



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN DE LA
FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL GENERAL "DR. MANUEL GEA GONZÁLEZ"

**DOSIS DE RADIACIÓN POR ESTUDIOS IMAGEN EN
NEONATOS PRETERMINO DE 28 A 34 SEMANAS
DURANTE SU ESTANCIA EN LA UNIDAD DE CUIDADOS
INTENSIVOS NEONATALES DEL HOSPITAL GENERAL DR.
MANUEL GEA GONZÁLEZ**

Tesis:
QUE PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD DE PEDIATRÍA

Presenta:
DRA. ALMA SELENE FRAYRE OSTOS

Tutor:
DRA. PATRICIA TORRES NARVÁEZ

MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Este trabajo fue realizado en el Hospital General “Dr. Manuel Gea González” y en la División de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de México bajo la Dirección de Dra. Patricia Torres Narváez.

Este trabajo de Tesis con No. 21-59-2010, presentado por el alumno ***Alma Selene Frayre Ostos*** se presenta en forma con visto bueno por el Tutor principal de la Tesis Dra. Patricia Torres y la División de Investigación Clínica a cargo de la Dra. María de Lourdes Suárez Roa y con fecha del 10 de Agosto del 2010 para su impresión final.

Dra. María de Lourdes Suárez Roa
División de Investigación Clínica

Dra. Patricia Torres Narváez
Tutor Principal

Autorizaciones

Dr. Octavio Sierra Martínez

Director de Enseñanza e Investigación
Hospital General “Dr. Manuel Gea González”

Dra. María Elisa Vega Memije

Subdirectora de Investigación
Hospital General “Dr. Manuel Gea González”

Dra. Irma Jiménez Escobar

Jefa de la División de Pediatría
Hospital General “Dr. Manuel Gea González”

Dra. Patricia Torres Narváez

Jefa del Departamento de Neonatología
Hospital General “Dr. Manuel Gea González”

DOSIS DE RADIACIÓN POR ESTUDIOS IMAGEN EN NEONATOS
PRETERMINO DE 28 A 34 SEMANAS DURANTE SU ESTANCIA EN LA UNIDAD
DE CUIDADOS INTENSIVOS NEONATALES DEL HOSPITAL GENERAL "DR.
MANUEL GEA GONZÁLEZ"

Colaborador:

Dr. Enrique Gaona

Físico

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

Firma

ÍNDICE

	Pagina
Glosario	I
Tablas y Figuras	II
Resumen	III
1. Introducción	13
2. Antecedentes	15
2.1 Rayos X	16
2.2 Ondas Electromagnéticas	16
2.3 Producción de Rayos X	16
2.4 Formación de Imagen Radiográfica	17
2.5 Detección y Medición de los Rayos X	18
2.6 Dosímetros de Cristales Termoluminiscente	18
2.7 Magnitud y Unidades en la Medición de dosis	19
2.8 Efectos Biológicos de la Radiación	20
a).-Efectos Estocásticos	22
b).-Efectos Deterministas	22
3. Justificación	23
4. Hipótesis	24
5. Objetivos	24
6. Material y Métodos	25
7. Resultados	29
8. Discusión	31
9. Conclusiones	32
10. Perspectivas	33
11. Bibliografía	33

GLOSARIO

Rayos X. Es radiación ionizante que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La radiación es el transporte de energía a través del espacio, por ondas electromagnéticas o partículas atómicas a través del vacío o de un medio material.

Equipo de rayos X.- Dispositivo generador de rayos X destinado a realizar estudios de diagnóstico médico. Este puede ser fijo, diseñado para permanecer dentro de una sala o cuarto destinado específicamente para realizar dichos estudios, o móvil diseñado para poder transportarse, manualmente o por medios motorizados a las diferentes áreas donde sean requeridos dichos estudios dentro de una misma instalación.

Campo de rayos X (campo de radiación). Área definida por la intersección del haz útil de radiación y el plano, perpendicular al eje del haz, donde se encuentra el punto de interés para la medición o estudio a realizar.

Capa hemirreductora. Espesor de un material que al interponerse en un haz útil de rayos X, atenúa la intensidad de la radiación al 50 % de su valor inicial.

Distancia foco-piel.- Distancia que existe entre el foco y la entrada a la piel del paciente medida sobre el eje principal del haz.

Foco. Punto focal del tubo de rayos X.

Tubo de rayos X. Tubo electrónico diseñado para producir rayos X.

kV. Tensión en el tubo

Dosis absorbida.- Energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa de un determinado material, medida en un punto específico. Matemáticamente se expresa como el cociente de d entre dm , donde d es el diferencial del promedio de la energía impartida.

Efectos deterministas.- Efectos biológicos de la radiación que se presentan sólo cuando se rebasa la dosis umbral específica para ese efecto y cuya severidad es función de la dosis absorbida.

Efectos estocásticos.- Efectos biológicos de la radiación para los cuales no existe una dosis umbral, sino que la probabilidad de que se produzcan, es función de la dosis absorbida y cuya severidad es independiente de la dosis.

Eje principal del haz. Línea que parte del foco hasta el centro del campo de rayos X.

Dosis equivalente. Cantidad que resulta del producto DQN donde D es la dosis absorbida en Gy, Q es el factor de calidad y N es el producto de todos los demás factores modificantes, tomándose por ahora un valor para N igual a la unidad. El nombre especial para la unidad de equivalente de dosis es el sievert (Sv).

Dosis efectiva. Suma ponderada de los equivalentes de dosis para los diferentes tejidos del cuerpo humano HT tanto por irradiación externa como por incorporación de radionúclidos. Se define como:

$$H_E = \sum_T W_T H_T$$

donde W_T es el factor de ponderación por tejido.

Exposición médica. La recibida por los pacientes con motivo de su propio diagnóstico o tratamiento médico, o por personas que los ayudan voluntariamente y no son ocupacionalmente expuestas.

Exposición ocupacional. La recibida por el personal ocupacionalmente expuesto durante su trabajo y con motivo del mismo.

Factor de ponderación por tejido. Factor adimensional por el que se multiplica la dosis equivalente recibida por un órgano o tejido para considerar su sensibilidad específica respecto a los efectos estocásticos de la radiación. Los factores que se usan con fines de protección radiológica son:

Factores técnicos. Conjunto de parámetros de operación del equipo (tensión, corriente, tiempo de exposición o sus combinaciones) empleados para realizar el estudio requerido.

Haz útil. Radiación ionizante proveniente del tubo de rayos X, que sale por la ventana de la coraza, atraviesa la filtración y es colimado por los dispositivos pertinentes, para obtener la imagen de interés clínico.

Imagen radiográfica. Representación de una o varias estructuras producida por la atenuación que experimenta un haz de rayos X al incidir sobre un paciente.

Instalación móvil para diagnóstico médico con rayos X. Vehículo automotor o remolque en cuyo interior se encuentra instalado un equipo de rayos X.

Límite anual de dosis. Valor de la dosis individual, en equivalente de dosis efectiva, debida a prácticas controladas y que no se debe rebasar en un año.

Manual de protección y seguridad radiológica. Documento cuyo objetivo es que todas las acciones que involucren fuentes de radiación ionizante, se ejecuten cumpliendo con normas y procedimientos de protección radiológica adecuados, para reducir las exposiciones ocupacionales y del público a valores tan bajos como razonablemente pueda lograrse, tomando en cuenta factores económicos y

sociales. Debe contener los procedimientos de protección y seguridad radiológica aplicables a las actividades que se realicen en el establecimiento.

Operador. Persona autorizada para operar el equipo de rayos X.

Paciente. Individuo en turno que está siendo objeto del estudio de diagnóstico médico con rayos X.

Radiación ionizante. Radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones, en forma directa o indirecta, al interactuar con la materia.

Radiación de fuga. Radiación generada en el tubo de rayos X y que atraviesa la coraza del mismo, exceptuando el haz útil.

Radiación dispersa. Fracción del haz útil cuya dirección y energía han sido modificadas al interactuar con la materia. En diagnóstico médico con rayos X se considera al paciente como el principal dispersor de la radiación del haz útil.

Radiación secundaria. Suma de la radiación dispersa y de la radiación de fuga.

Radiografía. Técnica del diagnóstico médico que produce una imagen de las estructuras del cuerpo sobre un receptor de imagen sensible a los rayos X transmitidos a través del paciente.

Receptor de imagen.- Dispositivo donde se reciben los rayos X que atravesaron al paciente, para formar la imagen de las estructuras de interés diagnóstico, mediante un proceso físico, químico o electrónico.

TLD. Dosímetro Termoluminiscente

DOSÍMETRO. Formado por uno o más detectores termoluminiscentes, que puede montarse en un soporte apropiado, destinado a ser colocado sobre el cuerpo de una persona, o en un medio dado, con el propósito de determinar la dosis equivalente en el lugar donde se coloque.

TERMOLUMINISCENCIA. Toda emisión de luz, independiente de aquella provocada por la incandescencia, que emite un sólido aislante o semiconductor cuando es calentado. Se trata de la emisión de una energía previamente absorbida como resultado de un estímulo térmico.

II

RELACIÓN DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Ondas Electromagnéticas

Figura 2. Producción de Rayos X en un tubo de ánodo fijo

Figura 3. Formación de Imagen

Figura 4. Fenómeno de la termoluminiscencia de algunos cristales

Figura 5. Características físicas de los dosímetros termoluminiscentes que serán usados en el estudio

Figura 6. Escala de tiempo de la respuesta biológica a la radiación

Figura 7. Efectos biológicos de la radiación

Figura 8. Distribución del numero de radiografía a cada paciente durante su permanencia en la UCIN.

Tabla 1. Factores de ponderación de los tejidos para efectos estocásticos.

Tabla 2. Umbral en los efectos deterministas en irradiación a cuerpo entero adulto

Tabla 3. Características generales de los pacientes.

Tabla 4. Técnicas radiológicas usadas en la toma de radiografías a los niños

Tabla 5. Distribución de la dosis en los pacientes

Tabla 6. Distancia y dosis medida que recibe el paciente que se encuentra a lado del paciente que se le toma una radiografía.

III

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar las dosis a piel por radiación directa y dispersa debido a radiografía digital computada que reciben los neonatos pretermino de 28 a 34 semanas de gestación, la dosis de radiación fue medida por dosimetría termoluminiscente durante su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN). Durante los estudios radiológicos se registraron varios parámetros como técnica radiológica, tipo de padecimientos, edad, peso talla y espesor antero posterior de los pacientes y otros parámetros.

