

3. Protección radiológica pediátrica

PEDIATRIC RADIATION PROTECTION

Manuel Francisco Martí Molins

Enfermero en el Hospital Complejo Asistencial Sonsoles, Ávila.

RESUMEN

La protección radiológica mejorada en el campo de la medicina requiere una mejor comprensión de la dosimetría y métodos de protección del paciente, personal y público en general. Los efectos de la radiación en los niños son más nocivos, por lo cual es importante realizar la debida protección radiológica. La *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), ha establecido tres principios que han sido recomendados también por la directiva EURATOM (Comunidad Europea de Energía Atómica) 97/43: la protección, la limitación de las dosis de radiación para las personas expuestas y la justificación de las prácticas. La seguridad radiológica se puede lograr manteniendo la consistencia y precisión de un programa de protección radiológica establecido. Sin embargo, el conocimiento insuficiente de los protocolos y la práctica de dosis de radiación pediátrica ha contribuido a que estos pacientes reciban una dosis de radiación más alta que la necesaria. El objetivo de este trabajo es conocer los métodos de protección radiológica pediátrica y su efecto en la prevención de enfermedades relacionadas con las radiaciones ionizantes. Para ello se realizó una revisión sistemática mediante las bases de datos PubMed, ScienceDirect y en la Biblioteca Virtual de Salud (BVS). Los términos empleados fueron: *Ionizing radiation, Radiological Protection, Radiation protection, Pediatrics, Childhood and Radiation risk*. Se obtuvo un total de 152767 artículos, de los cuales se seleccionaron 10 artículos en donde se aplicaron protocolos de investigación y estudios sobre la protección radiológica en pediatría. Los resultados demostraron que los niños expuestos a radiación ionizante están teóricamente sujetos a un mayor riesgo de carcinogénesis en comparación con la población general y que se debe mejorar el conocimiento de los pediatras sobre la dosis de radiación.

Palabras clave: Protección radiológica, Pediatría, Riesgo de radiación, Radiaciones ionizantes.

ABSTRACT

Improved radiation protection in the medical field requires a better understanding of the dosimetry and methods of protection of patients, staff and the public in general. The effects of

*radiation on children are more harmful, so it is important to perform proper radiation protection. The International Commission on Radiological Protection (ICRP) has established three principles that have also been recommended by the EURATOM (European Atomic Energy Community) directive 97/43: protection, limitation of radiation doses for exposed persons and justification of the practices. Radiation safety can be achieved by maintaining the consistency and accuracy of an established radiation protection program. However, insufficient knowledge of the protocols and practice of pediatric radiation doses has contributed to these patients receiving a higher radiation dose than is necessary. The objective of this work is to know the methods of pediatric radiological protection and their effect in the prevention of diseases related to ionizing radiation. For this, a systematic review was carried out using the PubMed, ScienceDirect and Virtual Health Library (VHL) databases. The terms used were: *Ionizing radiation, Radiological Protection, Radiation protection, Pediatrics, Childhood and Radiation risk*. A total of 152767 articles were obtained, of which 10 articles were selected where research protocols and studies on radiological protection in pediatrics were applied. The results showed that children exposed to ionizing radiation are theoretically subject to an increased risk of carcinogenesis compared to the general population and that pediatricians' knowledge about radiation dose should be improved.*

Keywords: *Radiation protection, Pediatrics, Radiation risk, Ionizing radiation.*

1. INTRODUCCIÓN

Los primeros daños o lesiones por radiación comenzaron a ocurrir poco después de que la raza humana descubriera la radiación. El primer caso descrito apareció en Estados Unidos a partir de noviembre de 1895, presentando quemaduras en la piel justo después de varios meses luego de que Roentgen W.C. descubriera los Rayos X. Después de este evento, se han informado daños por radiación en las manos y los dedos en individuos de varios países como el Reino Unido y Alemania. En el año 1905 se realizó un descubrimiento sumamente importante, y es que la radiación causa cáncer. Los trabajadores sanitarios han sido informados de estos eventos para que tomen en cuenta las recomendaciones sobre protección radiológica. Sin embargo, debido a las características de que el daño no aparece inmediatamente, estas recomendaciones son ignoradas por muchos trabajadores (Kang, 2016).

En 1896, el ingeniero estadounidense Wolfram Fuchs recomendó por primera vez la protección contra la radiación. Esta se basaba en tres principios fundamentales (Kang, 2016):

1. Hacer la exposición lo más corta posible.
2. No estar cerca de 12 pulgadas (30 cm) del tubo de rayos X.
3. Cubrir la piel con vaselina y dejar una capa extra en el área más expuesta.

Un año después del descubrimiento de rayos X, estos principios básicos del tiempo de protección radiológica, la distancia y el escudo radiológico fueron establecidos formalmente y se formó el Comité de Protección radiológica y Radiografías dentro del Roentgen británico, y el año siguiente comités similares fueron organizados en los Estados Unidos y Francia. La motivación por la necesidad del establecimiento de las normas internacionales para la radiación llevó a la realización del 1er Congreso Internacional de Radiología (ICR) que se celebró en Londres en 1925. En 1928, durante el segundo ICR se organizó el Comité de Protección Internacional de Rayos X y Radioprotección (IXRPC). Dos miembros sobrevivientes de IXRPC, Lauriston Taylor y Rolf Sievert revivieron el comité y cambiaron el nombre del comité en la Comisión Internacional de Protección Radiológica (*International Commission on Radiological Protection*, ICRP), nombre que se usa hasta la fecha (Kang, 2016).

La ICRP es una organización internacional independiente con la finalidad de desarrollar, mantener y elaborar normas, legislación, directrices, programas y prácticas de protección radiológica. Desde su creación en 1928, la ICRP ha proporcionado continuamente recomendaciones y orientación en una amplia gama de temas. Algunos de estos temas incluyen la protección radiológica de trabajadores, pacientes y el público contra la radiación ionizante. Estas recomendaciones se incorporan a la legislación, los reglamentos y las normas de todo el mundo (Cousins, 2015).

La diversidad del trabajo realizado por la ICRP se ha ampliado a lo largo de los años y continúa evolucionando hasta el día de hoy. Sin embargo, existen ciertos desafíos a los que se enfrentan todas las organizaciones de protección radiológica, algunos de los cuales no parecen fáciles de resolver. La ICRP se incluirá en este campo, ya que continúa siendo una autoridad líder en protección radiológica en el futuro. Durante muchos años, la organización ha sido una organización benéfica registrada en el Reino Unido. Esta organización está compuesta por la Comisión Principal, con un presidente, 12 miembros y cinco comités permanentes sobre los efectos de radiación, dosis de radiación, protección en medicina, aplicación de las recomendaciones de ICRP y protección del entorno. La Comisión Principal y la Secretaría Científica de la ICRP trabajan juntas para dirigir, organizar y supervisar el trabajo de los comités y grupos de trabajo. Todos los miembros de la ICRP son voluntarios que sirven términos de 4 años. La membresía está formada por eminentes científicos y responsables políticos en el campo de la protección radiológica. Aunque hay 84 miembros de la Comisión Principal y los Comités, la membresía más amplia se extiende de aquellos involucrados en grupos de trabajo a más de 200 expertos de 30 países (Cousins, 2015).

El sistema de protección radiológica es la base para normas de protección radiológica, orientación, programas y práctica en todo el mundo. El objetivo del trabajo de la ICRP es contribuir a un nivel adecuado de protección contra los efectos perjudiciales de la exposición a la radiación ionizante sin limitar indebidamente beneficios asociados con el uso de radiación. Al preparar sus recomendaciones, la ICRP considera los avances en el conocimiento científico, la evolución de los valores sociales y la experiencia práctica. La formulación de normas, reglamentos y códigos de práctica es responsabi-

dad de otras organizaciones nacionales e internacionales. Las recomendaciones de la ICRP son adoptadas en gran medida por la Agencia Atómica Internacional en las Normas básicas de seguridad, y están incorporados en la legislación nacional de muchos países (Cousins, 2015).

La protección radiológica se enfrenta con frecuencia a preguntas y problemas complejos que requieren aportes de la física y ciencias naturales, así como de las ciencias de la vida y humanidades. El discurso involucra invariablemente a profesionales de diferentes orígenes e intereses, y algunos de ellos se esfuerzan por crear un marco conceptual y un sistema de protección radiológica, y otros más inclinados al marco operacional. Sin embargo, un punto en común en las personas involucradas en este tema es que son considerados "profesionales" por sus pares, sus clientes o pacientes, empleadores y público en general. Un técnico radiológico operacional como profesional de protección puede recurrir a datos de equipos e instrumentos bien establecidos, o utilizar directrices y confiar en el sistema actual de protección radiológica. Por otro lado, la ciencia de la protección radiológica, es un proceso continuo de desarrollo y establecimiento de procedimientos, pautas y estándares. Ambas actividades necesariamente tienen que estar sujetas a consideraciones éticas y deben fundarse en una sólida base científico, técnica y ética (Brandl y Tschurlovits, 2018).

La comunidad internacional ha tenido éxito en el desarrollo y explicación de los fundamentos éticos del sistema actual de protección radiológica. Este sistema de protección radiológica se basa en cuatro valores éticos fundamentales: beneficencia / no maleficencia, prudencia, justicia y dignidad, y enfatiza tres valores procesales: responsabilidad, transparencia e inclusión (Cho et al., 2018).

En la actualidad, existen diversas formas de protegerse de las radiaciones ionizantes artificiales, siendo la distancia, el tiempo y el blindaje las tres principales. En cuanto a la distancia, ha quedado demostrado que el nivel de radiación disminuye con el cuadrado de la distancia, esto quiere decir que mientras la fuente la radiación se aleje por cada metro, la radiación disminuirá cuadráticamente. En lo que al tiempo se refiere, se recomienda utilizar periodos cortos de exposición, con Mili amperaje bajo y Kilo voltaje alto. Por su parte, el blindaje debe realizarse con mamparas plomadas o escudos, protectores tiroideos, delantales plomados, gafas plomadas, protectores gonadales y guantes plomados (Aguirre et al., 2017).

A pesar de que un individuo no esté enfermo o no se realice estudios de imágenes, el cuerpo humano está expuesto constantemente a irradiación, debido a la radiación proveniente del medio ambiente (radiación cósmica, corteza terrestre, gas radón, etc.). Esta radiación es conocida como del medio ambiente o radiación de fondo. Mientras que al realizar un estudio de imagen que conlleve el uso de radiaciones ionizantes, esta última interactúa con las células del organismo causando ionizaciones y excitaciones a nivel del ADN. Con la ionización se pierden electrones de los átomos, trayendo como consecuencia la formación de iones o átomos cargados. Dichos iones cargados tienen la capacidad de interactuar a nivel celular con los átomos y produciendo de esta manera el daño, llegando incluso

Tabla 1. Cantidad de radiaciones y su equivalencia en radiaciones de fondo según los principales estudios radiológicos. Tomada de: Aguirre M et al. (2017). Radioprotección en pediatría. Sección a cargo del Subcomité de Seguridad del Paciente. Rev. Hosp. Niños (B. Aires) 59(266):224-226 / 225.

Estudio Radiológico	Equivale a	Cantidad de R _x de tórax
1 R_x de tórax	1.5 días de radiación de fondo.	1 R _x de tórax.
1 R_x de cráneo	11 días de radiación de fondo.	3.5 R _x de tórax.
R_x de abdomen	6 meses de radiación de fondo.	50 R _x de tórax.
Estudio digestivo	16 meses de radiación de fondo.	150 R _x de tórax.
Enema opaco	3 años de radiación de fondo.	350 R _x de tórax.
TC de cráneo	1 año de radiación de fondo.	115 R _x de tórax.
TC de tórax	3.6 años de radiación de fondo.	400 R _x de tórax.
TC de abdomen	4.6 años de radiación de fondo.	500 R _x de tórax.

a causar la muerte celular. Los mecanismos de ionización y excitación son potencialmente lesivos no solamente para la estructura celular, sino también para el metabolismo y la función del órgano. Cuando el organismo se expone a bajas dosis, tales como las que recibimos a diario con la radiación natural proveniente del medio ambiente, los daños celulares pueden repararse rápidamente. No obstante, cuando se expone a dosis altas (de hasta 10 Rem), algunas células no son capaces de reparar el daño de manera correcta, por lo tanto se transforman o mueren. Si la cantidad de células afectadas es pequeña, los daños no son mayores, debido a que estas células son reemplazadas por unas nuevas (Aguirre et al., 2017).

