse adecuadamente dispositivos de blindaje eficaces para proteger a los tejidos en cuestión y evitar repetir exámenes innecesariamente.
- Debería proporcionarse inmovilización, cuando se necesite, mediante accesorios especializados si fuera posible.

3. *En cuanto a la dosis para la formar la imagen, ¿qué diferencia hay entre la de la combinación de pantalla y película y la digital en radiografía pediátrica?*

R/ En general, los detectores digitales ofrecen la posibilidad de reducir la dosis de manera similar a como ocurre con la radiografía de adultos. Hay que subrayar que mientras la sobreexposición en el caso de combinaciones de pantalla y película puede dar una imagen no apta para el diagnóstico, la sobreexposición en el caso de los detectores digitales puede no ser reconocida tan fácilmente, dado que la calidad de imagen resultante puede ser aceptable.

La dosis de las imágenes digitales puede aumentar también, por no detectarse si los tecnólogos exponen dos veces (lo cual se puede hacer en la mayoría de los sistemas disponibles en la actualidad). Esta facilidad y comodidad en la toma de imágenes, da lugar a que se exponga una zona mayor del cuerpo del paciente o a que se repita la exposición. Si bien se puede reducir la dosis con la radiología digital, muchos estudios indican que, en la práctica real, se está aumentando la dosis a los pacientes, sobre todo en lugares en los que no se lleva a cabo la optimización (24).

4. *¿Puede la imagen de fluoroscopia de baja dosis reemplazar a los exámenes radiográficos convencionales?*

R/En general la respuesta general es: NO. Una imagen en película obtenida con combinaciones de alta sensibilidad, proporciona un documento permanente de la zona necesaria, por ejemplo, la columna. Sin embargo, cuando no se necesita gran detalle en la imagen, por ejemplo, en exámenes de seguimiento de pacientes con escoliosis, o para ver la diferencia de longitud entre ambas piernas, puede ser suficiente una imagen de radioscopia pulsada

grabada con la memoria de última imagen, sin necesidad de tomar una radiografía (24).

5. *¿Cuáles son las medidas más significativas que puedo adoptar para reducir la dosis a los pacientes en exámenes de fluoroscopia?*

Muchas de estas medidas son similares a las recomendadas para los exámenes de adultos: se debería colocar al paciente tan cerca del intensificador de imagen como sea posible. El tubo de rayos X debería estar lo más lejos posible del paciente, con el fin de evitar que la dosis a la piel sea excesiva. Se debería utilizar la frecuencia de imágenes más baja que se pueda aceptar y la memoria de última imagen. En algunos centros se prefiere fijar en el equipo una cota inferior de kVp que impida que el valor de kVp caiga por debajo de este valor, como, por ejemplo, 70 kVp para pacientes pediátricos y 80 kVp para adultos, la dosis al paciente se reduce también con filtración adicional de cobre (24).

6. *¿Hay situaciones en las que yo debería plantearme la posibilidad de reducir el número de proyecciones radiográficas?*

R/La respuesta breve es SÍ. Al obtener radiografías de huesos largos en niños, se debe radiografiar también la otra extremidad, si el radiólogo lo necesita, y limitar las proyecciones que se obtengan. En el examen radiográfico de tórax puede que no sea siempre necesaria la proyección lateral. Cuando esté justificado un examen de seguimiento, se debería restringir el número de proyecciones a la evaluación de los hallazgos anteriores. El examen de la región lumbar con fines de seguimiento y a veces el examen normal, es un ejemplo de obtención de demasiadas proyecciones, tales como AP, laterales, oblicuas y radiografías al acecho de la quinta vértebra lumbar y sacro (L5-S1) (24).

7. *¿Cómo debería tratar el problema del posible embarazo de pacientes adolescentes?*

R/La información que se necesita sobre el posible embarazo, debería obtenerse de la propia paciente. En niñas que ya menstrúan, para las cuales se ha solicitado un examen de dosis elevada, tales como la CT de abdomen o los exámenes de intervención, debe tenerse en cuenta la posibilidad de embarazo (24).

8. *¿Cómo reduzco yo la dosis en CT pediátrica de tórax?*

R/Las medidas recomendadas son: La calidad de imagen de CT es generalmente superior a la que se necesita para diagnosticar con confianza. El mantenerse conscientes de esto puede ayudar a reducir considerablemente la dosis a los pacientes. Los radiólogos y médicos deberían ser conscientes de que las imágenes con nivel alto de ruido, incluso si su apariencia no es muy clara, pueden dar información suficiente para el diagnóstico. La reducción de mAs para un valor determinado de kVp se utiliza con éxito en muchos centros y es el método más eficaz de gestión de dosis en niños y también en adultos. No hay consenso en cuanto a la reducción del valor de kVp en exámenes de CT (25).