El estudio se llevo a cabo en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) del hospital General Dr. Manuel Gea González en un periodo comprendido de abril a junio del 2010, se estudiaron 12 pacientes y los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: el 41.6 % (5) pacientes fueron hombres, con un promedio de 30.9 semanas de gestación (SDG) al nacimiento, el rango del peso a su ingreso fue de 700gr a 1718gr, con un promedio de estancia en la UCI de de 12 días con un rango de 3 a 35 días. Las dosis que reciben los niños por radiografía están en el intervalo de 0.01 mSv a 0.18 mSv a cuerpo entero.

De acuerdo con las recomendaciones del ICRP 60 (1991) y ICRP 103 (2008) (Comisión Internacional de Protección Radiológica) la dosis máxima permisible para el público es de 1 mSv/año, considerando que los niños participantes en el estudio son miembros del público, vemos que 8 de los 12 niños reciben una dosis total mayor a 1 mSv durante su estancia en la UCIN y la exposición fue de cuerpo completo. Varios niños tuvieron más de veinte radiografías durante su estancia en la UCIN

Con este estudio se logro tener información de las dosis recibidas con radiología digital por los niños como un estudio exploratorio ya que no tenemos datos de estudios previos en México, además se logro determinar los parámetros de las técnicas radiológicas que permiten optimizar la dosis a los niños, es decir, reducir dosis durante los estudios radiológicos, pero es necesario la educación y capacitación del personal técnico y médicos pediatras en protección radiológica y radiobiología.

ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the radiation doses from X-ray entrance exposure to the surface of the skin and scattered radiation due to the CR digital radiology in preterm infants of 28 to 34 weeks of gestation measured by thermoluminescent dosimetry during their stay in the Neonatal Intensive Care Unit (UCIN). During the imaging studies several parameters were recorded as radiographic technique, type of diseases, age, weight, height and A-P thickness of the patients and others parameters.

The study was conducted in the Neonatal Intensive Care Unit (UCIN) of Hospital General "Dr. Manuel Gea González" in the period of April to June of 2010, 12 patients were studied and the results obtained were as follows: the 41.6% (5) patients were men with an average of 30.9 weeks of gestation (SDG), the range of weight of the infants at admission was 700 g to 1718 g, with an average stay in UCIN of 12 days fell within the 3 to 35 days range. The doses received by the children by X-rays fell with the 0.01 mSv to 0.18 mSv range to whole body.

Data from the recommendations of ICRP 60 (1991) and ICRP 103 (2008) (International Commission on Radiation Protection), the maximum permissible dose to the public is 1 mSv per year, whereas children participants in the study are members of the public, we see that 8 of the 12 children receiving a total X-rays dose greater than 1 mSv during their stay in the UCIN and the exposure was full body. Several children had more than twenty digital radiographies during their stay in the UCIN

This study was achieved have information of the doses received by children with CR digital radiology as an exploratory study because we have no data from previous studies in Mexico, it was also achieved determine parameters of radiological techniques to optimize the dose for children in order to reduce X-rays doses during radiological studies, but it is necessary the education or training of technologists and medical pediatricians in radiation protection and biology radiation.

1. INTRODUCCIÓN

La exposición de los niños y de la población general a las radiaciones ionizantes proviene del medio ambiente, principalmente por los rayos cósmicos y el radón, o de la exposición médica [1]. Los rayos X en la exposición médica son la radiografía, la fluoroscopia, angiografía y la tomografía. La dosis depende de los factores del paciente, los factores técnicos (configuración de equipos) y la duración del procedimiento, y de la tecnología del equipo [9].

La exposición médica a los rayos X se produce durante el diagnóstico y terapia. Los efectos biológicos en los niños por las radiaciones ionizantes han sido estudiados de las explosiones nucleares en poblaciones y en accidentes radiológicos en el medio ambiente. Los estudios epidemiológicos han demostrado que las personas que están expuestas a altos niveles de radiación ionizante tienen un mayor riesgo de padecer cáncer, en particular, la leucemia, y más tarde en la vida, cáncer de mama, tiroides y otros. [1].

Artículos recientes muestran la creciente preocupación por los efectos a largo plazo de la exposición a la radiación durante la infancia. En los últimos 20 años, la sobrevivencia y el pronóstico de los prematuros, y en particular los nacidos antes de 34 semanas de gestación, ha mejorado de forma espectacular, principalmente gracias al tratamiento en unidades especializadas, apoyo a las vías respiratorias y la nutrición parenteral. Aproximadamente 1.5% de los nacidos vivos en los países occidentales se producen antes de las 34 semanas de gestación. La radiología diagnóstica desempeña un importante papel en la unidad de cuidados intensivos pero no se conoce el impacto potencial de la exposición a los rayos X en esta edad y en particular el riesgo de oncogénico [2].

La radiología diagnóstica es cada vez más utilizada en la evaluación y tratamiento de los recién nacidos que requieren cuidados intensivos. A menudo es necesario realizar un gran número de exploraciones radiológicas que dependen de la natalidad, peso del recién nacido, la edad gestacional y problemas médicos. El efecto nocivo de las radiaciones son mayores cuando la exposición se produce a principios de vida y por su estatura un área relativamente grande del bebé pueden ser irradiados y es más difícil la protección de los órganos sensibles a la radiación. Tanto el personal médico y los padres de los pequeños bebés prematuros a menudo cuestionan la seguridad de las radiografías múltiples, pero hay muy poca información publicada sobre esta materia [8].

La edad a la que la exposición se lleva a cabo es fundamental en la determinación del riesgo de radiación. Durante el periodo fetal el desarrollo y la primera infancia, la proliferación y la diferenciación de tejidos intensa toman lugar, y se sabe que las células proliferantes son más susceptibles a la inducción de cáncer. Los estudios radiográficos de los recién nacidos son especialmente críticos a causa de los factores de riesgo de cáncer y acortamiento de la esperanza de vida. Los estudios radiológicos en los recién nacidos, especialmente los recién nacidos prematuros da lugar a radiografías de cuerpo entero resultando en una dosis efectiva más elevada que con niños mayores y adultos. Por lo tanto, las dosis de radiación para estudios radiológicos de neonatales deben mantenerse tan bajas como sean justificadas. También es importante reducir las dosis recibidas por los recién nacidos evitando estudios radiológicos repetidos y no justificados en unidades de cuidados intensivos (UCIN) [16].

El pequeño tamaño de los bebés prematuros incluye más órganos están en el ampo de rayos X resultando en una dosis efectiva más elevado que en adultos. Sólo unos pocos estudios publicados desde 1990 han estudiado la distribución del número y las dosis de las radiografías en los recién nacidos, y sólo 3 han proporcionado información en prematuros. Esto nos guía al estudio del número de radiografías realizadas en una UCIN junto con la dosis efectiva acumulativo recibida [6].

Establecer las dosis de referencia para los pacientes pediátricos sometidos a estudios de rayos X diagnóstico ha sido motivo de preocupación para varios organizaciones nacionales e internacionales implicadas en la medición de la dosis de radiación, vigilancia y seguridad. Organismos de protección de las radiaciones en muchos países, incluyendo Australia, la Reino Unido, los Estados Unidos de América y Nueva Zelanda, han establecido los niveles de dosis de referencia para la rayos X de diagnóstico que suelen realizar los exámenes de rayos X. Estos valores de referencia de la superficie de entrada (o de la piel), la dosis efectiva han calculado sobre la base de los datos dosimétricos de encuestas nacionales de los pacientes de 5 años de edad. Estos valores se utilizan como los niveles de referencia, independientemente de la edad de los pacientes. Sin embargo, esto puede no ser adecuado para los recién nacidos o los bebés menores de 1 año cuyo peso corporal medio es de aproximadamente 50% de un promedio de 5 años de edad.

El riesgo para los pacientes pediátricos de desarrollo a largo plazo de los efectos biológicos tras la exposición a los rayos X es mayor que la de los adultos porque sus células, tejidos y órganos tienen una mayor radiosensibilidad, y que tienen más tiempo de vida, permitiendo así que los efectos puedan manifestarse [13].

Los efectos oncogénicos de la radiación pueden tener un largo período de latencia. Este período de latencia varía con la tipo de neoplasia. La leucemia tiene un período más corto (aproximadamente 5 a 10 años) que las neoplasias malignas sólidas que pueden manifestarse décadas después. Un bebé o un niño, por lo tanto, tiene una mayor esperanza de vida en que se manifiesten los efectos potencial oncogénico de radiación en comparación con los adultos mayores [12].

La tomografía computarizada es de particular interés en la protección radiológica de los niños debido a sus dosis relativamente altas y en esta modalidad de radiología es importante no hacer estudios no necesarios o no justificados por los factores de riesgo por la dosis recibida [12]. Además, las posibilidades de repetir estudios radiológicos son más altos en los pacientes pediátricos, debido a la inadecuada inmovilización y menos efectiva la comunicación durante los estudios.

La Comisión Europea establece que la exposición a radiaciones en los primeros 10 años de la vida se estima que tienen un riesgo aproximadamente 4 veces mayor de los riesgos contraídos en la edad de 30 a 40 años para algunos efectos perjudiciales. De publicación de referencia los niveles de orientación ayudarán a los profesionales médicos a tomar las medidas necesarias para reducir al mínimo las posibilidades de los efectos de la radiación inducida, pero al mismo tiempo llevar a cabo los suficientes estudios radiográficos para ayudar al diagnóstico médico. Aunque las dosis por rayos X en los estudios de diagnóstico

de los pacientes adultos han sido ampliamente estudiados, pocos estudios se han centrado en determinar la dosis para los recién nacidos y los bebés de 1 año de edad [13].

Tomando en cuenta como parte del marco referencial estudio como el que realizaron P M Sutton, R J Arthur, Las radiaciones ionizantes de los rayos X de diagnóstico en bebés con bajo peso al nacer, el cual se llevo a cabo durante el periodo del primero de octubre de 1992 al 31 de marzo de 1994 en donde estudiaron en forma retrospectiva. Se registraron datos demográficos, gestación, peso al nacer, el peso de descarga, la duración de admisión en los días y todos los médicos o diagnósticos quirúrgicos para cada bebé. Cada radiografía se evaluó con respecto a la fecha, tipo de radiografía, y datos de exposición. La superficie expuesta de cada radiografía se determinó en cm^2 .

Proyección y exposición los detalles fueron haciendo referencia directa a independiente los registros presentados por la radiografía efectuada en el momento de cada radiografía. Tres bebés se sometieron a un procedimiento de detección radiológica. A diferencia de este estudio la forma de captar la dosis de radiación en nuestro estudio es directa por medio de dosimetría termoluminiscente directos al paciente de estudio en el momento del estudio, pensando en obtener dosis más exactas y no calculadas y por la carencia de expedientes radiográficos en nuestro hospital.