La radiación de fondo y las radiaciones ionizantes son completamente diferentes. En la tabla 1 se realiza una comparación de la dosis de radiación de fondo con el número equivalente de radiografías y tomografías necesarias para equiparar sus efectos. Por ejemplo, en estudios dinámicos en donde se utiliza la radioscopia, tales como las radiografías seriadas, las dosis de radiación son mucho más elevadas, razón por la cual las medidas de radioprotección en estos casos deben extremarse. Otro ejemplo es que un minuto de radioscopia en la piel del paciente irradiado es el equivalente a 400 pares de placas de tórax de recién nacidos (Aguirre et al., 2017).

Las Radiaciones Ionizantes proveniente de fuentes artificiales en el campo de la medicina representan la principal fuente de radiación que recibe la población. A nivel mundial se realizan un promedio de 3.600 millones de radiografías, 37 millones de procedimientos nucleares y 7,5 millones de procedimientos de radioterapia, 300 millones de los cuales son realizadas en niños. En la actualidad, la cantidad de Tomografías Computarizadas (TC) realizadas en niños también se ha incrementado de manera exponencial. Se estima que desde los años 80 hasta la actualidad ha habido un incremento del 800% en la realización de este procedimiento. Se cree que el 30% de las tomografías realizadas en pacientes pediátricos son innecesarias y pueden ser reemplazadas por otras técnicas de diagnóstico por imagen que no requieren del uso de radiaciones ionizantes (Aguirre et al., 2017).

Los efectos de la radiación en los niños son más nocivos, debido a que durante su crecimiento estos son más sensi-

bles a las mismas. Razón por la cual es más importante que en los adultos, el realizar la debida protección radiológica, por varias razones: los pacientes pediátricos son más radiosensibles, transportan el material genético afectado a las siguientes generaciones y tienen más años para que los daños se manifiesten, ya que los efectos de la radiación son siempre tardíos (De Barcelona, 2012).

En los pacientes pediátricos la dosis recibida puede reducirse con la aplicación de estrategias simples, tales como (De Barcelona, 2012):

- No realizar pruebas radiológicas sin la debida indicación, es decir realizar solo las que sean estrictamente necesarias.
- No utilizar pruebas con radiación ionizante (rayos X): se debe evitar lo más posible el uso de radiografías y TC; de preferencia se debe utilizar radiación electromagnética no ionizante (resonancia magnética) o ultrasonido.
- En caso de que se utilicen estudios con rayos X, se deben realizar solo las proyecciones radiológicas imprescindibles.
- Reducir al mínimo imprescindible la superficie irradiada.
- Evitar las repeticiones del estudio radiológico por movimiento del paciente, para ello se debe inmovilizar al niño antes de iniciar el estudio.
- Para emitir menos radiación se deben los parámetros (kVp y mAs bajos).
- Utilizar los medios de protección indicados: delantales plomados, etc.
- En el caso de los pacientes crónicos se debe reducir el número de controles o espaciar los mismos.

La ICRP, ha venido estableciendo periódicamente los límites de dosis de radiación tanto para el personal expuesto, como para la población en general. Las ICRP recomienda la disminución progresiva de las dosis máximas permisibles. En 1965, la ICRP introdujo el concepto ALARA, por sus siglas en inglés "as low as reasonably achievable" o "utilizar una dosis tan baja como razonablemente posible". Según

la ICRP, el límite de la dosis efectiva para los profesionales expuestos es de 100 (Mili Sievert)/año y para el público en general es de 1 mSv/año, durante un período consecutivo de cinco años, con una dosis efectiva máxima en cualquier año oficial de 50 mSv (Verstandig, 2017). Sin embargo en los pacientes pediátricos estas recomendaciones se han convertido en una principal preocupación (Ost, 2018).

En agosto de 2001, bajo la guía del Dr. Tom Slovis, la Sociedad de Radiología Pediátrica (SRP) organizó la primera de una serie continua de conferencias multidisciplinarias para discutir los problemas de dosis actuales en imágenes pediátricas. Esta primera reunión estuvo dedicada a ALARA TC en niños. Desde entonces, se han realizado varias conferencias adicionales ALARA, patrocinadas por la SRP en las que se incluye la radiografía computarizada / digital, fluoroscopia y radiología intervencionista, medicina de emergencia y oncología (Newman y Callahan, 2011).

Tal y como se ha mencionado, la radiación ionizante tiene un efecto potencialmente nocivo para la salud. Con dosis altas aparecen efectos secundarios a corto plazo después de la irradiación. La gravedad de las complicaciones es entonces directamente proporcional a la dosis recibida y los efectos son "deterministas". En el dominio dosis bajas (<1 Gy), los efectos son "estocásticos": estos aparecen tarde, al azar y su probabilidad de aparición aumenta con la dosis recibida. El riesgo de cáncer inducido por radiación asociado con exposiciones médicas a las mismas durante la infancia es un problema importante de salud pública, esto debido a la especial radiosensibilidad de los niños y su esperanza de vida extendida compatible con el desarrollo patología radioinducida a largo plazo (Baysson et al. 2016).

El riesgo de cáncer inducido por radiación para exposiciones médicas en la infancia se ha demostrado para grandes dosis (en caso de radioterapia, por ejemplo), pero sigue siendo objeto de debate para exposiciones de diagnóstico a dosis más bajas (Baysson, Etard, Brisse y Bernier, 2012). El aumento en los casos de cáncer de mama, en particular, se ha informado en los años 1960 por exposiciones repetidas a rayos X "en el útero" y durante la infancia pero relacionado con exámenes radiológicos en los que se administran dosis mucho más altas que los estudios diagnósticos de la actualidad. Este aumento de cáncer no es más observado para los niveles de dosis actuales en radiología convencional. Sin embargo, la dosis administrada durante estos escaneos es significativamente mayor que la entregada en radiología convencional y su frecuencia de uso ha aumentado considerablemente en los últimos treinta años, incluida la pediatría (Baysson et al. 2016).

2. JUSTIFICACIÓN

La ICRP tiene como objetivo avanzar, para el beneficio público, la ciencia de la protección radiológica, en particular proporcionando recomendaciones y orientación sobre todos los aspectos referentes a la protección contra la radiación ionizante. Las principales áreas de desafío de esta comisión incluyen mantenerse al tanto de los desarrollos tecnológicos en medicina, los efectos no cancerígenos de la radiación (p. ej. A nivel cardiovascular), fuentes naturales de radiación, integrando la protección del medio ambiente en el sistema de protección radiológica y asegurar el mantenimiento de co-

nocimiento y experiencia en protección radiológica entre los profesionales sanitarios. Otra limitante es que las publicaciones de la ICRP no están actualmente disponibles gratuitamente y son relativamente costosas, generalmente son compradas por organizaciones e instituciones en lugar de individuos. La ICRP es consciente de este problema y está desarrollando estrategias para aumentar su reserva financiera, y con suerte permitir la distribución de sus publicaciones a bajo costo o gratuitamente (Cousins, 2015).

La protección radiológica mejorada en el campo de la medicina requiere una mejor comprensión de la dosimetría y métodos de protección del paciente, personal y público en general. La evaluación de la dosis a nivel del ojo, la piel y los órganos debe entenderse completamente para poder mejorar la protección de los pacientes que se someten a estudios como la TC y a altas dosis de radiación en procedimientos de radiología intervencionista. Se necesitan datos dosimétricos para ayudar en la evaluación de los efectos no cancerosos en radioterapia (p. Ej. cardiovascular y cerebrovascular) y alta dosis en procedimientos de imagen. Para ello deben desarrollarse métodos adicionales, de forma continua, para reducir las dosis del paciente mientras se mantiene la información del diagnóstico (Miller, Martin y Rehani, 2018).

Por otra parte, la educación y formación profesional en protección radiológica generalmente implica muchos años de estudio y trabajo de entrenamiento en el desarrollo de habilidades y experiencia para la resolución de problemas de protección radiológica de manera independiente. El mantenimiento de un nivel profesional de experiencia a lo largo del tiempo también requiere educación y capacitación continua (Brandl y Tschurlovits, 2018).

Ha quedado claro que los pacientes pediátricos son más radiosensibles que los adultos. La razón para que esto ocurra es que los niños tienen mayor proporción de células inmaduras y proliferantes, por otro lado disponen de un mayor tiempo para que los efectos tardíos de la radiación se expresen a lo largo de su vida. Por lo tanto, la protección radiológica en niños debe ser considerada una prioridad, y es por ello que en pediatría debe fomentarse el uso apropiado de las técnicas de diagnóstico por imágenes y la puesta en práctica de las medidas de radioprotección (Aguirre et al., 2017).

La ICRP, ha establecido tres principios que han sido recomendados también por la directiva EURATOM (Comunidad Europea de Energía Atómica) 97/43: el primero de ellos es la optimización de la protección, el segundo es la limitación de las dosis de radiación para las personas expuestas, y el último y no menos importante es la justificación de las prácticas, es decir, para realizar un estudio que conlleve el uso de radiaciones ionizantes, es necesario considerar si el beneficio supera los posibles daños que puedan generar las radiaciones en la salud del paciente. Los médicos suscriptores deben valorar la necesidad del estudio radiológico, para ello debe evitar cometer los siguientes errores (Comisión Europea, 1998; Consejo de Seguridad Nuclear, 2012):

1. Repetir estudios innecesarios que hayan sido realizados recientemente, bien sea en otro servicio u otro hospital.

2. Solicitar exámenes cuyos hallazgos son irrelevantes o improbables y por lo tanto no interfieren con el manejo terapéutico del paciente.
3. Realizar controles radiológicos innecesarios sin esperar la evolución o mejoría de la enfermedad.
4. Solicitar exámenes radiológicos sin consultar las dudas. Ante cualquier duda para la solicitud de un estudio radiológico es conveniente la interconsulta al médico radiólogo, con el fin de evitar solicitar exámenes inadecuados para un problema clínico específico.
5. No acompañar la solicitud del examen radiológico de los antecedentes clínicos del paciente, esto siempre debe realizarse, con la finalidad para que el radiólogo pueda sugerir una técnica alternativa que tenga un menor riesgo de irradiación con el mismo o mejor rendimiento para el paciente.
6. Solicitar exámenes radiológicos solo por razones sociales o presión de los familiares, sin que existía una razón clínica que lo sustente.

Los radiólogos tienen la responsabilidad permanente de garantizar la seguridad radiológica durante todos los procedimientos de diagnóstico incluso en los métodos digitales. La seguridad radiológica se puede lograr manteniendo la consistencia y precisión de un programa de protección radiológica establecido. El programa de protección radiológica debe incluir el manejo de la dosis del paciente pediátrico. Sin embargo, el conocimiento insuficiente de los protocolos y la práctica de dosis de radiación pediátrica ha contribuido a que los pacientes pediátricos sean considerados como "adultos pequeños", que en última instancia contribuye a que estos pacientes reciban una dosis de radiación más alta que la necesaria (Moolman et al. 2019).

Entre los factores que contribuyen al aumento de la dosis de radiación a los pacientes pediátricos es la falta de conocimiento por parte de los radiólogos para identificar factores que afectan la dosis de la radiografía digital. Además, la falta de conocimiento de los factores de dosis de radiografía digital puede contribuir a subexposición y sobreexposición al paciente pediátrico, aunque los avances en radiografía digital han reducido potencialmente la dosis de radiación, la latitud de exposición ha creado un entorno en el que se pueden producir imágenes de rayos X de calidad aceptable a dosis más altas. La latitud de exposición proporciona una apariencia de imagen consistente incluso en presencia de subexposición y sobreexposición, debido a la radiografía digital el detector es sensible a una amplia gama de exposiciones. Por lo tanto se deben implementar protocolos apropiados de dosis de radiación (Moolman et al. 2019).