Muchos autores sugieren que se elijan valores de 100–200 mAs para CT de tórax de alta resolución en niños. Sin embargo, se pueden obtener estudios fiables utilizando valores mucho menores de mAs. En niños que cooperan y son capaces de aguantar la respiración durante la exploración se puede reducir dicho valor hasta 34 mAs y en niños que no cooperan, se puede reducir hasta 50 mAs. Siempre que haya órganos radiosensibles en el área expuesta, tales como mama o tiroides, se les debería aplicar un blindaje. Para proteger la mama en desarrollo (el comienzo o primer rudimento de mama, el tejido todavía no desarrollado) con un blindaje de 2mm de espesor de bismuto recubierto de látex se reduce aproximadamente un 40% la dosis a la misma. Entre los recientes desarrollos tecnológicos, se incluye la modulación de intensidad de corriente del tubo, con la cual la corriente se ajusta al grosor y densidad de los tejidos para mantener un nivel constante de ruido en la imagen (25).

9. *¿Cómo reduzco yo la dosis en CT pediátrica de abdomen?*

R/En la estrategia para reducir la dosis se debe incluir el que se obtengan solamente los exámenes de CT que sean necesarios. Debería darse prioridad a la resonancia magnética, MRI y el ultrasonido, US. Si fuera posible, se debería adaptar el examen a dar respuesta a las cuestiones planteadas por el médico solicitante, por ejemplo, cuando se solicita un examen de abdomen no siempre se necesita una exploración de pelvis y quizá se puedan restringir los exámenes de CT de seguimiento para un órgano

específico. Además, los parámetros de obtención de imágenes, tales como el kVp y mAs se han de ajustar al tamaño del paciente.

Existen tablas de datos de exposición basados en el tamaño para CT de multi-detectores y angiografía de CT de cuerpo en niños. En un estudio, se clasificaron los niños asignando colores en función del peso, lo cual permitió reducir errores de exploración considerablemente, al seleccionar de parámetros para CT pediátrica de multidetectores. Entre los recientes desarrollos tecnológicos, se incluye la modulación de intensidad de corriente del tubo, con la cual la corriente se ajusta al grosor y densidad de los tejidos para mantener un nivel constante de ruido en la imagen. Por último, se debería restringir el uso de exploraciones con múltiples fases cuanto sea posible (25).

10. *¿Qué medidas de seguridad se recomiendan para las personas que sujetan al niño durante un examen de CT?*

R/Como principio general, las BSS establecen que sean los padres o familiares quienes sujeten al niño durante un examen radiológico, en lugar del personal de la instalación de radiología. Y cuando los padres y familiares sujeten al niño en el examen, se les debe facilitar el blindaje adecuado (25).

Conclusiones

Está claro que la exposición radiológica innecesaria acumulativa, genera a largo plazo mayor incidencia en el desarrollo de leucemias y cáncer a nivel intracraneal. Una de las razones que hace que este suceso sea subvalorado actualmente, es que la radiación ionizante, debido a que no produce dolor en el momento inmediato, pasando así, a verse como una entidad inexistente, cuando realmente es silente, lo cual deja una invitación reflexiva para el familiar responsable del paciente que la exige como práctica clínica rutinaria, así como para el operador dependiente que la ejecuta.

Siempre se deben seguir los principios de “tan baja como sea razonable” (ALARA, sigla correspondiente en inglés), cuando se escoge el protocolo radiológico en el equipo para minimizar la exposición a la RI del paciente pediátrico. La resonancia magnética (RM), que soluciona el problema de la RI, no siempre se puede realizar, porque requiere sedar al paciente y el procedimiento toma entre 30 y 40 minutos.

Durante su crecimiento, los niños son más sensibles a los efectos nocivos de la radiación. Su protección es más importante que la de los adultos, por varios motivos: son más radiosensibles, tienen más años para que se manifiesten los daños siempre tardíos de la radiación y transportan el material genético a las siguientes generaciones. La dosis recibida se reduce con estrategias simples, como:

- ✓ No hacer pruebas rutinarias injustificadas, hacer solo las imprescindibles.
- ✓ No hacer las pruebas con radiación ionizante (rayos X). Evitar las radiografías y la tomografía computarizada. Usar ecografía (ultrasonidos) o resonancia magnética (radiación electromagnética no ionizante).
- ✓ No hacer más proyecciones que las imprescindibles.
- ✓ Reducir la superficie/volumen irradiado al mínimo imprescindible.
- ✓ Evitar las repeticiones por movimiento: inmovilizar.
- ✓ Reducir los parámetros para emitir menos radiación por segundo (kVp y más bajos).
- ✓ Usar medios de protección como chalecos o delantales plomados.
- ✓ Reducir el número de controles o espaciarlos en pacientes crónicos.
- ✓ Colimando, es decir limitando la exposición justo a la zona de interés clínico.