2. ANTECEDENTES [15]

La historia de la radiología responde al interés de conocer, comprender y explicar el estado actual en que se obtienen las imágenes con rayos X para dar un diagnóstico y/o tratamiento para el bienestar del ser humano.

El descubrimiento de los rayos X tuvo lugar el 8 de noviembre de 1895, en Alemania. Roentgen, en el momento del descubrimiento, realizaba experimentos con rayos catódicos (descargas eléctricas en tubos al vacío).

Al continuar Roentgen con sus experimentos interpuso su mano entre el tubo y una pantalla formada por una hoja de cartón impregnada de platinocianuro de bario y noto con sorpresa que sus tejidos se hacían transparentes pero desigualmente; la sombra proyectada por los huesos estaban mucho mejor definida y acentuada que la del resto de la mano; con este experimento nació la radioscopia (hoy fluoroscopia). Para capturar esta imagen, de manera permanente, colocó papel fotográfico en un chasis y en la trayectoria de los rayos X; al relevar la placa encontró la fotografía del esquema de su mano y así nació la radiografía, inmediatamente vio el significado potencial de los rayos X para el diagnóstico y pronóstico de las enfermedades que afectan al ser humano.

Los *pioneros de la radiología*, médicos, físicos y otras personas, se exponen a los rayos X sin ningún tipo de protección, sufren graves trastornos cutáneos y mutilaciones y, con frecuencia, mueren de leucemia o de otros tipos de cáncer. En las diferentes partes del mundo empezaron a observar que la exposición prolongada a los rayos X provocaba ciertas alteraciones sobre todo en la piel.

Ha transcurrido más de un siglo del descubrimiento de los rayos X y todavía no se ha logrado superar del todo las experiencias que sufrieron los pioneros de la radiología, esto quiere decir, que el personal médico y técnico que emplean los

de los pacientes adultos han sido ampliamente estudiados, pocos estudios se han centrado en determinar la dosis para los recién nacidos y los bebés de 1 año de edad [13].

Tomando en cuenta como parte del marco referencial estudio como el que realizaron P M Sutton, R J Arthur, Las radiaciones ionizantes de los rayos X de diagnóstico en bebés con bajo peso al nacer, el cual se llevo a cabo durante el periodo del primero de octubre de 1992 al 31 de marzo de 1994 en donde estudiaron en forma retrospectiva. Se registraron datos demográficos, gestación, peso al nacer, el peso de descarga, la duración de admisión en los días y todos los médicos o diagnósticos quirúrgicos para cada bebé. Cada radiografía se evaluó con respecto a la fecha, tipo de radiografía, y datos de exposición. La superficie expuesta de cada radiografía se determinó en cm^2 .

Proyección y exposición los detalles fueron haciendo referencia directa a independiente los registros presentados por la radiografía efectuada en el momento de cada radiografía. Tres bebés se sometieron a un procedimiento de detección radiológica. A diferencia de este estudio la forma de captar la dosis de radiación en nuestro estudio es directa por medio de dosimetría termoluminiscente directos al paciente de estudio en el momento del estudio, pensando en obtener dosis más exactas y no calculadas y por la carencia de expedientes radiográficos en nuestro hospital.

2. ANTECEDENTES [15]

La historia de la radiología responde al interés de conocer, comprender y explicar el estado actual en que se obtienen las imágenes con rayos X para dar un diagnóstico y/o tratamiento para el bienestar del ser humano.

El descubrimiento de los rayos X tuvo lugar el 8 de noviembre de 1895, en Alemania. Roentgen, en el momento del descubrimiento, realizaba experimentos con rayos catódicos (descargas eléctricas en tubos al vacío).

Al continuar Roentgen con sus experimentos interpuso su mano entre el tubo y una pantalla formada por una hoja de cartón impregnada de platinocianuro de bario y noto con sorpresa que sus tejidos se hacían transparentes pero desigualmente; la sombra proyectada por los huesos estaban mucho mejor definida y acentuada que la del resto de la mano; con este experimento nació la radioscopia (hoy fluoroscopia). Para capturar esta imagen, de manera permanente, colocó papel fotográfico en un chasis y en la trayectoria de los rayos X; al relevar la placa encontró la fotografía del esquema de su mano y así nació la radiografía, inmediatamente vio el significado potencial de los rayos X para el diagnóstico y pronóstico de las enfermedades que afectan al ser humano.

Los *pioneros de la radiología*, médicos, físicos y otras personas, se exponen a los rayos X sin ningún tipo de protección, sufren graves trastornos cutáneos y mutilaciones y, con frecuencia, mueren de leucemia o de otros tipos de cáncer. En las diferentes partes del mundo empezaron a observar que la exposición prolongada a los rayos X provocaba ciertas alteraciones sobre todo en la piel.

Ha transcurrido más de un siglo del descubrimiento de los rayos X y todavía no se ha logrado superar del todo las experiencias que sufrieron los pioneros de la radiología, esto quiere decir, que el personal médico y técnico que emplean los

rayos X en las diferentes especialidades médicas desconocen los efectos biológicos de los rayos X y es frecuente observar alteraciones en la piel de las manos de quienes practican fluoroscopia e intervencionismo, y quemaduras en sus pacientes sobre todo en procedimientos intervencionistas.

Los Rayos X

Los rayos X es radiación ionizante que se propaga en forma de ondas electromagnéticas. La *radiación* es el transporte de energía a través del espacio, por ondas electromagnéticas o partículas atómicas. La radiación está compuesta por radiación ionizante y no ionizante. La *radiación ionizante* tiene la suficiente energía para remover electrones de los átomos y romper enlaces químicos-moléculas, formando pares de iones en el material irradiado. La radiación con energía menor, que la requerida para remover electrones de los átomos, se llama *radiación no ionizante*, como la radiación ultravioleta (excepto radiación ultravioleta en el extremo superior de su espectro); luz visible, radiación infrarroja, microondas, ondas de radio y televisión, son todas ellas no ionizantes.

Ondas Electromagnéticas

Las *ondas electromagnéticas* son la propagación de la energía en forma de ondas a la velocidad de la luz (c) y tienen longitud de onda (λ), frecuencia (ν), amplitud (A) y periodo (t). Son ondas compuestas por un *campo eléctrico* y un *campo magnético* que oscilan perpendicularmente a la dirección del movimiento (figura 1).

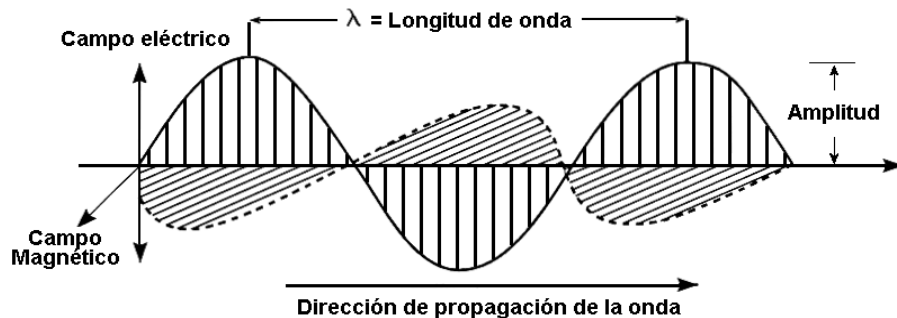


Figura 1. Ondas electromagnéticas.

Los *rayos X* son ondas electromagnéticas de alta energía producidas al interaccionar electrones de alta velocidad que provienen del cátodo con el blanco (ánodo). Los rayos X son radiaciones ionizantes capaces de remover electrones y romper enlaces bioquímicos.

Producción de Rayos X

Las *partículas cargadas* como los electrones pierden su energía cuando pasan a través de la materia por interacción con los electrones de los átomos o con el núcleo atómico.

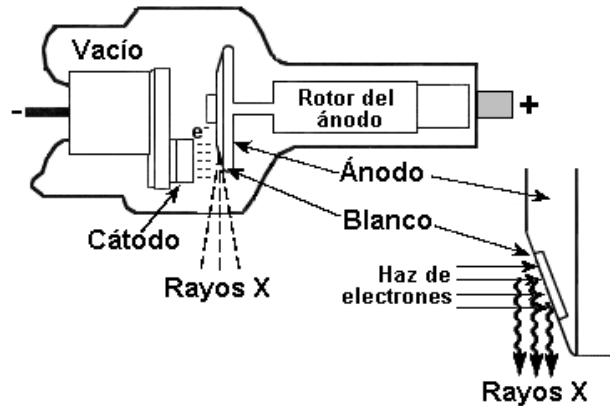


Figura 2. Producción de rayos X en un tubo de ánodo fijo.

Los electrones liberados en el *filamento* (cátodo) son acelerados por la diferencia de potencial eléctrica (tensión eléctrica) aplicada entre el ánodo y el cátodo para producir rayos X al interactuar con el blanco (figura 2)

Al interactuar el haz de electrones con el blanco, la energía cinética de los electrones se transforma en energía térmica (calor) y energía electromagnética (rayos X). El 99 % de la energía cinética de los electrones se transforma en calor y sólo el 1 % se convierte en rayos X. El equipo de rayos X es un dispositivo poco eficiente para producir rayos X.

Formación de la imagen radiográfica

El cuerpo humano está compuesto de tejidos y estructuras que tienen diferente número atómico (densidad) y el haz de rayos X al atravesar las estructuras que deseamos visualizar, sufrirá diferentes grados de atenuación (formación de la escala de grises-latitud- y el contraste en la imagen) (figura 3).

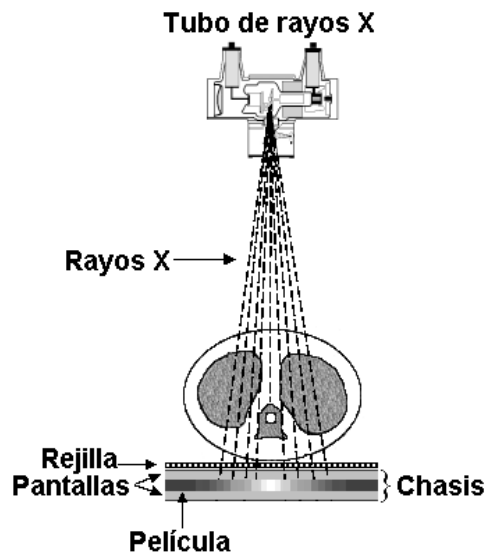


Figura 3. Formación de la imagen radiológica.