Por ello se plantea la realización de la presente investigación, de manera que se pueda conocer los métodos de protección radiológica pediátrica y su efecto en la prevención de enfermedades relacionadas con las radiaciones ionizantes. Para ello, se realizará una revisión de estudios y artículos publicados durante los últimos 5 años sobre el tema. Mediante esta revisión sistemática, se pretende reflejar de manera clara y resumida los principales resultados sobre este tema de la bibliografía publicada hasta la actualidad. Se utilizaron artículos de carácter científico, para extraer información de

rigor, reunir los datos más importantes y de esta manera obtener conclusiones que aporten el mayor nivel de evidencia. Este estudio permitirá tener una visión más amplia y actualizada sobre este tema tan novedoso.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Conocer los métodos de protección radiológica pediátrica y su efecto en la prevención de enfermedades relacionadas con las radiaciones ionizantes.

3.2. Objetivos específicos

- Describir las principales medidas de protección radiológica pediátrica.
- Conocer los efectos de las radiaciones ionizantes en la población pediátrica.
- Identificar las principales patologías relacionadas con la falta de protección radiológica en pacientes pediátricos.

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Pregunta PICO

Para llevar a cabo una búsqueda bibliográfica sobre un tema concreto, es necesario definir qué es lo que se quiere buscar. Es importante realizar este paso puesto que actualmente existe una gran cantidad de información relacionada con los problemas de salud. Siendo así, resultado lógico suponer que cuanto más especifiquemos lo que queremos buscar, más sencillo y rápido será la búsqueda.

Por tanto, para poder realizar un correcto planteamiento en una investigación, se deberá realizar una correcta formulación de la pregunta de investigación que recoja todos los puntos del tema a investigar. Para ello, nos planteamos la pregunta PICO.

- P: (patología): Pacientes pediátricos.
- I: (intervención): protección radiológica.
- C: (comparación): no se compara con ninguna otra intervención.
- O: (resultados): con el uso de la protección radiológica se disminuye la probabilidad de padecer cáncer y otras enfermedades en pacientes pediátricos.

En el caso de este estudio, la pregunta PICO que me planteo es la siguiente:

En pacientes pediátricos, ¿es el uso de medidas de protección radiológica contra radiaciones ionizantes a altas es efectivo para disminuir la probabilidad de padecer cáncer y otras enfermedades?

4.2. Diseño de la investigación

El presente trabajo se trata de una investigación de carácter descriptivo, consiste en una revisión sistemática. Para ello, la obtención de la información relevante para cono-

cer el estado actual del tema del trabajo se realizó mediante una búsqueda en las bases de datos seleccionadas: PubMed, ScienceDirect y en la Biblioteca Virtual de Salud (BVS).

4.3. Estrategia de búsqueda

Para la realización de esta revisión sistemática se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos PubMed, ScienceDirect y en la Biblioteca Virtual de Salud, que indexa artículos de IBECs, LILACS, MEDLINE y SCIELO, ya que son las principales plataformas de estudios científicos relacionados con las ciencias de la salud.

Para realizar las búsquedas, se emplearon ecuaciones de búsquedas. Dichas ecuaciones de búsqueda son formuladas a partir de la definición de palabras clave traducidas al lenguaje científico o lenguaje controlado. Este lenguaje se forma mediante descriptores del tesoro MeSH (Medical Subject Headings), perteneciente a PubMed, y que al igual que el DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud), es un amplio vocabulario de lenguaje controlado.

Los términos empleados se recogen en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 2. Términos de búsqueda.

Término	Lenguaje libre	Lenguaje controlado
Protección radiológica	Protección radiológica	<i>Radiological Protection radiation protection</i>
Pediatría	Pediatría, paciente pediátrico, infancia	<i>Pediatrics, childhood</i>
Riesgo de radiación	Riesgo de radiación	<i>Radiation risk</i>
Radiaciones ionizantes	Radiaciones ionizantes	<i>Ionizing radiation</i>

Para combinar dichos términos y formular las ecuaciones de búsqueda, se utilizarán los operadores booleanos o lógicos AND y OR. A continuación, se muestran las búsquedas realizadas en las diferentes bases de datos junto con los resultados obtenidos en cada uno de los motores de búsqueda:

Pubmed

Tabla 3. Resultados de la búsqueda en PubMed.

Ecuaciones de búsqueda	Resultados
Búsqueda manual: Radiological Protection AND Pediatrics OR childhood AND Radiation risk.	544
Búsqueda manual: Radiation protection AND Ionizing radiation AND Pediatrics OR childhood.	37802

BVS

Tabla 4. Resultados de la búsqueda en BVS.

Ecuaciones de búsqueda	Resultados
Búsqueda manual: Radiological Protection AND Pediatrics OR childhood AND Radiation risk.	4
Búsqueda manual: Radiation protection AND Ionizing radiation AND Pediatrics OR childhood.	765

ScienceDirect

Tabla 5. Resultados de la búsqueda en ScienceDirect.

Ecuaciones de búsqueda	Resultados
Búsqueda manual: Radiological Protection AND Pediatrics OR childhood AND Radiation risk.	105.420
Búsqueda manual: Radiation protection AND Ionizing radiation AND Pediatrics OR childhood.	8232

4.4. Criterios de inclusión y exclusión

Con la finalidad de poder acotar los resultados de las búsquedas, se aplicarán unos criterios de selección que se nombran a continuación:

Criterios de inclusión

- Periodo de publicación: desde el 2015 hasta febrero del 2020.
- Idioma de los artículos: inglés, español y francés.
- Población de estudio: humana.
- Edad de la población: menores de 18 años.
- Sexo: indiferente.
- Protocolos de investigación y estudios sobre la protección radiológica.
- Ensayos clínicos aleatorizados.
- Revisiones sistemáticas.
- Acceso al texto completo.
- Estudios indexados dentro del tipo de contenido: Journal. De esta forma, los resultados serán artículos, y no libros o editoriales.
- Artículos indexados dentro del tema: patient, health.

Criterios de exclusión

- Publicaciones de años menores al 2015.
- Libros o manuales.
- Pacientes adultos.
- Estudios en cadáveres.

4.5. Valoración de la calidad metodológica

Para evaluar la calidad de los estudios y el riesgo de sesgo se empleó el modelo de lectura crítica de CASpe (CASP España) (Anexo I). Se trata de un programa que ha sido elaborado por el Instituto de Ciencias de la Salud de Oxford con el objetivo de ayudar a los servicios de investigación en la salud a potenciar las habilidades de búsqueda de información y de lectura crítica de la literatura científica (González, González, Alonso y Aleixandre, 2014).

La evaluación de las revisiones sistemáticas fue realizada con la escala de valoración PRISMA (anexo II). Se trata de una lista de verificación o checklist que tiene como finalidad conseguir la mayor claridad y transparencia de la información que es incluida en las revisiones sistemáticas. Está formada por 27 ítems y por un diagrama de flujo que consta con cuatros fases (Kapadia et al., 2016; Hutton, Moher y Cameron, 2015).

5. RESULTADOS

Una vez finalizadas las búsquedas, se procedió a seleccionar los artículos que compondrían la revisión bibliográfica. Se obtuvo un total de 152767 artículos, de los cuales 40 solo fueron revisados sus títulos y resúmenes; a partir de la lectura de dichos resúmenes de los artículos se seleccionaron aquellos que tenían relación con el tema de estudio para ser revisados posteriormente a texto completo, de un total de 30 revisiones de artículos a texto completo se excluyeron 10 artículos que no correspondían con los criterios de inclusión de nuestra investigación, para, finalmente, seleccionar 20 artículos en texto completo que cumplían con dichos criterios, correspondientes al rango de publicación de los últimos 5 años, tanto en inglés como en español, cuya población es-

ta conformada por pacientes con pediátricos, en donde se aplicaron protocolos de investigación y estudios sobre la protección radiológica en estos pacientes (Diagrama 1).

Así pues, para seleccionar estudios para la revisión se valoró usando la lectura del título y resumen aportado por el estudio. Cuando en la lectura del resumen se consideró que cumplían los criterios de inclusión y no los de exclusión y/o generaban dudas, se leyó el artículo completo de aquellos de los que se disponía acceso libre.

Para ofrecer una visión más simplificado de los artículos que han sido revisados, se han elaborado unas tablas resumen que contienen la siguiente información sobre cada estudio: autor/es, año de publicación, título, objetivo y tipo de estudio (Tabla 6).

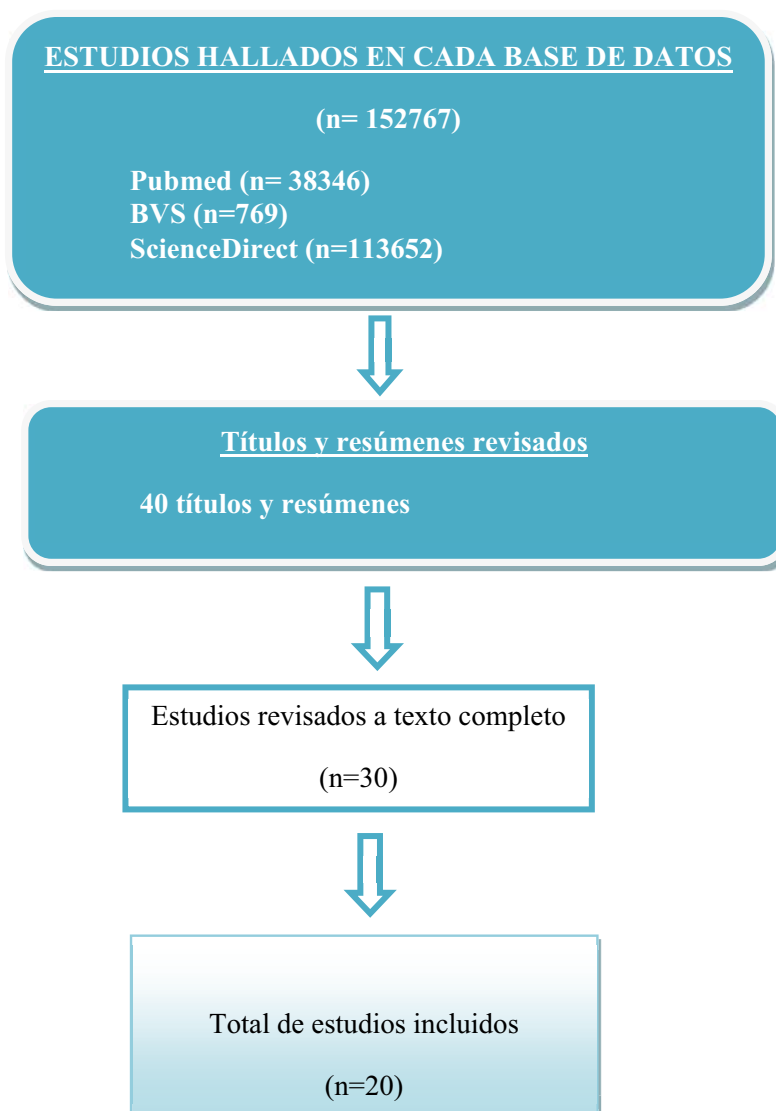


Diagrama 1. Resultados de la búsqueda bibliográfica.

Tabla 6. Características principales de los resultados de la búsqueda bibliográfica.