Finalmente, los niños son diferentes a los adultos en muchas cosas: su cuerpo es más pequeño, está en constante crecimiento y sus órganos son más sensibles a la radiación que los órganos de los adultos. “Con la misma prueba diagnóstica, un niño puede recibir hasta cuatro veces más radiación que un adulto si no se utiliza la técnica apropiada”, lo que se traduce en cuatro veces más posibilidades de desarrollar un cáncer radioinducido.

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas

Protección de personas y animales: Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, por cuanto su

desarrollo se hizo con temporalidad retrospectiva. El proyecto fue revisado y aprobado por el comité de investigación del centro hospitalario. En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así como la integridad de los pacientes.

Confidencialidad de datos: Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado: Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación: No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es): Los autores manifiestan que no existe ningún(os) conflicto(s) de interés(es), en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Referencias

1. García C, Meneses L, Guiraldes E y col. Uso y abuso del estudio radiológico de esófago, estómago y duodeno en pacientes pediátricos: Necesidad de una adecuada normativa y de una estandarización del examen. *Rev Chil Radiol* 2020; 11: 23-29.
2. Mettler FA Jr, Wiest PW, Locken JA., Kelsey CA. CT scanning: Patterns of use and dose. *J Radiol Prot* 2020; 20: 347-348.
3. Paterson A, Frush DP, Donnelly LF. Helical CT of the body: Are settings adjusted for pediatric patient? *AJR Am J Roentgenol* 2020; 176: 297-301.
4. Mujica F. Radiaciones recibidas, límites de radiación actuales en el mundo. 2020.
5. Pierce DA, Preston DL. Radiation related cancer risk at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res* 2020; 154: 178-186.
6. Slovis TL. ALARA Conference Proceedings. The ALARA concept in pediatric CT-intelligent dose reduction. *Pediatr Radiol* 2020; 32: 217-317.
7. Pehsu Valencia. Hospitales sostenibles: Hacia una asistencia más saludable. Cómo disminuir el uso de Radiaciones ionizantes en Pediatría. 2020.589870.
8. Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ. et al. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2020; 176: 289-296.

9. Radiation risks and pediatric computed tomography (CT): Guide for health care providers. National Cancer Institute. BSCP 2020; 26: 153-169
10. Pérez V, Avila R, Wiehoff A y col. Estado actual del diagnóstico por imagen en pediatría. Guía clínica. Mesa redonda XXXI Reunión anual conjunta Sociedad Canaria de Pediatría. Fuerteventura. BSCP 2020; 26: 155-168.
11. Guía de práctica clínica para la solicitud de estudios de diagnóstico por imagen en pediatría. Servicio de Radiología. Hospital Universitario Materno-Infantil. Las Palmas, 2019.
12. Donnelly LF, Emery KH, Brody AS. et al. Perspective. Minimizing radiation dose for pediatric body applications of single detector helical CT: strategies at a large children's hospital. AJR Am J Roentgenol 2019; 176: 287.
13. Arce JD y cols. TAC en pediatría: Técnica y precauciones. Rev Chil Radiol 2019; 7: 54-55.
14. Fricke BL, Donnelly LF, Frush DP. et al. In-plane bismuth breast shields for pediatric CT: Effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data. AJR Am J Roentgenol 2019; 180: 407-411.
15. Pehsu Valencia. Informativo para padres. Exploraciones con Rayos X en pediatría. Beneficios y precauciones. 2019; 140: 457-421
16. Linton OW, Mettler FA. National conference on dose radiation in CT, with an emphasis on pediatric patients. AJR Am J Roentgenol 2019; 181: 321-329.
17. Donnelly LF. Reducing radiation dose associated with pediatric CT by decreasing unnecessary examinations. AJR Am J Roentgenol 2019; 184: 655-657.
18. Delgado O. Elementos de radiobiología humana. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. ISP, 2019.
19. Perkins AC. Nuclear medicine: Science and safety. Eastleigh John Libbery. 2a ed. 2019; (4): 83.
18. Hall EJ. Radiation biology for pediatric radiologists. Pediatr Radiol. 2019;39 Sppl 1:S57-64.
19. Mahesh M. NCRP Report Number 160: its significance to medical imaging. J Am Coll Radiol. 2019;6:890-2.

20. Preston DL, Cullings H, Suyama A. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children. *J Natl Cancer Inst.* 2018;100:428-36.
21. Pierce DA, Preston DL. Radiation related cancer risks at low dosis among atomic bomb survivors. *Radiation Res.* 2018;154:178-86.
22. ICRP, 2018. The 2018 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP.* 2018;37(2-4).
23. Pediatric Imaging Appropriateness Criteria, 2012 (en línea) (consultado el 15/10/2018). Disponible en www.acr.org/Quality-Safety/Appropriateness-Criteria/Diagnostic/Pediatric-Imaging.
24. Cohen MD. Pediatric CT radiation dose: how low can you go? *Am J Roentgenol.* 2018;192:1292-303.
25. Asociación Colombiana de Radiológica vol. 12 /2019.