La Radiología Diagnóstica tiene como propósito el diagnóstico de las enfermedades con alta probabilidad de éxito basado en una imagen radiológica. Para lograr el fin último de la radiología, las imágenes generadas deben ser de alta calidad en términos de contraste, resolución espacial y ruido que son los elementos que componen la calidad de la imagen radiológica.

Detección y medición de los rayos x

El ser humano, a través de sus sentidos, no logra percibir y cuantificar directamente las radiaciones ionizantes, es decir, los rayos X no puede verse, oírse, sentirse, saborearse u olerse. Por ello es necesario emplear métodos especiales para detectar cada tipo de radiación. La detección de la radiación no se limita a indicar sólo su presencia, sino que obliga también a cuantificar la magnitud del campo de radiación (rayos X). La detección de la radiación se basa en el efecto que produce al interaccionar con la materia, esto es, la ionización. Los métodos de detección de la radiación empleados en radiología en este protocolo de investigación son: la placa fotográfica y los cristales *termoluminiscentes*.

Dosímetros de cristales termoluminiscentes (TLD)

Algunos materiales cristalinos tienen la propiedad del fenómeno de termoluminiscencia. Cuando el material es irradiado, algunos electrones de la banda de valencia reciben suficiente energía para pasar a la banda de conducción. Las vacantes creadas por los electrones en la banda de valencia se llaman agujeros. Los electrones y los agujeros se mueven independientemente en sus respectivas bandas hasta que se recombinan o los electrones caen en una trampa. Si hay emisión instantánea de luz en esas transiciones del material irradiado se conoce como el fenómeno de fluorescencia. Sin embargo, si un electrón cae en una trampa va a requerir de energía para salir de ella y regresar a la banda de valencia, la emisión de luz que emite en esta transición se debe al fenómeno de fosforescencia. Si la cantidad de emisión de luz es muy pequeña a temperatura ambiente, se puede aumentar la magnitud de emisión de luz por el proceso de calentamiento de las muestras del material irradiado, pero ahora da origen al fenómeno se llama termoluminiscencia (figura 4).

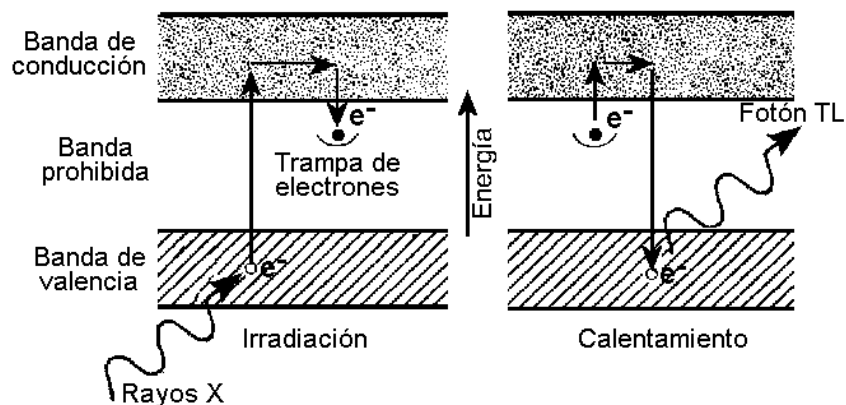


Figura 4. Fenómeno de la termoluminiscencia de algunos cristales.

En radiología diagnóstica se usan cristales de fluoruro de litio (LiF) conocidos como TLD-100. En la evaluación de la dosis recibida por un cristal termoluminiscente (cristal TL), este se coloca en un calentador o plancheta, en el cual se somete a un ciclo de calor y la luz emitida por el cristal es medida por el *tubo fotomultiplicador* (similar al usado por el detector de centelleo), que convierte la luz medida en una corriente eléctrica que es amplificada y cuantificada para finalmente mostrar una lectura en unidades de carga (coulomb), que después se convierte a dosis efectiva al relacionar la magnitud de la carga (nC) con la dosis a través de una curva de calibración. Así, la luz emitida por el cristal es proporcional a la dosis absorbida. Este método de *dosimetría termoluminiscente* actualmente es el más usado en *dosimetría personal* y en mediciones en vivo de la dosis recibida por los pacientes en radiología.

Los dosímetros termoluminiscentes en forma de cuadrado que serán usados en el estudio se ilustran en la (figura 5) donde podemos apreciar que su tamaño es tan pequeño que prácticamente no van a interferir ni alterar la imagen radiológica de los neonatos durante la medición de la dosis a piel, sin embargo los dosímetros serán colocados en la piel de los pacientes fuera de la región de interés radiológico asegurando la no interferencia con el diagnóstico del paciente.



Figura 5. Características físicas de los dosímetros termoluminiscentes que serán usados en el estudio.

Magnitudes y Unidades en la Medición de la Dosis

Una magnitud en el sentido general es una propiedad atribuida a los fenómenos, cuerpos, o sustancias para que puedan medirse, o asignarla a, un fenómeno en particular, cuerpo, o sustancia. Una unidad es una cantidad física particular, definida y adoptada por convención con la que se comparan otras cantidades particulares del mismo tipo para expresar su valor. Por ejemplo, el valor de la dosis D a piel en un estudio radiológico es $D = 2.5 \text{ mGy}$. Aquí D es la magnitud física, su valor se expresa en “miligray”, el símbolo de la unidad es mGy y su valor numérico cuando se expresa en miligray es 2.5.

En este estudio estaremos usando el concepto de dosis absorbida (D) cuya unidad de medida será el gray (Gy), de esta forma la Dosis Absorbida (D) se define como la energía depositada por los rayos X a la entrada del haz en la piel.

No todos los órganos y tejidos del cuerpo humano tienen la misma sensibilidad a la radiación ya que, con una misma dosis, el daño biológico es diferente dependiente del tipo de órgano y tejido. Otra unidad de medida que probablemente estaremos usando es el concepto de dosis efectiva que toma en

cuenta la radiosensibilidad de los tejidos en relación a los factores de riesgo de un efectos estocástico a través de los factores de ponderación de los tejidos expuestos a rayos X, de esta manera la dosis efectiva (H_E) cuya unidad de medida es sievert (Sv) y es la dosis absorbida medida en Gy multiplicada por los factores de ponderación de los tejidos de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1. Factores de Ponderación de los Tejidos para efectos Estocásticos, ICRP60	
Tejido u Órgano	Factor de ponderación
Gónadas	0.20
Medula Ósea roja, colon (intestino grueso inferior), pulmón y estomago	0.12
Vejiga, mama, esófago, hígado, tiroides	0.05
Piel y superficies Oseas	0.01
Órganos o tejidos restantes *	0.5

Glándulas Suprarrenales, cerebro, intestino grueso superior, intestino delgado, riñón músculo, páncreas, bazo, timo, útero. Si alguno de estos recibe una dosis mayor a la más alta, recibida por alguno de las tablas, a ese se aplicara un factor de 0.025 y un *factor igual de promedio de las dosis recibidas por los demás órganos considerados "restantes".

Efectos biológicos de la radiación

Los rayos X, por su naturaleza misma, es dañina para la vida humana y para los sistemas biológicos. En dosis pequeñas, puede dar inicio a una serie de acontecimientos que incrementen las *mutaciones* en las células somáticas y germinales. En dosis grandes, ocasiona *muerte celular*. Una persona expuesta a una dosis de radiación en la práctica de la radiología no está destinada a padecer cáncer ni alteraciones genéticas.

La exposición del ser humano a la radiación da origen a una serie de procesos en el tiempo como resultado de la respuesta biológica a la radiación, donde existe un periodo de latencia entre la exposición y los efectos biológicos (figura 6)

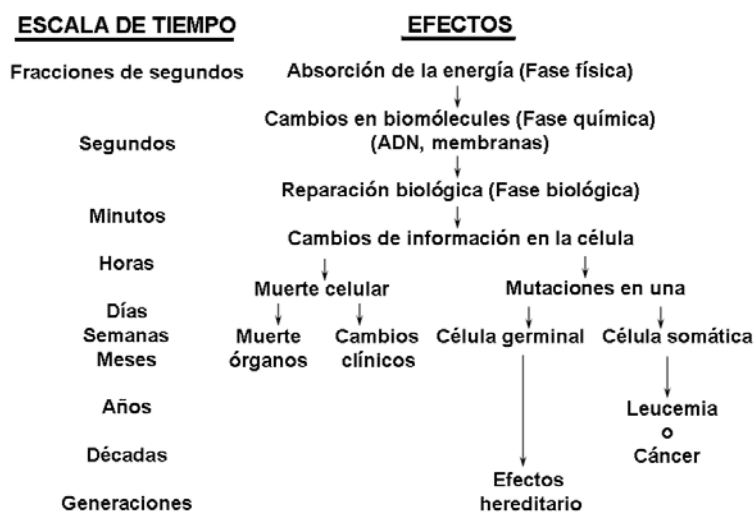


Figura 6. Escala de tiempo de la respuesta biológica a la radiación.

Los rayos X al interactuar con las células, les transfieren energía de modo aleatorio e instantáneamente por ionización y/o excitación a los átomos y moléculas, induciendo *cambios bioquímicos* en las células provocados por los rompimientos de enlaces moleculares. La radiación interactúan con las partes que componen la célula como la membrana celular, citoplasma y los organelos, quedando incluido el núcleo (ADN).

Cualquier alteración por rayos X al material genético (cromosomas, genes, ADN) que no es reparado en su totalidad dará como resultado algún tipo de mutación que eventualmente ocasionarán errores en la transmisión de la información genética a las células hijas.

Las mutaciones en las células somáticas tienen consecuencias para el mismo individuo que se expone a los rayos X y no tiene efecto sobre sus descendientes. Sin embargo, si las mutaciones son en las células germinales, existe la probabilidad que esas alteraciones lleguen a las generaciones futuras del individuo expuesto a la radiación.

Es difícil predecir las consecuencias en los individuos de las mutaciones en las células, pero estas alteraciones van a estar asociados con los efectos estocásticos de la radiación, esto es, cáncer y alteraciones hereditarias, sin embargo, la mayoría de las mutaciones no son detectables. Pero el *cáncer* puede resultar de una *mutación somática* en la cual ciertas células pierden la capacidad para regular su crecimiento. Las mutaciones son un cambio permanente en el material genético de una célula, que da como resultado un cambio de la información transmitida a las células hija y a las subsiguientes generaciones de células.