Autor/es	Año de publicación	Título	Objetivo	Tipo de estudio
Meulepas J et al.	2019	Radiation Exposure From Pediatric CT Scans and Subsequent Cancer Risk in the Netherlands.	Evaluar el riesgo de leucemia y tumores cerebrales después de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante de tomografías computarizadas en la infancia.	Estudio de cohorte retrospectivo.
Siciliano R.	2017	Radiological Examinations in Pediatric Age.	Evaluar el conocimiento de los pediatras en cuanto a protección radiológica.	Descriptivo.
Oliveira M, Bernardo 1, de Almeida F y Morgado F.	2017	Radioprotection campaign and card: educational strategies that reduce children's excessive exposure to radiological exams.	Analizar los resultados de una iniciativa destinada a mejorar el uso razonable de los exámenes radiológicos, garantizar su calidad técnica, implementar una campaña de radioprotección que incluya la capacitación del equipo profesional e introducir la tarjeta de radioprotección para niños menores de 12 años como herramienta para los padres y médicos para controlar la exposición de los niños a la radiación.	Estudio prospectivo cuantitativo y cualitativo.
Manu S, Suntharos P, Boyle G, Wang L y Prieto L.	2018	Radiation Reduction in the Pediatric Catheterization Laboratory Using a Novel Imaging System.	Comparar la dosis de radiación entre dos sistemas de imágenes modernos con tecnología de tubo de rayos X diferente (Megalix vs Gigalix) y tipo de detector (silicio amorfo vs cristalino) en la misma institución.	Retrospectivo.
Kutanzi K, Lumen A, Koturbash I y Miousse I.	2016	Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations.	Discutir el potencial carcinogénico de exposiciones pediátricas a radiaciones ionizantes de modalidades accidentales, diagnósticas y terapéuticas.	Descriptivo.
Tsujiguchi T, Obara H, Ono S, Saito Y y Kashiwakura I.	2018	Consideration of the Usefulness of a Size-Specific Dose Estimate in Pediatric CT Examination.	Valorar la dosis efectiva con base en los datos del examen de TC de 753 pacientes utilizando el método de estimación de dosis de tamaño específico (SSDE).	Comparativo.
Al-Rammah T.	2016	CT Radiation Dose Awareness Among Paediatricians.	Investigar la conciencia de los pediatras (médicos de referencia) sobre las dosis de radiación y los riesgos asociados.	Cualitativo.
Alejo L et al.	2018	Radiation Dose Optimisation for Conventional Imaging in Infants and Newborns Using Automatic Dose Management Software: An Application of the New 2013/59 EURATOM Directive.	Optimizar los exámenes radiológicos pediátricos convencionales aplicando la Directiva EURATOM sin comprometer el diagnóstico clínico.	Descriptivo.
Arthurs O et al.	2019	European Society of Paediatric Radiology 2019 strategic research agenda: improving imaging for tomorrow's children.	Describir la agenda de investigación estratégica del ESPR 2019 a lo largo de tres puntos en la tubería de imágenes clínicas: derivación clínica, diagnóstico y evolución de la enfermedad, evaluación clínica y efectividad terapéutica.	Descriptivo.
Scheggerer A, Loose R, Heuser L y Brix G.	2019	Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling.	Presentar el procedimiento para la actualización de los DRL (niveles de referencia de diagnóstico) y dar consejos sobre su aplicación práctica.	Descriptivo.
Nikkilä A, Raitanen J, Lohi O y Auvinen A.	2018	Radiation Exposure From Computerized Tomography and Risk of Childhood Leukemia: Finnish Register-Based Case-Control Study of Childhood Leukemia (FRECCLE).	Examinar la magnitud del riesgo de leucemia infantil después de los exámenes de tomografía computarizada pediátrica.	Ensayo clínico aleatorizado..



Autor/es	Año de publicación	Título	Objetivo	Tipo de estudio
Suliman A et al.	2018	Estimation of Effective Dose and Radiation Risk in Pediatric Barium Studies Procedures.	Evaluar la exposición a la radiación pediátrica en ciertos estudios de bario y cuantificar las dosis efectivas, de órgano y el riesgo de radiación resultante de la irradiación de los pacientes.	Ensayo clínico aleatorizado.
De Felice F, Di Carlo G, Saccucci M, Tombolini V y Polimeni A.	2019	Dental Cone Beam Computed Tomography in Children: Clinical Effectiveness and Cancer Risk Due to Radiation Exposure.	Ofrecer una herramienta de experiencia profesional para evaluar las aplicaciones clínicas de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) en el campo dental y dilucidar los efectos de la exposición a la radiación en los niños y jóvenes.	Revisión Bibliográfica.
Nagayama Y et al.	2018	Radiation Dose Reduction at Pediatric CT: Use of Low Tube Voltage and Iterative Reconstruction.	Reducir la dosis de radiación en la TC pediátrica mediante el uso de bajo voltaje de tubo y reconstrucción iterativa.	Descriptivo.
Leung R.	2015	Radiation Protection of the Child From Diagnostic Imaging.	Revisar el riesgo de radiación estimado para el niño a partir de imágenes de diagnóstico y resumirá los diversos métodos a través de los cuales tanto el pediatra como el radiólogo pueden practicar el principio ALARA.	Descriptivo.
Wildman-Tobriner B, Parente V y Maxfield Ch.	2017	Pediatric Providers and Radiology Examinations: Knowledge and Comfort Levels Regarding Ionizing Radiation and Potential Complications of Imaging.	Evaluar el conocimiento del proveedor pediátrico de las modalidades de diagnóstico por imagen que utilizan radiaciones ionizantes y comprender las preocupaciones del proveedor sobre los riesgos de la imagen.	Descriptivo.
Kasraie N, Jordan D, Keup Ch y Westra S.	2018	Optimizing Communication With Parents on Benefits and Radiation Risks in Pediatric Imaging.	Discutir estrategias que pueden ayudar a aliviar las preocupaciones sobre el riesgo iatrogénico asociado con las imágenes médicas mediante la exposición a la radiación.	Descriptivo.
Moore Q.	2015	Manipulation of Projection Approach in Pediatric Radiography. Radiol Technol.	Determinar si manipular las proyecciones de rutina desde anteroposterior (AP) a posteroanterior (PA) durante los estudios de radiografía de proyección dará como resultado una exposición a la radiación pediátrica reducida.	Revisión bibliográfica.
Lancharro Á y Rodríguez C.	2016	Radioprotection and Contrast Agent Use in Pediatrics: What, How, and When.	Conocer qué es la radioprotección, y cómo y cuándo se deben utilizar los contrastes en pediatría.	Descriptivo.
Kesminiene A y Cardis E.	2018	Cancer Risk From Paediatric Computed Tomography Scanning: Implications for Radiation Protection in Medicine.	Conocer el riesgo de cáncer por tomografía computarizada pediátrica y las implicaciones para la protección radiológica en medicina.	Descriptivo.

6. DISCUSIÓN

El progreso de los últimos años en el campo de la radiología diagnóstica, ha puesto a disposición del médico una variedad de exámenes radiológicos sofisticados, que no siempre se usan de manera racional y adecuada. La radiología diagnóstica es considerada una herramienta esencial para la investigación clínica adecuada de los procesos patológicos y para la creación de un plan terapéutico personalizado. Sin embargo, en la actualidad ha habido un considerable aumento de las solicitudes de procedimientos radiológicos, principalmente debido a los avances tecnológicos, pero también debido a razones sociales y culturales, no siempre

basadas en el principio de la justificación diagnóstica (Siciliano, 2017).

El tema de la protección radiológica es de suma importancia, particularmente en la infancia o adolescencia, ya que este periodo se caracteriza por una elevada radiosensibilidad (alto recambio celular); por lo tanto, los niños expuestos a radiación ionizante durante este periodo de la vida están teóricamente sujetos a un mayor riesgo de carcinogénesis en comparación con la población general (Siciliano, 2017; Kesminiene y Cardis, 2018). Este grupo poblacional son más susceptibles a la radiación relacionada con tumores malignos que los adultos, y también tienen

una vida útil más larga para expresar los efectos tardíos de la radiación (Meulepas et al., 2019). Aunque se han realizado esfuerzos para cuantificar estos efectos, la precisión y exactitud de los riesgos reportados necesita confirmación (Kesminiene y Cardis, 2018). Por estas razones, los pacientes jóvenes deben tener mayor la protección y los exámenes radiológicos deben respetar criterios estrictos de adecuación en esta población (Siciliano, 2017).

Lejos de subestimar los importantes beneficios diagnósticos y terapéuticos que proporcionan estos procedimientos, el uso de radiaciones ionizantes debe minimizar el riesgo relacionado con la radiación de acuerdo con el principio ALARA (Tan bajo como sea razonablemente Alcanzable), principio clave de la protección radiológica moderna (Siciliano, 2017). La tarea más compleja en cuanto a la dosis de radiación es "determinar un rango efectivo de dosis de órganos que equilibre la calidad y el ruido de la imagen y luego manipular la corriente del tubo y el kilovoltaje máximo mientras se ajusta a este rango". Esta tarea requerirá la cooperación entre pediatras, radiólogos pediátricos, físicos de imágenes y la industria en general (Kutanzi et al., 2016).

La dosis efectiva es una cantidad de dosimetría utilizada con fines de protección radiológica con el fin de evaluar el riesgo de dosis de radiación para pacientes expuestos a la radiación ionizante. La unidad de medida internacional estándar es el sievert (Sv), igual a 1 joule por kilogramo. Mientras que los Millisieverts (mSv) y microsieverts (μ Sv) son generalmente utilizados para expresar la dosis en odontología (De Felice, Di Carlo, Saccucci, Tombolini y Polimeni, 2019).

En la actualidad, el número de Tomografía computarizada (TC) realizadas en pacientes pediátricos ha aumentado considerablemente. La TC es una potente herramienta de diagnóstico, sin embargo esta proporciona dosis de radiación más altas que la mayoría de las modalidades de estudios de imágenes. Como el uso de la TC ha aumentado rápidamente, la protección radiológica al realizar este tipo de estudio de imagen es sumamente importante, particularmente entre los niños (Meulepas et al., 2019). Para ello es necesario primeramente determinar las indicaciones específicas para la utilización de la TC en niños (Kutanzi, Lumen, Koturbash y Miousse, 2016). Se ha propuesto que el uso de la TC sea considerado solamente en casos de trauma cerebral agudo, sospecha de enfermedades pulmonares intersticiales, cálculos renales y algunas patologías esqueléticas. En todos los demás casos se debe dar preferencia a la utilización de modalidades de imágenes no ionizantes, incentivando la tendencia hacia una mayor utilización de la resonancia magnética y la ecografía en pediatría (Kutanzi et al., 2016).

Los estudios epidemiológicos han demostrado un aumento en el riesgo de cáncer asociado con TC pediátrica. Se han realizado estudios para evaluar el riesgo de leucemia y de tumores cerebrales después de la exposición a dosis bajas de radiación ionizante de TC en la infancia, tal es el caso del estudio de Meulepas et al. (2019), en donde se analizó una cohorte retrospectiva a nivel nacional de 168.394 niños menores de 18 años que recibieron una o más TC en un hospital holandés entre 1979 y 2012. Meulepas et al. (2019), obtuvieron la incidencia de cáncer, estado vital y factores de confusión e información por vinculación de registros externos. Las tasas de incidencia estandarizadas de este estudio fue-

ron calculadas utilizando la tasa de incidencia de cáncer de la población general holandesa. El exceso de riesgos relativos por dosis de órgano de 100 mGy se calculó con regresión de Poisson. Los resultados de Meulepas et al. (2019), demostraron que las tasas de incidencia estandarizadas fueron elevadas para todos los sitios de cáncer. La dosis media acumulada en la médula ósea fue de 9,5 mGy al final del seguimiento, y el riesgo de leucemia (excluido el síndrome mielodisplásico) no se asoció con la dosis acumulativa en la médula ósea (44 casos). La dosis cerebral acumulada fue en promedio 38.5 mGy y tuvo una asociación estadísticamente significativa con el riesgo de tumores cerebrales malignos y no malignos combinados (ERR / 100 mGy: 0.86, intervalo de confianza del 95% $\frac{1}{4}$ 0.20 a 2.22, $P = .002$, 84 casos). Este estudio evidencia de que la exposición a la radiación relacionada con la TC aumenta el riesgo de tumor cerebral. Sin embargo no se observó asociación para la leucemia. En comparación con la población general, la incidencia de tumores cerebrales fue mayor en la cohorte de niños con escaneos mediante TC, sin embargo se requiere una interpretación cautelosa de estos hallazgos, ya que las TC (para pacientes pediátricos) representan una técnica potencial que puede ayudar a salvar sus vidas y mejorar la calidad de vida de muchos pacientes. Además, los tumores evaluados en el estudio de Meulepas et al. (2019), están asociados con pequeños excesos de riesgo absoluto. Sin embargo, el justificar un cuidadoso uso de las TC en pediatría y la optimización de la dosis, son elementos esenciales para minimizar los riesgos.

Otro estudio similar realizado por Nikkilä, Raitanen, Lohi y Auvinen (2018), se encontraron resultados contradictorios con respecto a la leucemia. Nikkilä et al. (2018), evaluaron la asociación de las TC con el riesgo de leucemia infantil en un estudio de casos y controles basado en registros a nivel nacional. Se identificaron 1,093 casos del Registro de Cáncer de Finlandia basado en la población y se seleccionaron aleatoriamente tres controles, emparejados por género y edad, para cada caso del Registro de Población. También se obtuvo información sobre el peso al nacer, el tabaquismo materno, el estado socioeconómico de los padres y la radiación gamma de fondo. Los datos sobre las TC se obtuvieron de los diez hospitales más grandes de Finlandia, cubriendo aproximadamente el 87% de todas las tomografías computarizadas pediátricas. Las dosis de médula ósea roja se estimaron con el software de cálculo de dosis NCICT. Los datos se analizaron utilizando un análisis de regresión logística condicional exacto. Un total de 15 casos (1,4%) y diez controles (0,3%) se habían sometido a uno o más exámenes de TC, excluyendo un período de latencia de 2 años. Para uno o más escáneres de TC, Nikkilä et al. (2018), observaron un odds ratio de 2,82 (intervalo de confianza del 95%: 1,05 - 7,56). La dosis acumulada de médula ósea roja de las TC mostró un exceso de odds ratio de 0.13 (intervalo de confianza del 95%: 0.02 - 0.26) por mGy. Estos resultados son consistentes con la noción de que incluso las dosis bajas de radiación ionizante aumentan notablemente el riesgo de leucemia infantil. Sin embargo, las estimaciones de riesgo observadas en el estudio de Nikkilä et al. (2018), son algo mayores que las de estudios anteriores, probablemente debido a un error aleatorio, aunque no se pueden descartar factores predisponentes desconocidos.

El EPI-CT, un estudio epidemiológico colaborativo europeo, fue creado para cuantificar los riesgos de la TC pediátrica y para optimizar el protocolo de diagnóstico pediátrico. El estudio, coordinado por la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer, fue diseñado como un estudio de cohorte multinacional de niños y adultos jóvenes que se sometieron a una TC para un seguimiento a largo plazo. Dicho estudio combinó datos de cohortes existentes y extendidas en Francia, el Reino Unido y Alemania, y de nuevas cohortes reunidas en Bélgica, Dinamarca, Países Bajos, Noruega, España y Suecia utilizando un protocolo común. Se desarrolló un enfoque de reconstrucción de dosis flexible que puede acomodar la recopilación de datos de fuentes históricas (antes del 2000) y extraer automáticamente datos de los encabezados de Imágenes digitales y Comunicaciones en medicina de imágenes grabadas disponibles en el Sistema de comunicación de archivo de imágenes. Las estimaciones de dosis de órganos individuales para cada niño se derivaron de cálculos de transporte de radiación basados en Montecarlo utilizando fantasmas híbridos de diferentes sexos y edades. Para tener en cuenta las incertidumbres debidas a la falta de datos de entrada, se utilizó un método de simulación que mantiene correlaciones de dosis para personas dentro de subgrupos con atributos de exposición similares y simula valores inciertos de parámetros de dosis-modelo. Estos estudios de simulación son útiles para evaluar el impacto potencial de una variedad de posibles factores de confusión (p. Ej., Condiciones médicas subyacentes, estado socioeconómico, procedimientos médicos faltantes realizados fuera de los hospitales participantes) y se realizaron basados en las estimaciones de riesgo con base en datos de algunos países EPI-CT y / o escenarios razonables. En total, 1.170.186 pacientes se inscribieron en las cohortes nacionales. La mayoría de los pacientes (75%) solo se habían sometido a una TC y el 29% de todos los pacientes tenían <5 años al momento de su primer examen de TC. La mediana de la duración del seguimiento fue de 8 años para toda la cohorte, aunque esto varió entre países. En general, el seguimiento representó casi 10 millones de personas al año. Este estudio recibió financiación parcial del Séptimo Programa en el Marco de la Comisión Europea en virtud del Acuerdo de Subvención No. 269912 (Kesminiene y Cardis, 2018).

En un estudio realizado por Tsujiguchi, Obara, Ono, Saito y Kashiwakura (2018), se evaluó la dosis efectiva basada en los datos del examen de TC de 753 pacientes examinados en un hospital utilizando el método de estimación de dosis de tamaño específico (por sus siglas en inglés *size-specific dose estimate*: SSDE), que puede calcular la dosis de exposición teniendo en cuenta el físico de un paciente. Los resultados del estudio de Tsujiguchi et al. (2018), mostraron una gran correlación entre el factor de conversión SSDE y el físico del paciente, con un mayor dosis de exposición en pacientes con un físico pequeño cuando se considera una sola exploración. Especialmente para niños, en donde se encontró que el factor de conversión SSDE era de 2 o más. Además, el paciente expuesto a la dosis más grande en el estudio de Tsujiguchi et al. (2018), fue un niño de 10 años que recibió 40.4 mSv (cinco series / examen). Tsujiguchi et al. (2018), consideran que para estimar la exposición utilizando el método SSDE y en estudios de cohortes, se debe determinar el nivel de referencia de diagnóstico de SSDE y se debe desarrollar un protocolo de imágenes de baja exposición para predecir

el riesgo de exposición a la TC y para mantener la calidad del diagnóstico con mejor protección radiológica de los pacientes (Tsujiguchi et al., 2018).

Por su parte, la tomografía computarizada de haz cónico, por sus siglas en inglés *cone beam computed tomography* (CBCT), un método de imágenes utilizado por primera vez a principios de los años 90 para generar proyecciones tridimensionales de imágenes de rayos X, ha dado lugar a una gran aplicación en la imagen dentomaxilofacial, incluso en niños. Es por ello que las preguntas sobre si el riesgo de cáncer aumenta realmente después de la CBCT dental repetida en la infancia y cuál es la base biológica subyacente se han convertido en temas controversiales en el campo de la odontología y la radiobiología. La CBCT está asociada con una dosis efectiva mayor a los tejidos que la radiografía dental tradicional, por lo tanto los exámenes de CBCT dentales en niños deben justificarse por completo, por ejemplo en el caso de evaluación prequirúrgica de dientes no erupcionados y dientes desplazados y en la evaluación de vía aérea superior. En pacientes que ameriten terapia de ortodoncia generalmente se deben realizar múltiples exámenes radiográficos para monitorear los cambios en la posición de los dientes. Es esencial evaluar que la repetición de estas imágenes garantizará el beneficio de las anteriores, por lo que los principios de la buena práctica de radiación son primordiales. Los médicos también deben ser más apropiados en los exámenes de diagnóstico que prescriben. El examen clínico sigue siendo la fase más importante de la evaluación del paciente para definir mejor el plan de tratamiento y determinar las necesidades radiográficas de los pacientes. Quizás la CBCT dental debería ser considerada como un método adicional en lugar de un reemplazo para imágenes convencionales de rayos X. Recordemos que cualquier procedimiento de rayos X está relacionado con un bajo, pero inferido riesgo y que cuanto menor es la dosis, menor es el riesgo (De Felice et al., 2019).

En otro estudio similar realizado por Nagayama et al. (2018), se describe que entre las técnicas de reducción de dosis disponibles actualmente, las innovaciones técnicas recientes han permitido la implementación de tubo de escaneos de bajo voltaje y técnicas de reconstrucción iterativa (IR) en la práctica clínica diaria para la TC pediátrica. Los beneficios de reducir el voltaje del tubo incluyen una reducción considerable en la dosis de radiación y un mejor contraste en las imágenes, especialmente cuando se usa un medio de contraste yodado. El aumento en el ruido, que se atribuye a la disminución de la penetración de fotones, es un gran inconveniente, pero no es tan grave como el de la TC en adultos debido al pequeño tamaño corporal de los niños. Además, el uso de algoritmos de IR puede suprimir el aumento de ruido, lo que genera una mayor aplicabilidad para escaneos de bajo voltaje. Sin embargo, una estrategia de implementación cuidadosa y un enfoque metodológico son necesarios para maximizar el potencial de reducción de la dosis mientras se preserva la calidad de la imagen de diagnóstico en cada condición clínica. Las posibles dificultades y temas relacionados con estas técnicas incluyen: el efecto del voltaje del tubo sobre la dosis de radiación en la superficie, el efecto de la configuración de la ventana, la acentuación de los artefactos metálicos, el deterioro de la detectabilidad de bajo contraste a dosis

bajas, la variación entre escáneres de espectros de rayos X, y una comparación con el uso de una técnica de conformación espectral. Nagayama et al. (2018), sugieren que el uso apropiado de técnicas de IR y bajo voltaje de tubo son útiles para la reducción de la dosis de radiación en la mayoría de las aplicaciones de TC pediátrica.

En lo que a radiología de rutina se refiere, en un análisis de la literatura realizado por Moore (2015), sobre la exposición a la radiación pediátrica, protección radiológica y factores de ponderación de tejidos, con la finalidad de determinar si manipular las proyecciones de rutina desde anteroposterior (AP) a posteroanterior (PA) durante los estudios de radiografía de proyección trae como resultado una reducción en la exposición a la radiación pediátrica. Moore (2015), utilizó múltiples conjuntos de datos cuantitativos para respaldar los hallazgos relacionados con la manipulación de la proyección. Los estudios dosimétricos confirmaron que la proyección de PA disminuye significativamente la exposición a la radiación a casi todo el tejido radiosensible, con la excepción de la médula ósea del paciente, por lo que la proyección PA debe considerarse para su implementación de forma rutinaria.

En cuanto a los estudios baritados, en un estudio llevado a cabo por Sulieman et al. (2018), se realizaron un total de 69 estudios pediátricos de bario para el tracto gastrointestinal superior e inferior. La dosis de radiación de los pacientes se cuantificó en términos de Kerma de aire de superficie de entrada (ESAK) utilizando parámetros de exposición y el software DosCal. Las dosis efectivas y de órganos (E) se extrapolaron utilizando el software nacional de la Junta de Protección Radiológica (NRPB-R279). La media \pm (DE) y el rango de dosis del paciente por procedimiento fueron $3,7 \pm 0,4$ (1,0-13,0) mGy, $7,4 \pm 1,7$ (5,5-8,0) mGy y $1,4 \pm 0,9$ (0,5-3,6) mGy para la ingestión de bario, deglución y enema, respectivamente. Las dosis efectivas medias fueron $0,3 \pm 0,03$ (0,08-1,1) mSv, $0,2 \pm 1,6$ (0,44-0,7) mSv y $0,3 \pm 0,9$ (0,1-0,8) mSv en el mismo orden. Los resultados del estudio de Sulieman et al. (2018), indican que la dosis de radiación en los pacientes pediátricos fue mayor en comparación con estudios previos. Por lo tanto, estos autores sugieren que en caso de que sea necesario realizar estudios con Bario en el tracto gastrointestinal de pacientes pediátricos, se debe reducir la exposición a la radiación a los pacientes, y hacer énfasis siempre en la importancia de la protección en imágenes pediátricas para el tracto gastrointestinal. La exposición a la radiación puede reducirse significativamente reduciendo el número de películas innecesarias y el tiempo de selección de las mismas. Además de eso, el operador debe ser competente técnicamente y desde el punto de vista de la protección radiológica para llevar a cabo los procedimientos de bario para mantener la exposición a la radiación al paciente y al personal tan baja como sea razonablemente posible (ALARA). La capacitación del operador en protección radiológica es la opción más conveniente para la reducción de la dosis del paciente (Sulieman et al., 2018).