Los rayos X son capaces de promover daños en la célula, ya sea por impacto directo o indirecto, si las lesiones celulares no son reparadas en su totalidad dará lugar a los efectos biológicos combinados, esto es, los efectos estocásticos y efectos deterministas (figura 7).

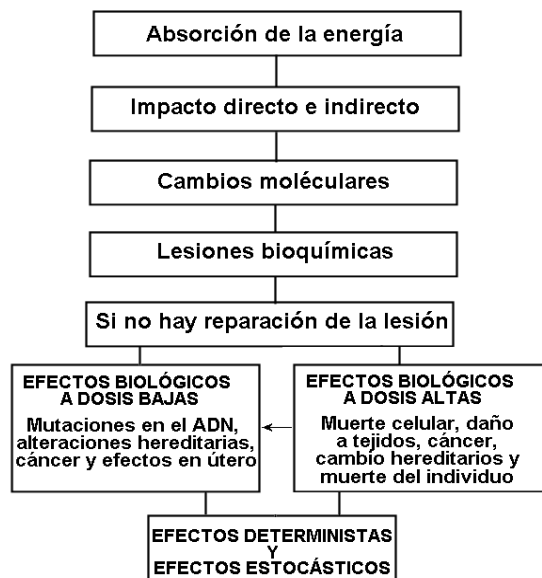


Figura 7. Efectos biológicos de la radiación.

Efectos Estocásticos

Cualquier lesión al material genético como cromosomas, genes y ADN no restaurado totalmente o una reparación defectuosa aumentará la probabilidad de padecer cáncer o alteraciones hereditarias, que son efectos estocásticos producidos por la radiación al interactuar con la célula. Si la célula modificada es una célula somática, significa que existe la probabilidad de que el individuo expuesto a los rayos X desarrolle cáncer; sin embargo, si la célula alterada es una célula germinal existe la posibilidad de producir alteraciones hereditarias en los descendientes del individuo expuesto.

No existe una dosis umbral para la aparición de los efectos estocásticos, sino que la probabilidad de aparición es función de la dosis y la severidad del daño es independiente de la dosis, esto es, si aparece un cáncer, la gravedad de la neoplasia va a depender del tipo de cáncer y del lugar donde aparece. La no existencia de un umbral teóricamente quiere decir, que basta que un solo fotón interactúe con el ADN para provocar una alteración genética y dar origen a una neoplasia, este fotón puede ser de la radiación de fondo natural.

Los *efectos estocásticos* son eventos que ocurren al azar, de acuerdo con las leyes de la probabilidad; por ejemplo, la incidencia de cáncer pulmonar por fumar es un efecto estocástico, muchas personas tienen el hábito de fumar, pero solo algunas de ellas desarrollan cáncer. Más aún, personas que nunca fumaron desarrollan cáncer de pulmón, mientras que otras que son fumadoras crónicas intensas nunca tuvieron cáncer. Los efectos estocásticos más importantes en el ser humano son el cáncer en los individuos expuestos a las radiaciones ionizantes. Las alteraciones hereditarias en los hijos de los padres expuestos a las radiaciones son mucho menos importantes, a la fecha no hay evidencias muy claras de su ocurrencia. Las alteraciones hereditarias son capaces de producir cambios moleculares, morfológicos y funcionales en los descendientes. En el ambiente existen muchos otros agentes mutagénicos a los cuales está expuesto el ser humano; algunos agentes de ellos en presencia de otros pueden tener efectos sinérgicos (fumar y radiación).

Si la radiación es el efecto causal de un cáncer en un individuo expuesto a los rayos X no se podrá distinguir de un cáncer producido por otros agentes como químicos o biológicos.

Efectos Deterministas

Son efectos biológicos causados por muerte celular masiva que sufre el individuo expuesto a dosis altas de radiación ionizante y solo se presentan al rebasar la dosis umbral específica para el tejido u órgano irradiado, y la severidad del daño es función de la dosis absorbida a partir del umbral.

Si la dosis de radiación recibida excede los límites de dosis para los órganos y tejidos expuestos, los efectos pueden ser permanentes y el resultado será una patología clínicamente observable; tal como necrosis o la pérdida de la función de un órgano o un tejido. El umbral para la aparición de efectos deterministas clínicamente detectables es de 0.5 Gy considerando una exposición a cuerpo entero (tabla 2).

Tabla 2. Umbral en los efectos deterministas en irradiación a cuerpo entero de un adulto	
Dosis (Gy)	Manifestaciones
< 0.1	Diferencias clínicas no detectables entre individuos expuestos y no expuestos.
0.1 a 0.2	Incremento de aberraciones cromosómicas detectables. No hay síntomas ni signos clínicos.
> 0.12	El conteo espermático desciende a un mínimo en el día 45 después de la exposición.
0.5	Depresión de médula ósea con leucopenia.

Los hallazgos clínicos después de una exposición a los rayos X dependen del órgano o tejido específico. Por ejemplo, la opacidad de los lentes de los ojos puede originar una deficiencia visual (cataratas), y si las gónadas son irradiadas puede tenerse una esterilidad temporal o permanente.

El umbral para la *esterilidad temporal* en el hombre para una exposición aguda en los testículos es alrededor de 0.15 Sv y para una exposición crónica el umbral es aproximadamente de 0.4 Sv/año. La dosis para una *esterilidad permanente* en el hombre es de 3.5 Sv a 6 Sv para exposición aguda y de 2 Sv/año para exposición crónica.

El umbral para esterilidad permanente en la mujer en una exposición aguda está en el rango de 2.5 Sv a 6.0 Sv. El umbral para que la *opacidad del cristalino* cause una deficiencia visual, después de algún tiempo de latencia, está en el intervalo de 0.5 Sv a 2.0 Sv, en exposición única. Las *cataratas* aparecen en exposición única de 5.0 Sv. El umbral para las cataratas para una exposición crónica es de alrededor de 0.15 Sv/año y para la depresión de la médula ósea es aproximadamente 0.5 Sv

La justificación clínica de los estudios radiológicos es un principio muy importante de protección radiológica y calidad de atención al paciente ya que sin la justificación lleva consigo dosis no justificadas al paciente. La posición del médico tratante o el que refiere al paciente a Servicio Radiología sin justificación es: a) solicitar estudios que ya han sido realizados, b) pedir estudios que no alteran la valoración del paciente, c) pedir estudios con demasiada frecuencia que no aportan información valiosa para el diagnóstico o tratamiento del paciente, d) solicitar estudios inadecuados y/o obsoletos, e) no proporcionar información clínica necesaria al radiólogo y f) pedir un estudio complementario más sin que aporte información clínica valiosa.

3. JUSTIFICACIÓN.

No debe adoptarse ninguna práctica que signifique exposición a la radiación si su introducción no produce un beneficio neto positivo.

Es importante la realización de este estudio para demostrar si estamos trabajando bajo las normas internacionales y los principios establecidos en la

Tabla 2. Umbral en los efectos deterministas en irradiación a cuerpo entero de un adulto	
Dosis (Gy)	Manifestaciones
< 0.1	Diferencias clínicas no detectables entre individuos expuestos y no expuestos.
0.1 a 0.2	Incremento de aberraciones cromosómicas detectables. No hay síntomas ni signos clínicos.
> 0.12	El conteo espermático desciende a un mínimo en el día 45 después de la exposición.
0.5	Depresión de médula ósea con leucopenia.

Los hallazgos clínicos después de una exposición a los rayos X dependen del órgano o tejido específico. Por ejemplo, la opacidad de los lentes de los ojos puede originar una deficiencia visual (cataratas), y si las gónadas son irradiadas puede tenerse una esterilidad temporal o permanente.

El umbral para la *esterilidad temporal* en el hombre para una exposición aguda en los testículos es alrededor de 0.15 Sv y para una exposición crónica el umbral es aproximadamente de 0.4 Sv/año. La dosis para una *esterilidad permanente* en el hombre es de 3.5 Sv a 6 Sv para exposición aguda y de 2 Sv/año para exposición crónica.

El umbral para esterilidad permanente en la mujer en una exposición aguda está en el rango de 2.5 Sv a 6.0 Sv. El umbral para que la *opacidad del cristalino* cause una deficiencia visual, después de algún tiempo de latencia, está en el intervalo de 0.5 Sv a 2.0 Sv, en exposición única. Las *cataratas* aparecen en exposición única de 5.0 Sv. El umbral para las cataratas para una exposición crónica es de alrededor de 0.15 Sv/año y para la depresión de la médula ósea es aproximadamente 0.5 Sv

La justificación clínica de los estudios radiológicos es un principio muy importante de protección radiológica y calidad de atención al paciente ya que sin la justificación lleva consigo dosis no justificadas al paciente. La posición del médico tratante o el que refiere al paciente a Servicio Radiología sin justificación es: a) solicitar estudios que ya han sido realizados, b) pedir estudios que no alteran la valoración del paciente, c) pedir estudios con demasiada frecuencia que no aportan información valiosa para el diagnóstico o tratamiento del paciente, d) solicitar estudios inadecuados y/o obsoletos, e) no proporcionar información clínica necesaria al radiólogo y f) pedir un estudio complementario más sin que aporte información clínica valiosa.

3. JUSTIFICACIÓN.

No debe adoptarse ninguna práctica que signifique exposición a la radiación si su introducción no produce un beneficio neto positivo.

Es importante la realización de este estudio para demostrar si estamos trabajando bajo las normas internacionales y los principios establecidos en la

radiología como es: ALARA: «as low as reasonably achievable» Siglas inglesas de la expresión «utilizar una dosis tan baja como, razonablemente, posible» Todas las exposiciones a la radiación deben ser mantenidas a niveles tan bajos como sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores sociales y económicos.

Toda dosis de radiación implica algún tipo de riesgo; por ello no es suficiente cumplir con los límites de dosis que están fijados. Las dosis deben reducirse aún más. No obstante, la reducción de dosis no puede llevarse a cabo indefinidamente, sino que se deben considerar los costes asociados.

En México, no tenemos reportes de las dosis recibidas por neonatos por estudios radiológicos, que incluya la dosis por el haz directo y por radiación dispersa en la UCIN o pacientes Pediátricos.

Las dosis recibidas por los neonatos pueden contribuir a un detrimento genético y existe la posibilidad de un incremento de los factores de riesgo de padecer efectos estocásticos como el cáncer en alguna etapa de su vida, así como otras enfermedades como consecuencias de las alteraciones genéticas.

Sin olvidar que durante la etapa fetal, el desarrollo y la primera infancia, la proliferación y la diferenciación de tejidos toman lugar de forma intensa, y se sabe que las células proliferantes son más susceptibles al daño por radiación y a la presencia de neoplasias.