La reducción de la dosis de radiación mayor a la reportada actualmente puede lograrse con los avances en la tecnología de tubos de rayos X y detectores. En un estudio realizado por Manu et al. (2018), se comparó la dosis de radiación entre dos sistemas de imágenes modernos con tecnología de

tubo de rayos X diferente (Megalix vs Gigalix) y tipo de detector (silicio amorfo vs silicio cristalino) en la misma institución. La dosis de radiación (kerma de aire, producto de área de dosis [DAP]) fue comparada retrospectivamente en pacientes pediátricos postrasplante sometidos a cateterismo y/o biopsia del corazón derecho (solo fluoroscopia) o cateterismo con angiografía coronaria en uno de los dos sistemas de imágenes entre enero de 2014 y diciembre de 2016. También se hicieron comparaciones con las dosis de radiación publicadas. En total se realizaron 122 cateterizaciones del corazón derecho con biopsia en el laboratorio Megalix / silicio (Si) amorfo y 168 en el laboratorio Gigalix / Si cristalino. La edad y el peso no fueron estadísticamente diferentes para los dos grupos. Hubo una disminución del 50% en la mediana de kerma en el aire (2.2 mGy vs 1.1 mGy; $P < .001$) y una disminución del 66% en la mediana de DAP ($52.2 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ vs $18.0 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$; $P < .001$) para el Gigalix / Si cristalino. Se realizaron un total de 24 cateterizaciones "anuales" en el laboratorio Megalix / Si amorfo y 22 en el laboratorio Gigalix / Si cristalino. Hubo una reducción del 57% en la mediana del kerma en el aire (458.6 mGy vs 198.6 mGy; $P < .001$) y una reducción del 46% en la mediana DAP ($2548.0 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$ vs $1367.1 \mu\text{Gy} \cdot \text{m}^2$; $P < .01$) para el Gigalix / Si cristalino. Se encontraron reducciones similares en comparación con las dosis publicadas. Los resultados de Manu et al. (2018), sugieren que el tubo de Gigalix y el detector de Si cristalino disminuyen la dosis de radiación en un 50% a 60% en pacientes pediátricos.

Por su parte, Schegerer, Loose, Heuser y Brix (2019) y Alejo et al. (2018), consideran que para realizar la optimización de la dosis también es necesario el uso de los niveles de referencia diagnóstico (por sus siglas en inglés "*diagnostic reference levels*": DRL) (Alejo et al., 2018; Schegerer et al., 2019). Los desarrollos recientes en tecnología médica han ampliado el espectro de los procedimientos de rayos X y han cambiado la práctica de exposición en instalaciones de rayos X. Por esta razón, los DRL para los procedimientos de diagnóstico radiográfico e intervencionista se actualizaron en el año 2016 y 2018, respectivamente (Schegerer et al., 2019).

Schegerer et al. (2019), publicaron un documento cuyo objetivo es presentar el procedimiento para la actualización de los DRL y dar consejos sobre su aplicación práctica. En dicho estudio, para la determinación de los DRL, se consideraron datos de diferentes instalaciones en Alemania de diferentes fuentes independientes que recolectan dosis relevantes. Se especificaron siete diferentes intervalos de peso para clasificar los procedimientos de rayos X a los niños. Para cada procedimiento de rayos X fue considerado el percentil 25, 50 y 75 del respectivo percentil nacional. Se determinó la distribución de los parámetros relevantes para la dosis. Además, las dosis efectivas que corresponden a los DRL fueron estimadas. Los resultados de Schegerer et al. (2019), sobre los DRL con procedimientos ya existentes antes del 2016, demostraron que los valores se redujeron en alrededor del 20% en promedio. Numerosos DRL se establecieron por primera vez (9 para procedimientos de intervención, 10 para exámenes de TC). Schegerer et al. (2019), sugieren que para optimizaciones de dosis incluso por debajo del nuevo DRL nacional, la Oficina Federal de Protección Radiológica recomienda establecer unos nive-

les de referencia local utilizando el software de gestión de dosis (particularmente en procedimientos de TC y radiología intervencionista), adaptando parámetros relevantes para la dosis de protocolos de rayos X para el tamaño individual del paciente, y estableciendo equipos de protección radiológica interna responsables para optimizar los procedimientos de rayos X en la práctica clínica. Esto indica que cuando se aplican buenas prácticas médicas y se utilizan equipos modernos, la mediana de los valores de dosis de las distribuciones de dosis a nivel nacional no solo se puede lograr fácilmente, sino que incluso se puede socavar (Schegerer et al. 2019).

De acuerdo con Schegerer et al. (2019), otro estudio similar realizado por Alejo et al. (2018), sugiere que los DRL locales se puede obtener fácilmente utilizando un software de gestión automática de datos de dosis, que permite el registro de todas las dosis de radiación recibidas por los pacientes pediátricos en diagnóstico de imágenes, siendo esto un nuevo requerimiento de la Directiva Europea EURATOM 2013/59 (Alejo et al., 2018). La nueva Directiva 2013/59 EURATOM (DE) exige procedimientos de optimización dosimétrica sin retrasos indebidos. Alejo et al., (2018) realizaron un estudio con el objetivo optimizar los exámenes de radiología convencional pediátrica aplicando la DE sin comprometer el diagnóstico clínico. Se utilizó un software de gestión automática de dosis para analizar 2678 estudios de imágenes realizados en niños desde el nacimiento hasta los 5 años, obteniendo los DRL en términos de superficie de entrada Air Kerma. Dado que la DRL local para bebés y exámenes de tórax excedió la DRL recomendada por la Comisión Europea (CE), se realizó una optimización disminuyendo el kVp y aplicando el control automático de exposición. Al evaluar la calidad de la imagen, se realizó un análisis de alto contraste resolución (HCSR), relación señal-ruido (SNR) y una figura de mérito (FOM), así como una prueba ciega basada en el método de las ecuaciones de estimación generalizadas. Los resultados de Alejo et al., (2018) demostraron que para recién nacidos y exámenes radiográficos de tórax, la DRL excedió en un 113% la DRL de la CE. Después de la optimización, se obtuvo una reducción del 54%. No se encontraron diferencias significativas en la prueba ciega de calidad de imagen. Una disminución en SNR (-37%) y HCSR (-68%), y se observó un aumento de FOM (42%). Alejo et al., (2018) concluyen que el software de gestión automática de dosis permite el cálculo rápido de la DRL local y el desempeño de los procedimientos de optimización en bebés sin demora. Sin embargo, los análisis físicos y clínicos de la calidad de la imagen siguen siendo necesarios para garantizar la integridad del diagnóstico después del proceso de optimización. Los avances en el conocimiento del software de gestión automática de dosis son útiles para detectar problemas de protección radiológica y para realizar la optimización de los procedimientos de imágenes pediátricas convencionales sin retraso indebido.

Una de las razones por las que se ha incrementado la solicitud excesiva de exámenes radiológicos en los hospitales puede deberse a la inseguridad de los padres y tutores o el propio equipo de salud. En un estudio realizado por Oliveira, Bernardo, de Almeida y Morgado (2017), con el objetivo de analizar los resultados de una iniciativa dirigida a mejorar el uso razonable de los exámenes radiológicos, asegurando su calidad técnica, implementando una campaña de radioprotección que incluye la formación del equipo profesional, e

introduciendo la tarjeta de radioprotección para niños menores de 12 años como herramienta para que los padres y médicos controlen la exposición de los niños a la radiación. El estudio se realizó en un sistema de seguro de salud que cubre 140.000 personas. Se implementó una campaña de radioprotección de acuerdo con los protocolos "Image Gently", asegurando la dosis más baja de radiación, la calidad de los exámenes y se implementó la tarjeta de radioprotección. Para evaluar la efectividad de estas acciones, el número de exámenes radiológicos realizados en la sala de emergencias de pediatría en un período de un año anterior a la campaña fue comparado con el número de exámenes radiológicos realizados un año después de la campaña. Los resultados del estudio de Oliveira et al. (2017), demostraron que la campaña fue bien aceptada por todos los profesionales, familias y pacientes involucrados. En el año siguiente a la implementación de estrategias de radioprotección hubo un 22% de reducción de los exámenes radiológicos realizados en la sala de urgencias pediátrica. También hubo una reducción del 29% en la solicitud de dos o más exámenes radiológicos para el mismo niño o exámenes con dos o más incidencias. Por lo tanto, Oliveira et al. (2017), concluyen que la campaña y la tarjeta de radioprotección para los niños menores de 12 años son estrategias viables para la reducción de los exámenes radiológicos solicitados y realizado en la sala de emergencias pediátricas.

Es importante investigar la conciencia de los pediatras (médicos de referencia) sobre las dosis de radiación y los riesgos asociados. Los proveedores pediátricos deben comprender los riesgos básicos de las pruebas de diagnóstico por imágenes que solicitan y debatir cómodamente esos riesgos con los padres. Aprender el nivel de comprensión de los proveedores es importante para guiar las discusiones y mejorar las relaciones entre los radiólogos y las derivaciones pediátricas (Wildman-Tobriner, Parente y Maxfield, 2017). Al-Rammah (2016), realizó un estudio en donde distribuyó una encuesta de opción múltiple entre pediatras en 8 hospitales diferentes en Riyadh, la capital de Arabia Saudita. Entre los 162 encuestados, solo 24 pediatras (15%) estaban al tanto del principio ALARA. Aproximadamente la mitad (54%) de los encuestados creía que la TC multicorte proporcionaba una dosis baja de radiación, y 100 (62%) de los encuestados no sabían que la radiación es considerada cancerígena por la *Food and Drug Administration* (FDA) de los Estados Unidos. Entre los encuestados, 110 (68%) no tuvieron educación específica con respecto a la radiación durante su entrenamiento. Hubo una subestimación general (83%) de la dosis de radiación de la TC, y el 70% pensó que las imágenes por resonancia magnética suministraban cierto nivel de radiación ionizante. Al-Rammah (2016), concluye que los pediatras en los hospitales de Arabia Saudita tienen una gran subestimación dosis de radiación y los riesgos asociados de la TC para los niños. Deberíamos mejorar el conocimiento de los pediatras sobre la dosis de radiación. Radiólogos, pediatras, tecnólogos de radiación y físicos médicos deben trabajar juntos para optimizar las pautas y protocolos de TC para reducir los riesgos de radiación para los pacientes pediátricos.

Wildman-Tobriner et al. (2017), enviaron en su estudio una encuesta por correo electrónico que consta de 6 pregun-

tas a 390 proveedores de pediatría (docentes, aprendices y proveedores de nivel medio) de una sola institución académica. Una pregunta basada en el conocimiento solicitó a los proveedores que identificaran qué modalidades de radiología usan radiación ionizante. Preguntas subjetivas preguntaron a los proveedores sobre discusiones con los padres, consultas con radiólogos y complicaciones de los estudios de imágenes. Ciento sesenta y nueve proveedores pediátricos (tasa de respuesta del 43.3%) completaron la encuesta. Más del 90% de los proveedores que respondieron dicha encuesta identificaron correctamente la TC, la fluoroscopia y la radiografía como modalidades que usan radiación ionizante, y la ecografía y la resonancia magnética (RM) como modalidades que no lo hacen. Menos (66.9% correcto, $P < 0.001$) sabían que la medicina nuclear utiliza radiación ionizante. La mayoría de los proveedores (82.2%) creía que las discusiones con los radiólogos con respecto a la radiación ionizante eran útiles, pero el 39.6% dijo que rara vez tenían tiempo para hacerlo. Los proveedores estaban más preocupados por las complicaciones de la sedación y el costo que por el cáncer inducido por la radiación, la insuficiencia renal o la anafilaxia (Wildman-Tobiner et al., 2017).