La realización de estudios epidemiológicos de las dosis recibidas por neonatos es importante para establecer protocolos de manejo de los pacientes con dosis justificadas y tomando las medidas de protección radiológica para que solo reciban las dosis necesarias de acuerdo a su evolución clínica, ya que en nuestro hospital no contamos con normas de técnicas de estudios radiológicos en pacientes pediátricos.

Nuestro hospital puede contribuir a determinar esas dosis reales que reciben los neonatos que ingresen a la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales, siendo uno de los primeros estudios realizados en hospitales de este nivel.

4. HIPÓTESIS.

La dosis recibida a piel en pacientes pretermino durante su estancia en la terapia intensiva neonatal esta relacionada con el tipo de padecimiento, características físicas y parámetros de exposición.

La dosis recibida a piel en pacientes pretermino esta relacionada con las dosis de los niveles orientativos en radiología y límites de exposición del público.

5. OBJETIVOS

Objetivo General:

Determinar las dosis de radiación directa y dispersa por dosimetría termoluminiscente que reciben neonatos pretermino de 28 a 34 semanas, durante su estancia en la Unidad de cuidados intensivos y cuántos de estos estudios fueron justificados en relación al tipo de padecimiento

Objetivos Específicos:

1. Registrar los parámetros de exposición de la técnica radiológica usada en los estudios radiológicos.

2. Registrar el tipo de padecimientos, edad, espesor AP, área del haz de rayos X en los niños.
3. Registrar la técnica estándar utilizada para los estudios radiológicos realizados en los neonatos pretermino de 28 a 34 semanas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS.

Se llevo a cabo un muestreo de las dosis recibidas por estudios radiográficos en niños durante su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) del Hospital General “Dr. Manuel Gea González”.

Las dosis fueron medidas usando 416 dosímetros termoluminiscente (TLD-100) y leídos por el sistema TLD Harshaw 2000 para determinar la curva de calibración de los cristales TLD-100. La curva de calibración fue obtenida con el mismo equipos de rayos X usado para los estudios radiológicos de los niños, esto es, un equipo móvil de Rayos X marca Siemens, modelo Mobilett XP Hybrid, que tiene las siguientes características, Capa Hemirreductora 3.2 mm Al, una tasa de dosis de 11.0 mR/mAs, con la calibración de los kVp, tiempo y mAs dentro del \pm 5%.

Pacien- te	Edad (SDG) *	Sexo	Peso (g)	Diá- metro (cm)	Talla (cm)	Diagnóstico de ingreso (SDR)**	Estancia hospital (días)	Estado final del paciente	Días en UCIN
1	31.0	Masc	1045	AP (cm)	33	SDR, asfixia, lesiones asociadas vias parto	25	Defunción	25
2	26.0	Masc	735	3	32	SDR, potencialmente infectado	13	Defunción	13
3	32.5	Masc	1060	5	36	SDR, asfixia, potencialmente infectado	50	CyD	5
4	28.0	Fem	1231	5	34	SDR, asfixia, potencialmente infectado	30	Defunción	30
5	31.5	Masc	1247	6	35	SDR, asfixia	59	Alta	15
6	32.5	Fem	1573	5	41	SDR, potencialmente infectado, hiprtplasia suprarrenal	65	Alta	17
7	33.4	Fem	1718	4	42	SDR	53	Alta	13
8	31.2	Fem	1063	5	35	SDR, asfixia, potencialmente infectado	77	Alta	7
9	32.6	Fem	1000	4	38	SDR, potencialmente infectado	64	Alta	35
10	30.0	Fem	1010	4	39	SDR	3	Defunción	3
11	32.6	Fem	1525	5	40	SDR	56	Alta	5
12	28.0	Masc	700	5	34	SDR, asfixia, potencialmente infectado	9	Defunción	9

*Semanas de gestación, **Síndrome de dificultad respiratoria.

2. Registrar el tipo de padecimientos, edad, espesor AP, área del haz de rayos X en los niños.
3. Registrar la técnica estándar utilizada para los estudios radiológicos realizados en los neonatos pretermino de 28 a 34 semanas.

6. MATERIALES Y MÉTODOS.

Se llevo a cabo un muestreo de las dosis recibidas por estudios radiográficos en niños durante su estancia en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN) del Hospital General “Dr. Manuel Gea González”.

Las dosis fueron medidas usando 416 dosímetros termoluminiscente (TLD-100) y leídos por el sistema TLD Harshaw 2000 para determinar la curva de calibración de los cristales TLD-100. La curva de calibración fue obtenida con el mismo equipos de rayos X usado para los estudios radiológicos de los niños, esto es, un equipo móvil de Rayos X marca Siemens, modelo Mobilett XP Hybrid, que tiene las siguientes características, Capa Hemirreductora 3.2 mm Al, una tasa de dosis de 11.0 mR/mAs, con la calibración de los kVp, tiempo y mAs dentro del \pm 5%.

Pacien- te	Edad (SDG) *	Sexo	Peso (g)	Diá- metro (cm)	Talla (cm)	Diagnóstico de ingreso (SDR)**	Estancia hospital (días)	Estado final del paciente	Días en UCIN
1	31.0	Masc	1045	AP (cm)	33	SDR, asfixia, lesiones asociadas vias parto	25	Defunción	25
2	26.0	Masc	735	3	32	SDR, potencialmente infectado	13	Defunción	13
3	32.5	Masc	1060	5	36	SDR, asfixia, potencialmente infectado	50	CyD	5
4	28.0	Fem	1231	5	34	SDR, asfixia, potencialmente infectado	30	Defunción	30
5	31.5	Masc	1247	6	35	SDR, asfixia	59	Alta	15
6	32.5	Fem	1573	5	41	SDR, potencialmente infectado, hiprtplasia suprarrenal	65	Alta	17
7	33.4	Fem	1718	4	42	SDR	53	Alta	13
8	31.2	Fem	1063	5	35	SDR, asfixia, potencialmente infectado	77	Alta	7
9	32.6	Fem	1000	4	38	SDR, potencialmente infectado	64	Alta	35
10	30.0	Fem	1010	4	39	SDR	3	Defunción	3
11	32.6	Fem	1525	5	40	SDR	56	Alta	5
12	28.0	Masc	700	5	34	SDR, asfixia, potencialmente infectado	9	Defunción	9

*Semanas de gestación, **Síndrome de dificultad respiratoria.

El dosímetro usado para la calibración de los cristales TLD-100 fue un PTW Diavolt universal. Fueron seleccionados 20 niños pero solamente a 12 de ellos les fue monitoreada la dosis recibida durante su estancia en la UCIN.

Las características de los niños participantes se muestran en la tabla 3. El sistema de radiografía usado para procesar las imágenes fue un sistema de radiografía digital computada (CR) usando como receptor de imagen un chasis con una placa de fósforo fotestimulable.

Para medir las dosis en la piel dos cristales TLD fueron colocados en la piel del paciente a la entrada del haz útil de rayos X, así mismo le fueron colocados dos cristales al niño adyacente para medir la dosis que recibe por estar cerca del niño al que se toma una radiografía.

Las técnicas radiológicas usadas en la obtención de las radiografías se ilustran en la tabla 4. Las radiografías de tórax son las proyecciones prescritas por los médicos en la valoración de los niños participantes en este estudio.

Tabla 4. Técnicas radiológicas usadas en la toma de radiografías a los niños.				
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error típico de la media
kV (kilo Volt)	43	61	48.89	0.24
mAs (mili ampere segundo)	0.90	2.00	1.51	0.02
Distancia Foco-Película, DFP, (cm)	70	104	89.73	0.59
Tamaño de campo (L), (cm)	13	30	17.84	0.59
Tamaño de campo (A) (cm)	9	24	13.03	0.46

Las imágenes radiológicas fueron tomadas con el mismo equipo de rayos X y en la toma de las radiografías participaron varios técnicos radiólogos quienes pudieron seleccionar diferentes parámetros técnicos (kV, mAs) de acuerdo a su experiencia y circunstancias en el momento de la radiografía, lo que ocasionó que un mismo niño recibiera dosis diferentes en cada una de las radiografía que le tomaron. Las radiografías fueron tomadas a los niños de acuerdo al protocolo usado en la UCIN para estos pacientes.

Universo de estudio.

Todos los recién nacido pretermino que ingresen a la Unidad de Cuidados Intensivos neonatales del Hospital General Manuel Gea González.

Tamaño de la muestra.

Neonatos pretermino de 28 a 34 semanas ingresen a la Unidad de Cuidados Intensivos neonatales del Hospital General Manuel Gea González.

Criterios de selección:

Criterios de Inclusión:

- Todos los recién nacidos pretermino de 28 a 34 semanas de gestación que ingresan a la unidad de cuidados intensivos neonatales que se les realicen estudios de imagen.

Criterios de exclusión

- Recién nacidos que por sus condiciones no sea adecuado, conveniente o posible colocar el dosímetro en el sitio adecuado

Criterios de eliminación:

- Los casos que por descuido, alguno de los dosímetros no haya sido colocado adecuadamente al momento de los estudios o no se encuentre en el lugar adecuado
- Falla en alguno de los dosímetros

Definición de variables

Variables Independientes		Variables dependientes	
Variable	Escala	Variable	Escala
Edad (semanas).	Intervalo	Dosis (mSv)	Intervalo
Peso (kg).	Intervalo		
Sexo.	Nominal		
Tensión (kV).	Intervalo		
Corriente tiempo (mAs).	Intervalo		
Tipo de padecimiento.	Nominal		
Tipo de estudio radiológico.	Nominal		
Numero de estudios radiológicos	Intervalo		
Diámetro AP del paciente (cm).	Intervalo		
Distancia foco-piel (cm).	Intervalo		
Área de campo de luz en el paciente (cm)	Intervalo		
Distancia al paciente adjunto (cm)	Intervalo		

Descripción de las variables

EDAD: Será evaluado en base a la valoración por escala de CAPURRO para las semanas de gestación.

SEXO: Sera definido en base a la presencia de órganos genitales externos.

PESO: (kg) se evacuara en las basculas del servicio de toco cirugía a la exploración del nacimiento y la medida se dará en kilogramos.

TENSIÓN (kV): Se toma directamente la medición del aparato de Rayos X móvil previo a la toma del estudio.

CORRIENTE TIEMPO (mAs). Se toma directamente la medición del aparato de Rayos X portátil previo a la toma del estudio.

TIPO DE PADECIMIENTO: Se evalúa de acuerdo a la indicación médica por lo que se solicita el estudio.

5. Medición de la dosis en el paciente que está en la cuna adyacente. Durante el estudio radiológico al paciente de interés, se coloca también un dosímetro sobre la piel de los pacientes que están adyacentes al que se hace el estudio radiológico.
6. Los dosímetros solo serán usados una sola vez en cada paciente.
7. El dosímetro serán recolectados cada lunes para su evaluación de la dosis recibida.
8. Al terminar el estudio se realizara análisis estadístico de los resultados obtenidos en la hoja de recolección de datos y las lecturas de los dosímetros de cada paciente.
9. Se realizan conclusiones del estudio realizado.

7. RESULTADOS

La permanencia de los niños en la UCIN fue de varios días, desde 3 días hasta 35 días durante ese tiempo a los niños les fueron tomadas varias radiografías (figura 8).

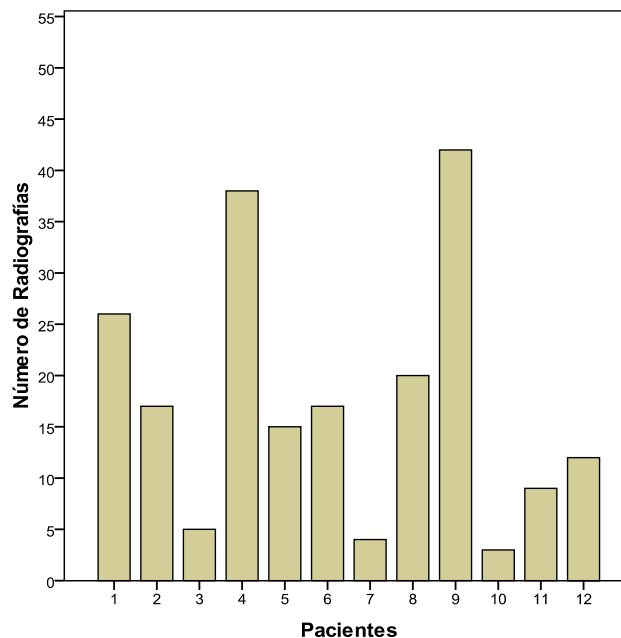


Figura 8. Distribución del número de radiografía a cada paciente durante su permanencia en la UCIN.

Considerando la estatura de los niños y los tamaños de campo de rayos X usados en las radiografías (tabla 1 y 2) podemos considerar que la exposición fue a cuerpo entero y las dosis en cada niño están evaluadas en mSv. Para cada niño se determinó la dosis total durante su estancia en la UCIN, dosis por radiografía, número de radiografías, dosis máxima y mínima recibida (tabla 5).

Paciente	Dosis total (mSv)	Dosis/radiografía (dosis media)	No. de radiografías	Dosis Máxima (mSv)	Dosis mínima (mSv)	Error típico de la dosis media
1	2.43	0.09	26	0.22	0.03	0.01
2	0.79	0.05	17	0.09	0.02	0.00
3	0.23	0.05	5	0.07	0.03	0.01
4	1.87	0.05	38	0.08	0.02	0.00
5	1.08	0.07	15	0.27	0.01	0.02
6	1.57	0.09	17	0.19	0.03	0.01
7	1.11	0.28	4	0.41	0.19	0.05
8	2.19	0.11	20	0.24	0.02	0.01
9	4.79	0.11	42	0.43	0.02	0.02
10	0.60	0.20	3	0.32	0.08	0.07
11	0.73	0.08	9	0.20	0.02	0.02
12	1.12	0.09	12	0.18	0.03	0.01

Con el propósito de comparar la dosis media por radiografía de cada uno de los niños participantes en el estudio se ilustran en la figura 9 la dosis media con el intervalo de confianza al 95%.

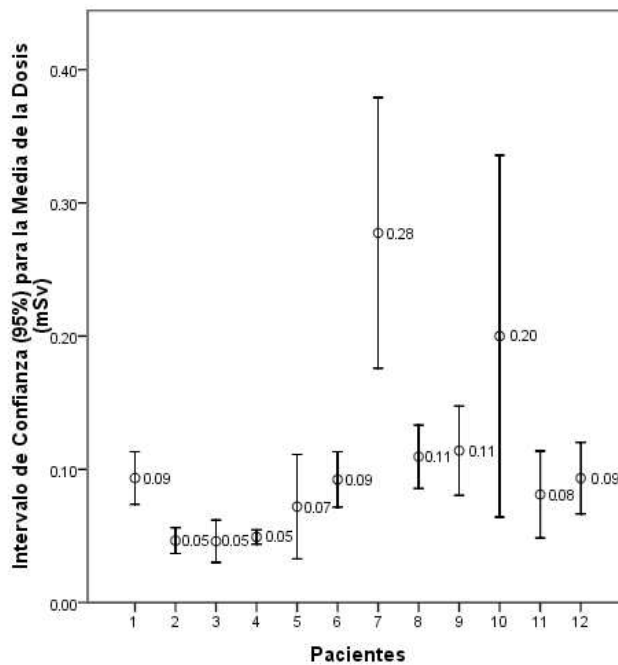


Figura 9. Distribución de la dosis media por radiografía que recibe el paciente y se ilustra el intervalo de confianza al 95% para la dosis media.

Uno de los propósitos del estudio fue determinar la dosis recibida por los niños adyacentes que reciben por estar cerca del niño al que se le toma una radiografía. Las dosis que reciben los niños por radiografía están en el intervalo de

0.01 mSv a 0.18 mSv (tabla 6), En los diferentes hospitales las UCIN tiene varios pacientes en la misma sala uno al lado del otro y no se pueden trasladar los niños a una sala de rayos X fija.

Tabla 6. Distancias y dosis medida que recibe el paciente que se encuentra a lado del paciente que se le toma una radiografía.				
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor medio	Error típico de la media
Distancia al paciente adyacente	89 cm	150 cm	112.32 cm	0.91
Dosis al paciente Adyacente	0.01 mSv	0.18 mSv	0.04 mSv	0.003

8. DISCUSIÓN

Las dosis media por radiografía para los niños 1, 5, 6, 8, 9, 11 y 12 es la misma en promedio y considerando el intervalo de confianza la diferencia entre las dosis media no es significativa para una $p > 0.05$ como lo podemos apreciar en la figura 2 y lo mismo sucede para los pacientes 2, 3 y 5, sin embargo los pacientes que reciben una dosis mayor por radiografía son 7 y 10.

De acuerdo con las recomendaciones del ICRP 60 (1991) y ICRP 103 (2008) (Comisión Internacional de Protección Radiológica) la dosis máxima permisible para el público es de 1 mSv/año, considerando que los niños participantes en el estudio son miembros del público, de la tabla 3 vemos que 8 de los 12 niños reciben una dosis total mayor a 1 mSv durante su estancia en la UCIN. Sin embargo, en los niños en calidad de pacientes no existe un límite de dosis sino que son dosis necesarias siempre y cuando estén optimizadas y justificadas por el tipo de padecimiento que requiere de radiografías para evaluar la evolución de cada paciente.

Por otra parte, una dosis de radiación en niños de esa edad puede guiar a un aumento en la probabilidad de un efecto estocástico como padecer cáncer en alguna etapa de sus vidas. Sin embargo, no debemos olvidar que estos niños pueden seguir siendo sometidos a estudios radiológicos en los años posteriores por el padecimiento actual o por otras enfermedades incrementando los factores de riesgo de padecer cáncer por las dosis recibidas. Aunque los efectos a bajas dosis (<100 mSv) son cambios en la células no letales que pueden producir alteraciones en el ADN.

La tabla 2 ilustra que las técnicas radiológicas (kV, mAs, DFP, tamaño de campo) son muy variadas y depende de la experiencia del técnico radiólogo y del manejo de los niños lo que guía a dosis diferentes para un mismo niño en sus diferentes radiografías. De la misma tabla 2 el intervalo de los kV estuvo entre 43 y 61 kV, los mAs en el intervalo de 0.90 a 2.0, la distancia foco-piel en el intervalo de 70 cm a 104 cm y los tamaños de campo en el intervalo de 13 cm x 9 cm y 30 cm x 24 cm.

Para reducir las dosis recibidas por los niños se debe acudir al concepto de optimización de la dosis que consiste en reducir dosis por técnica radiológica y por la justificación clínica de la prescripción de la radiografía, es decir que la radiografía aporta información para la valoración y evolución del niño. En general

la optimización (reducción) de la dosis por la técnica radiológica usada se logra aumentando los kV, reduciendo los mAs, aumentando la distancia foco-película, con una capa hemirreductora del tubo de rayos X > 3.0 mm de Al, no usar rejilla antidifusora y una colimación con una tolerancia de 1 cm.

En nuestro caso la optimización de la dosis se logra empleando técnicas radiológicas de 50 kV a 55 kV y con un 1.0 mAs \pm 1 mAs, con una distancia foco-película de 100 cm, una colimación con una tolerancia de 1 cm y uso de dispositivos de protección radiológica a órganos muy radiosensibles, de tal manera que la optimización es también compatible con la calidad de imagen requerida en este tipo de estudios radiológicos, con las técnicas radiológicas optimizadas las dosis se reducen del 20% al 50%.

La tabla 6 describe las dosis recibidas por los niños adyacentes que están al lado del niño al que se le toma una radiografía. Las dosis recibidas no son cero y estos niños no deberían recibir ninguna dosis. Se debe diseñar mamparas o cortinas emplomadas para la protección radiológica de los niños adyacentes.

La mejor manera de proteger a los niños de no recibir una dosis de radiación es no prescribir estudios radiológicos no necesarios y debidamente justificados clínicamente, el riesgo que representa una dosis se compensa por el beneficio que recibe el paciente en el diagnóstico de su enfermedad, pero los estudios no justificados el paciente recibe una dosis sin beneficio. El médico pediatra necesita educación en comprender lo que significa recibir una dosis por un niño de semanas de nacido lo que representa un reto mayor. La falta de una cultura de la protección radiológica del médico pediatra es un problema generalizado tanto en instituciones médicas públicas y privadas.

Se deben dedicar mayores esfuerzos y recursos a las campañas de educación médica, ya que el mayor potencial para la optimización de dosis son las exploraciones radiológicas no justificadas clínicamente o por rutina.

¿Cuál es el riesgo? La exposición a los rayos X en los primeros diez años de vida se estima, que para ciertos efectos, puede tener un riesgo de tres a cuatro veces mayor que en exposiciones entre los 30 años y 40 años, y cinco veces mayor que para exposiciones después de los 50 años. La dosis de radiación en radiodiagnóstico pediátrico es un indicador de buena práctica clínica, y junto con la evaluación de la calidad de imagen garantiza la calidad de los procedimientos radiodiagnóstico pediátrico.