La comunicación efectiva hacia los padres del paciente sobre el riesgo de radiación también es una competencia central para los proveedores de atención radiológica y es una medida que puede prevenir y resolver conflictos potenciales relacionados con la radiación ionizante. Kasraie, Jordan, Keup y Westra (2018), presentaron una sinopsis de los desafíos para mantener dicho diálogo con los padres y revisaron los métodos publicados para fortalecer y mantener este discurso. Kasraie et al. (2018), discuten doce estrategias que pueden ayudar a aliviar las preocupaciones sobre el riesgo iatrogénico asociado con las imágenes médicas mediante la exposición a la radiación. Dichas estrategias son las siguientes:

1. Abordar la idoneidad clínica del examen.
2. Describir los riesgos de Exámenes clínicamente indicados en el contexto de los beneficios clínicos.
3. Gestión de la percepción negativa a través de la participación del paciente.
4. Mantener un flujo efectivo de información dentro de la institución.
5. Limitar la jerga técnica de radiología.
6. Describir comparaciones familiares para transmitir el nivel de riesgo efectivamente.
7. Usar la tecnología como complemento de la comunicación cara a cara.
8. Gestión de confianza y percepción.
9. Citar los logros.
10. Presentar gráficos y ayudas visuales.
11. Proporcionar folletos informativos.
12. Conciencia de los medios populares.

Por su parte el comité de investigación de la Sociedad Europea de Radiología Pediátrica (ESPR) también ha sido establecido para iniciar, impulsar y fomentar la excelencia en imágenes pediátricas, intervención pediátrica guiada por imágenes e investigación de protección radiológica, al facilitar más estándares basados en evidencia, protocolos y colaboraciones multiinstitucionales. La Agenda de Investigación Estratégica de la ESPR describe el enfoque de investigación actual, destacando varias áreas de imágenes pediátricas donde la sociedad puede ayudar a guiar el presente y el futuro de la investigación en este tema, y enfatizando aquellas áreas donde la primera "semilla" de investigación puede necesitar ser asignada por esta y otras sociedades como precursores de solicitudes de subvención más grandes. Los objetivos clave de esta agenda son evaluar la variación normal para poder diagnosticar con confianza estados de enfermedad, desarrollar sistemas de clasificación robustos basados en imágenes para ayudar al diagnóstico y la monitorización del tratamiento, y ayudar a desarrollar pautas clínicas basadas en la evidencia que utilicen la literatura científica y la experiencia actual para identificar brechas de conocimiento sobre este tema. Por esta razón, el desarrollo de métodos de imágenes basados en la evidencia, desglosadas paso a paso para incluir el diagnóstico, la clasificación y la efectividad clínica, debe ser el objetivo final de cada entidad patológica para cada niño afectado (Arthurs et al., 2019).

Varias de estas iniciativas, particularmente la reducción de dosis y optimización en el registro de datos y mejora del análisis de imágenes, se comparten con otros representantes de imágenes pediátricas, como el Comité de Investigación de Imagen Pediátrica del Colegio Americano de Radiología y se esperan iniciativas conjuntas. Fomentar la colaboración en investigación clínica a nivel internacional es el objetivo del comité de investigación ESPR para los próximos 5 años, con la finalidad de facilitar mejoras en la atención médica pediátrica (Arthurs et al., 2019).

En España, la Sociedad Española de Radiología Médica, también ha creado tres pilares básicos en radioprotección. El primero de ellos es la Formación en Radioprotección, el segundo es la Información a la población, y el tercero y no menos importante son las medidas sobre el equipamiento, tales como la utilización del equipamiento más adecuado en cada momento, específicamente aquel que permita una mayor reducción de la dosis de radiación al paciente. La Sociedad Española de Radiología Médica, también considera que es necesario actualizar la tecnología, de manera que los equipos que produzcan una exposición significativamente mayor a la permitida sean sustituidos y se evite su uso, especialmente en la población pediátrica. Otra medida es la actualización e implementación del software de los equipos, con la instalación de alarmas y avisos de dosis en tiempo real que sean adecuadas para cada paciente. Todos los equipos de radiología deben ser supervisados por un físico médico especialista. También se debe disponer dentro del historial clínico del paciente su dosis histórica, de manera que el médico peticionario tenga accesibilidad a estos datos y sean obligatoriamente visibles para que este pueda realizar la prescripción adecuada y el radiólogo pueda realizar la exploración. Los equipos y protocolos de exploración deben ser optimizados, esto

con la finalidad que la dosis administrada en cada exploración y en cada equipo sea la menor posible para el paciente (Lancharro y Rodríguez, 2016).

7. CONCLUSIÓN

- Los niños expuestos a radiación ionizante están teóricamente sujetos a un mayor riesgo de carcinogénesis en comparación con la población general. La radiación relacionada con la TC aumenta el riesgo de tumores cerebrales. La asociación de la exposición de radiaciones ionizantes con el desarrollo de Leucemia es contradictoria.
- El principio clave de la protección radiológica moderna es el principio ALARA. La dosis efectiva máxima de radiación se puede calcular mediante el método de estimación de dosis de tamaño específico. Para realizar la optimización de la dosis también es necesario el uso de los DRL. Un software de gestión automática de dosis permite el cálculo rápido de la DRL. El bajo voltaje de tubo, tales como el tubo de GigaLix y el detector de Si cristalino pueden disminuir la dosis de radiación en un 50% a 60% en pacientes pediátricos. El uso apropiado de técnicas de IR también resulta útiles para la reducción de la dosis de radiación en la mayoría de las aplicaciones de TC pediátrica.
- La proyección radiológica PA disminuye significativamente la exposición a la radiación, por lo debe considerarse para su implementación de forma rutinaria. El uso de la TC debe ser considerado solamente en casos de trauma cerebral agudo, sospecha de enfermedades pulmonares intersticiales, cálculos renales y algunas patologías esqueléticas. La CBCT dental debería ser considerada como un método adicional en lugar de un reemplazo para imágenes convencionales de rayos X. En todos los demás casos se debe dar preferencia a la utilización de modalidades de imágenes no ionizantes.
- La campaña y la tarjeta de radioprotección para los niños menores de 12 años son estrategias viables para la reducción de los exámenes radiológicos solicitados y realizado en la sala de emergencias pediátricas. Se debe mejorar el conocimiento de los pediatras sobre la dosis de radiación, ya que la mayoría de los proveedores tienen un alto nivel de conocimiento básico sobre las modalidades que usan radiación ionizante, sin embargo a pesar de que encuentran útiles las conversaciones con los radiólogos, les preocupan más otros temas como las complicaciones de la sedación de los procedimientos y el costo.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre M et al. (2017). Radioprotección en pediatría. Sección a cargo del Subcomité de Seguridad del Paciente. *Rev. Hosp. Niños (B. Aires)* 59(266):224-226 / 225
2. Alejo L et al. (2018). Radiation Dose Optimisation for Conventional Imaging in Infants and Newborns Using Automatic Dose Management Software: An Application of the New 2013/59 EURATOM Directive. *Br J Radiol.* 91 (1086), 20180022
3. Al-Rammah T. (2016). CT Radiation Dose Awareness Among Paediatricians. *Ital J Pediatr.* 42 (1), 77
4. Arthurs O et al. (2019). European Society of Paediatric Radiology 2019 strategic research agenda: improving imaging for tomorrow's children. *Pediatric Radiology* 49:983-989. <https://doi.org/10.1007/s00247-019-04406-4>
5. Baysson H et al. (2016). Exposition à la scanographie dans l'enfance et risque de cancer à long terme. Une synthèse des études épidémiologiques récentes. *Bulletin Du Cancer*, 103(2), 190-198. doi:10.1016/j.bulcan.2015.11.003
6. Baysson H, Etard C, Brisse H y Bernier M. (2012). Diagnostic radiation exposure in children and cancer risk: current knowledge and perspectives. *Arch Pediatr.* 19(1):64-73.
7. Brandl A y Tschurlovits M. (2018). Professional ethics in radiological protection. *Journal of Radiological Protection.* doi:10.1088/1361-6498/aadd23
8. De Barcelona V. (2012). Radioprotección en Pediatría. *Pediatría Atención Primaria.* 14(56), e59-e61. Recuperado en 09 de febrero de 2020, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322012000500018&lng=es&tlng=es.
9. Cousins C. (2015). ICRP: past, present, and future. *Annals of the ICRP*, 44(1_suppl), 3-7. doi: 10.1177/0146645314559346
10. Comisión Europea. (1998). Protección radiológica 102. Aplicación de la "Directiva sobre exposiciones médicas" (97/43/EURATOM). Actas del seminario internacional. 1998. Disponible en: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/102_es.pdf
11. Consejo de Seguridad Nuclear. (2012). Protección Radiológica/CSN. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica>
12. Cho K et al. (2018). ICRP Publication 138: Ethical Foundations of the System of Radiological Protection. *Ann ICRP.* 47(1):1-65. doi: 10.1177/0146645317746010.
13. De Felice F, Di Carlo G, Saccucci M, Tombolini V y Polimeni A. (2019). Dental Cone Beam Computed Tomography in Children: Clinical Effectiveness and Cancer Risk Due to Radiation Exposure. *Oncology.* 96 (4), 173-178.
14. González J, González M, Alonso A, Aleixandre R. (2014). Comunicación científica (XIV). Conocimientos básicos para leer (y escribir) un artículo científico (1): lectura crítica de documentos científicos. *Acta Pediátrica Española.* 72 (7): e244-e251. Disponible en: <https://medes.com/publication/91940>
15. Hojreh A, Weber M y Hoolka P. (2015). Effect of staff training on radiation dose in paediatric CT. *Eur J Radiol.* 84(8):1574e8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2015.04.027>.
16. Hutton B, Moher D y Cameron C. (2015). The PRISMA Extension Statement. *Ann Intern Med.* 163(7):566-7. doi: 10.7326/L15-5144-2.

17. Kang K. (2016). History and Organizations for Radiological Protection. *Journal of Korean Medical Science*, 31(Suppl 1), S4. doi:10.3346/jkms.2016.31.s1.s4
18. Kapadia M et al. (2016). PRISMA-Children (C) and PRISMA-Protocol for Children (P-C) Extensions: a study protocol for the development of guidelines for the conduct and reporting of systematic reviews and meta-analyses of newborn and child health research. *BMJ Open*. 6 (4):e010270. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010270.
19. Kasraie N, Jordan D, Keup Ch y Westra S. (2018). Optimizing Communication With Parents on Benefits and Radiation Risks in Pediatric Imaging. *J Am Coll Radiol*. 15 (5), 809-817. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29555251-optimizing-communication-with-parents-on-benefits-and-radiation-risks-in-pediatric-imaging/?from_term=Radiological+Protection+AND+Pediatrics+OR+childhood+AND+Radiation+risk&from_page=2&from_pos=6
20. Kesminiene A y Cardis E. (2018). Cancer Risk From Paediatric Computed Tomography Scanning: Implications for Radiation Protection in Medicine. *Ann ICRP*. 47 (3-4), 113-114
21. Kutanzi K, Lumen A, Koturbash I y Miousse I. (2016). Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations. *Int J Environ Res Public Health*. 13 (11)
22. Leung R. (2015). Radiation Protection of the Child From Diagnostic Imaging. *Curr Pediatr Rev*. 11 (4), 235-42. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26219738-radiation-protection-of-the-child-from-diagnostic-imaging/?from_term=Radiological+Protection+AND+Pediatrics+OR+childhood+AND+Radiation+risk&from_pos=10
23. Lancharro Á y Rodríguez C. (2016). Radioprotection and Contrast Agent Use in Pediatrics: What, How, and When. *Radiologia*. 58 Suppl 2, 92-103
24. Manu S, Suntharos P, Boyle G, Wang L y Prieto L. (2018). Radiation Reduction in the Pediatric Catheterization Laboratory Using a Novel Imaging System. *J Invasive Cardiol*. 30 (1), 28-33
25. Meulepas J et al. (2019). Radiation Exposure From Pediatric CT Scans and Subsequent Cancer Risk in the Netherlands. *J Natl Cancer Inst*. 111 (3), 256-263
26. Miller D, Martin C y Rehani M. (2018). The mandate and work of ICRP Committee 3 on radiological protection in medicine. *Annals of the ICRP*, 014664531875624. doi:10.1177/0146645318756249
27. Moolman N et al. (2019). Radiographer knowledge and practice of paediatric radiation dose protocols in digital radiography in Gauteng. *Radiography*. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2019.09.006>
28. Moore Q. (2015). Manipulation of Projection Approach in Pediatric Radiography. *Radiol Technol*. 86 (5), 481-9.
29. Nagayama Y et al. (2018). Radiation Dose Reduction at Pediatric CT: Use of Low Tube Voltage and Iterative Reconstruction. *Radiographics*. 38 (5), 1421-1440. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30207943-radiation-dose-reduction-at-pediatric-ct-use-of-low-tube-voltage-and-iterative-reconstruction/?from_term=Radiological+Protection+AND+Pediatrics+OR+childhood+AND+Radiation+risk&from_pos=8
30. Newman B y Callahan M. (2011). ALARA (as low as reasonably achievable) CT 2011—executive summary. *Pediatr Radiol*. 41 (Suppl 2):S453–S455 DOI 10.1007/s00247-011-2154-8
31. Nikkilä A, Raitanen J, Lohi O y Auvinen A. (2018). Radiation Exposure From Computerized Tomography and Risk of Childhood Leukemia: Finnish Register-Based Case-Control Study of Childhood Leukemia (FRECCLE). *Haematologica*. 103 (11), 1873-1880.
32. Oliveira M, Bernardo 1, de Almeida F y Morgado F. (2017). Radioprotection campaign and card: educational strategies that reduce children's excessive exposure to radiological exams. *Rev Paul Pediatr*. 35 (2), 178-184
33. Ost, M. (2018). Radiation Exposure in Pediatric Urology Patients: How to Adhere to ALARA. *The Journal of Urology*, 199(2), 351–352. doi:10.1016/j.juro.2017.11.063
34. Schegerer A, Loose R, Heuser L y Brix G. (2019). Diagnostic Reference Levels for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures in Germany: Update and Handling. *Rofo*. 191 (8), 739-751
35. Siciliano R. (2017). Radiological Examinations in Pediatric Age. *Ann Ig* 29: 134-140 doi:10.7416/ai.2017.2140
36. Sulieman A et al. (2018). Estimation of Effective Dose and Radiation Risk in Pediatric Barium Studies Procedures. *Appl Radiat Isot*. 138, 40-44
37. Tsujiguchi T, Obara H, Ono S, Saito Y y Kashiwakura I. (2018). Consideration of the Usefulness of a Size-Specific Dose Estimate in Pediatric CT Examination. *J Radiat Res*. 59 (4), 430-435
38. Verstandig A. (2017). Diagnostic Reference Levels Will Not Lead Us to "ALARA". *J Vasc Interv Radiol*. 28(8):1196-1197. doi: 10.1016/j.jvir.2017.05.008.
39. Wildman-Tobriner B, Parente V y Maxfield Ch. (2017). Pediatric Providers and Radiology Examinations: Knowledge and Comfort Levels Regarding Ionizing Radiation and Potential Complications of Imaging. *Pediatr Radiol*. 47 (13), 1730-1736. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28852812-pediatric-providers-and-radiology-examinations-knowledge-and-comfort-levels-regarding-ionizing-radiation-and-potential-complications-of-imaging/?from_term=Radiological+Protection+AND+Pediatrics+OR+childhood+AND+Radiation+risk&from_page=2&from_pos=4

9. ANEXOS

Anexo I. Escala CASpe (CASP España)

Comentarios generales:

- Hay tres aspectos generales a tener en cuenta cuando se hace la lectura crítica de una revisión: ¿Son válidos esos resultados? ¿Cuáles son los resultados? ¿Son aplicables en tu medio?
- Las 10 preguntas de las próximas páginas están diseñadas para ayudarte a pensar sistemáticamente sobre estos aspectos. Las dos primeras preguntas son preguntas "de eliminación" y se pueden responder rápidamente. Sólo si la respuesta es "sí" en ambas, entonces merece la pena continuar con las preguntas restantes.
- Puede haber cierto grado de solapamiento entre algunas de las preguntas.
- Debajo de las preguntas encontrarás una serie de pistas para contestar a las preguntas. Están pensadas para recordarte por que la pregunta es importante.
- Estas 10 preguntas están adaptadas de: Oxman AD, Guyatt GH et al, Users' Guides to The Medical Literature, VI How to use an overview. (JAMA 1994; 272 (17): 1367-1371)

A/ ¿Los resultados de la revisión son válidos?

Preguntas "de eliminación"

1 ¿Se hizo la revisión sobre un tema claramente definido?

PISTA: Un tema debe ser definido en términos de

- La población de estudio.
- La intervención realizada.
- Los resultados ("outcomes") considerado

SI__ NO SE__ NO__

2. ¿Buscaban los autores el tipo de artículos adecuado? PISTA: El mejor "tipo de estudio" es el que

- Se dirige a la pregunta objeto de la revisión.
- Tiene un diseño apropiado para la pregunta.

SI__ NO SE__ NO__

Preguntas detalladas

3 ¿Crees que estaban incluidos los estudios importantes y pertinentes?

PISTA: Busca

- Qué bases de datos bibliográficas se han usado.
- Seguimiento de las referencias.
- Contacto personal con expertos.
- Búsqueda de estudios no publicados.
- Búsqueda de estudios en idiomas distintos del inglés.

SI__ NO SE__ NO__

4 ¿Crees que los autores de la revisión han hecho suficiente esfuerzo para valorar la calidad de los estudios incluidos?

PISTA: Los autores necesitan considerar el rigor de los estudios que han identificado. La falta de rigor puede afectar al resultado de los estudios

SI__ NO SE__ NO__

5. Si los resultados de los diferentes estudios han sido mezclados para obtener un resultado "combinado", ¿era razonable hacer eso?

PISTA: Considera si

- Los resultados de los estudios eran similares entre sí.
- Los resultados de todos los estudios incluidos están claramente presentados.
- Están discutidos los motivos de cualquier variación de los resultados

B/ ¿Cuáles son los resultados?

6. ¿Cuál es el resultado global de la revisión?

PISTA: Considera

- Si tienes claro los resultados últimos de la revisión.
- ¿Cuáles son? (numéricamente, si es apropiado).
- ¿Cómo están expresados los resultados? (NNT, odds ratio, etc.).

7 ¿Cuál es la precisión del resultado/s?

PISTA: Busca los intervalos de confianza de los estimadores.

C/¿Son los resultados aplicables en tu medio?

8 ¿Se pueden aplicar los resultados en tu medio?

PISTA: Considera si

- Los pacientes cubiertos por la revisión pueden ser suficientemente diferentes de los de tu área.
- Tu medio parece ser muy diferente al del estudio.

SI__ NO SE__ NO__

9 ¿Se han considerado todos los resultados importantes para tomar la decisión?

SI__ NO SE__ NO__

10 ¿Los beneficios merecen la pena frente a los perjuicios y costes? Aunque no esté planteado explícitamente en la revisión, ¿qué opinas?

SI__ NO SE__ NO__

Anexo II. Herramientas para la lectura crítica

Escala PRISMA

Sección/tema	#	Ítem
TÍTULO		
Título	1	Identificar la publicación como revisión sistemática, metaanálisis o ambos.
RESUMEN		
Resumen estructurado	2	Facilitar un resumen estructurado que incluya, según corresponda: antecedentes; objetivos; fuente de los datos; criterios de elegibilidad de los estudios, participantes e intervenciones; evaluación de los estudios y métodos de síntesis; resultados; limitaciones; conclusiones e implicaciones de los hallazgos principales; número de registro de la revisión sistemática.
INTRODUCCIÓN		
Justificación	3	Describir la justificación de la revisión en el contexto de lo que ya se conoce sobre el tema.
Objetivos	4	Plantear de forma explícita las preguntas que se desea contestar en relación con los participantes, las intervenciones, las comparaciones, los resultados y el diseño de los estudios (PICOS).
MÉTODOS		
Protocolo y registro	5	Indicar si existe un protocolo de revisión al se pueda acceder (por ejemplo, dirección web) y, si está disponible, la información sobre el registro, incluyendo su número de registro.
Criterios de elegibilidad	6	Especificar las características de los estudios (por ejemplo, PICOS, duración del seguimiento) y de las características (por ejemplo, años abarcados, idiomas o estatus de publicación) utilizadas como criterios de elegibilidad y su justificación.
Fuentes de información	7	Describir todas las fuentes de información (por ejemplo, bases de datos y períodos de búsqueda, contacto con los autores para identificar estudios adicionales, etc.) en la búsqueda y la fecha de la última búsqueda realizada.
Búsqueda	8	Presentar la estrategia completa de búsqueda electrónica en, al menos, una base de datos, incluyendo los límites utilizados de tal forma que pueda ser reproducible.
Selección de los estudios	9	Especificar el proceso de selección de los estudios (por ejemplo, el cribado y la elegibilidad incluidos en la revisión sistemática y, cuando sea pertinente, incluidos en el metaanálisis).
Proceso de recopilación de datos	10	Describir los métodos para la extracción de datos de las publicaciones (por ejemplo, formularios dirigidos, por duplicado y de forma independiente) y cualquier proceso para obtener y confirmar datos por parte de los investigadores.
Lista de datos	11	Listar y definir todas las variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, PICOS fuente de financiación) y cualquier asunción y simplificación que se hayan hecho.
Riesgo de sesgo en los estudios individuales	12	Describir los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales (especificar si se realizó al nivel de los estudios o de los resultados) y cómo esta información se ha utilizado en la síntesis de datos.
Medidas de resumen	13	Especificar las principales medidas de resumen (por ejemplo, razón de riesgos o diferencia de medias).
Síntesis de resultados	14	Describir los métodos para manejar los datos y combinar resultados de los estudios, si se hiciera, incluyendo medidas de consistencia (por ejemplo, I ²) para cada metaanálisis.
Riesgo de sesgo entre los estudios	15	Especificar cualquier evaluación del riesgo de sesgo que pueda afectar la evidencia acumulativa (por ejemplo, sesgo de publicación o comunicación selectiva).
Análisis adicionales	16	Describir los métodos adicionales de análisis (por ejemplo, análisis de sensibilidad o de subgrupos, metarregresión), si se hiciera, indicar cuáles fueron preespecificados.
RESULTADOS		
Selección de estudios	17	Facilitar el número de estudios cribados, evaluados para su elegibilidad e incluidos en la revisión, y detallar las razones para su exclusión en cada etapa, idealmente mediante un diagrama de flujo.
Características de los estudios	18	Para cada estudio presentar las características para las que se extrajeron los datos (por ejemplo, tamaño, PICOS y duración del seguimiento) y proporcionar las citas bibliográficas.
Riesgo de sesgo en los estudios	19	Presentar datos sobre el riesgo de sesgo en cada estudio y, si está disponible, cualquier evaluación del sesgo en los resultados (ver ítem 12).



Sección/tema	#	Ítem
TÍTULO		
Resultados de los estudios individuales	20	Para cada resultado considerado para cada estudio (beneficios o daños), presentar: a) el dato resumen para cada grupo de intervención y b) la estimación del efecto con su intervalo de confianza, idealmente de forma gráfica mediante un diagrama de bosque (forest plot).
Síntesis de los resultados	21	Presentar resultados de todos los metaanálisis realizados, incluyendo los intervalos de confianza y las medidas de consistencia.
Riesgo de sesgo entre los estudios	22	Presentar los resultados de cualquier evaluación del riesgo de sesgo entre los estudios (ver ítem 15).
Análisis adicionales	23	Facilitar los resultados de cualquier análisis adicional, en el caso de que se hayan realizado (por ejemplo, análisis de sensibilidad o de subgrupos, metarregresión [ver ítem 16])
DISCUSIÓN		
Resumen de la evidencia	24	Resumir los hallazgos principales, incluyendo la fortaleza de las evidencias para cada resultado principal; considerar su relevancia para grupos clave (por ejemplo, proveedores de cuidados, usuarios y decisores en salud).
Limitaciones	25	Discutir las limitaciones de los estudios y de los resultados (por ejemplo, riesgo de sesgo) y de la revisión (por ejemplo, obtención incompleta de los estudios identificados o comunicación selectiva).
Conclusiones	26	Proporcionar una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias así como las implicaciones para la futura investigación.
FINANCIACIÓN		
Financiación	27	Describir las fuentes de financiación de la revisión sistemática y otro tipo de apoyos (por ejemplo, aporte de los datos), así como el rol de los financiadores en la revisión sistemática.