Varias de los pacientes son niñas y algunas de ellas pueden recibir más de 20 exploraciones con dosis mayores en gónadas femeninas, tiroides, mamas, pulmones y esófago, incrementando el riesgo de cáncer.

9. CONCLUSIONES

Se logro tener información de las dosis recibidas por los niños como un estudio exploratorio ya que no tenemos datos de estudios previos en México.

Las dosis no optimizadas recibidas por los niños pueden tener valores muy extremos en un mismo niño.

Se logro determinar las técnicas radiológicas que nos guía a la optimización de la dosis, aunque falta la educación de los médicos pediatras para lograr la justificación clínica correcta de los estudios radiológicos prescritos.

la optimización (reducción) de la dosis por la técnica radiológica usada se logra aumentando los kV, reduciendo los mAs, aumentando la distancia foco-película, con una capa hemirreductora del tubo de rayos X > 3.0 mm de Al, no usar rejilla antidifusora y una colimación con una tolerancia de 1 cm.

En nuestro caso la optimización de la dosis se logra empleando técnicas radiológicas de 50 kV a 55 kV y con un 1.0 mAs \pm 1 mAs, con una distancia foco-película de 100 cm, una colimación con una tolerancia de 1 cm y uso de dispositivos de protección radiológica a órganos muy radiosensibles, de tal manera que la optimización es también compatible con la calidad de imagen requerida en este tipo de estudios radiológicos, con las técnicas radiológicas optimizadas las dosis se reducen del 20% al 50%.

La tabla 6 describe las dosis recibidas por los niños adyacentes que están al lado del niño al que se le toma una radiografía. Las dosis recibidas no son cero y estos niños no deberían recibir ninguna dosis. Se debe diseñar mamparas o cortinas emplomadas para la protección radiológica de los niños adyacentes.

La mejor manera de proteger a los niños de no recibir una dosis de radiación es no prescribir estudios radiológicos no necesarios y debidamente justificados clínicamente, el riesgo que representa una dosis se compensa por el beneficio que recibe el paciente en el diagnóstico de su enfermedad, pero los estudios no justificados el paciente recibe una dosis sin beneficio. El médico pediatra necesita educación en comprender lo que significa recibir una dosis por un niño de semanas de nacido lo que representa un reto mayor. La falta de una cultura de la protección radiológica del médico pediatra es un problema generalizado tanto en instituciones médicas públicas y privadas.

Se deben dedicar mayores esfuerzos y recursos a las campañas de educación médica, ya que el mayor potencial para la optimización de dosis son las exploraciones radiológicas no justificadas clínicamente o por rutina.

¿Cuál es el riesgo? La exposición a los rayos X en los primeros diez años de vida se estima, que para ciertos efectos, puede tener un riesgo de tres a cuatro veces mayor que en exposiciones entre los 30 años y 40 años, y cinco veces mayor que para exposiciones después de los 50 años. La dosis de radiación en radiodiagnóstico pediátrico es un indicador de buena práctica clínica, y junto con la evaluación de la calidad de imagen garantiza la calidad de los procedimientos radiodiagnóstico pediátrico.

Varias de los pacientes son niñas y algunas de ellas pueden recibir más de 20 exploraciones con dosis mayores en gónadas femeninas, tiroides, mamas, pulmones y esófago, incrementando el riesgo de cáncer.

9. CONCLUSIONES

Se logro tener información de las dosis recibidas por los niños como un estudio exploratorio ya que no tenemos datos de estudios previos en México.

Las dosis no optimizadas recibidas por los niños pueden tener valores muy extremos en un mismo niño.

Se logro determinar las técnicas radiológicas que nos guía a la optimización de la dosis, aunque falta la educación de los médicos pediatras para lograr la justificación clínica correcta de los estudios radiológicos prescritos.

La optimización de la dosis debe ser una práctica diaria en los estudios radiológicos de neonatos por los factores de riesgo de padecer cáncer en la vida futura de los niños debido a las dosis recibidas.

La falta de una cultura de de la protección radiológica del médico pediatra es un problema generalizado tanto en instituciones médicas públicas como privadas.

10. PERSPECTIVAS

Un estudio que debe llevarse a cabo son las dosis recibidas debido a tomografía computarizada que representa una alarma mundial por las dosis muy altas (~50 a 75 mSv), así como también un estudio de las dosis recibidas por estudios de fluoroscopia.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. A. Brindhaban, C.U. Eze; Estimation of radiation dose during diagnostic X-ray examinations of newborn babies and 1-year-old infants; *Med Princ Pract* 2006; 15: 260- 265.
2. D. Bader, H. Datz, G. Bartal; Unintentional exposure of neonates to conventional radiography in the neonatal intensive care units; *Journal of Perinatology* (2007) 27, 579-585.
3. Thomas T. Lai, MD, Cynthia F. Bearer, MD, PhD; Iatrogenic Environmental Hazards in the Neonatal Intensive Care Unit; *Clinics in Perinatology* 35 (2008) 163-181.
4. Sarabjeet Singh, MBBS, Mannudeep K. Kalra, MD, Michael A. Moore, MD; Dose reduction and compliance with pediatric ct protocols adapted to patient size, clinical indication, and number of prior studies; *Radiology: Vol 252: number 1-July 2009*.
5. Committee on environmental Health, 1996 to 1997; Ruth A. Etzel, MD, Sophie J. Balk, MD, Cynthia F. Bearer MD; Risk of Ionizing Radiation Exposure to children: a subject review; *Pediatrics* 1998; 101; 717-719.
6. C.I. Armpilia, MSc, I.A.J. Fife, P.L. Croasdale; Radiation dose quantities and risk in neonates in a special care baby unit; *The British Journal of Radiology*, 75 (2002), 590-595.
7. Thomas L. Slovis, MD; Children, computed tomography radiation dose, and the As Low As Reasonably Achievable (ALARA) concept; *Pediatrics*, (2003); 112; 971-972.
8. P.M. Sutton, R. J. Arthur, C Taylor, M.D. Stringer; Ionising radiation from diagnostic x rays in very low birthweight babies; *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*; (1998); 78; F227-F229.
9. Donald P. Frush, Lane F. Donnelly, Nancy S. Rosen; Computed tomography and radiation risks: what pediatric health care providers should know; *Pediatrics* (2003); 112; 951-957.
10. Jean Donadieu, Abdelkrim Zeghnoun, Candice Roudier; Cumulative Effective doses delivered by radiographs to preterm infants in a neonatal intensive care unit; *Pediatrics*; (2006); 117; 882-888.

La optimización de la dosis debe ser una práctica diaria en los estudios radiológicos de neonatos por los factores de riesgo de padecer cáncer en la vida futura de los niños debido a las dosis recibidas.

La falta de una cultura de de la protección radiológica del médico pediatra es un problema generalizado tanto en instituciones médicas públicas como privadas.

10. PERSPECTIVAS

Un estudio que debe llevarse a cabo son las dosis recibidas debido a tomografía computarizada que representa una alarma mundial por las dosis muy altas (~50 a 75 mSv), así como también un estudio de las dosis recibidas por estudios de fluoroscopia.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. A. Brindhaban, C.U. Eze; Estimation of radiation dose during diagnostic X-ray examinations of newborn babies and 1-year-old infants; *Med Princ Pract* 2006; 15: 260- 265.
2. D. Bader, H. Datz, G. Bartal; Unintentional exposure of neonates to conventional radiography in the neonatal intensive care units; *Journal of Perinatology* (2007) 27, 579-585.
3. Thomas T. Lai, MD, Cynthia F. Bearer, MD, PhD; Iatrogenic Environmental Hazards in the Neonatal Intensive Care Unit; *Clinics in Perinatology* 35 (2008) 163-181.
4. Sarajeet Singh, MBBS, Mannudeep K. Kalra, MD, Michael A. Moore, MD; Dose reduction and compliance with pediatric ct protocols adapted to patient size, clinical indication, and number of prior studies; *Radiology: Vol 252: number 1-July 2009*.
5. Committee on environmental Health, 1996 to 1997; Ruth A. Etzel, MD, Sophie J. Balk, MD, Cynthia F. Bearer MD; Risk of Ionizing Radiation Exposure to children: a subject review; *Pediatrics* 1998; 101; 717-719.
6. C.I. Armpilia, MSc, I.A.J. Fife, P.L. Croasdale; Radiation dose quantities and risk in neonates in a special care baby unit; *The British Journal of Radiology*, 75 (2002), 590-595.
7. Thomas L. Slovis, MD; Children, computed tomography radiation dose, and the As Low As Reasonably Achievable (ALARA) concept; *Pediatrics*, (2003); 112; 971-972.
8. P.M. Sutton, R. J. Arthur, C Taylor, M.D. Stringer; Ionising radiation from diagnostic x rays in very low birthweight babies; *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*; (1998); 78; F227-F229.
9. Donald P. Frush, Lane F. Donnelly, Nancy S. Rosen; Computed tomography and radiation risks: what pediatric health care providers should know; *Pediatrics* (2003); 112; 951-957.
10. Jean Donadieu, Abdelkrim Zeghnoun, Candice Roudier; Cumulative Effective doses delivered by radiographs to preterm infants in a neonatal intensive care unit; *Pediatrics*; (2006); 117; 882-888.

11. Alan S. Brody, MD, Donald P. Frush, MD, Walter Huda PhD; Radiation Risk to children from computed tomography; Pediatrics; volume 120; number 3, september, 2007.
12. Norma oficial mexicana NOM-229-SSA1-2002, Salud Ambiental. Requisitos Técnicos para las Instalaciones, Responsabilidades Sanitarias, Especificaciones Técnicas para los Equipos y Protección Radiológica en Establecimientos de Diagnostico Médico con Rayos X.
13. David J. Brenner, Carl D. Elliston, Eric J. Hall; Estimated Risks of Radiation-Induced Fatal Cancer from Pediatric CT; AJR:176, February 2001.289-296.
14. Mondaca A. Roberto, Porque Reducir la Dosis de Radiación en Pediatría; *Revista Chilena de Radiología. Vol. 12 N° 1, año 2006; 28-32.*
15. Gaona E., "Física de la Radiología y Seguridad Radiológica", Distribuidora y Editorial Mexicana S.A. de C.V, primera edición, México 2006.
16. Turan Olgar, PhD, Esra Onal, MD, Dogan Bor, PhD; Radiation Exposure to Premature Infants in a Neonatal Intensive Care Unit in Turkey; Korean J. Radial; 9(5); October;2008.