



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
HOSPITAL JUÁREZ DE MÉXICO.

CUANTIFICAR LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA DURANTE LA SERIE ESÓFAGO  
GASTRO-DUODENAL EN NIÑOS MENORES DE 24 MESES EN EL HOSPITAL JUÁREZ DE  
MÉXICO.

TESIS  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE MEDICO ESPECIALISTA EN IMAGENOLOGIA  
DIAGNÓSTICA Y TERAPEÚTICA.

PRESENTA  
DRA. BLANCA ESTRELLA DEL ALBA ALVAREZ ALVAREZ

DIRECTORES DE TESIS  
DR. GUSTAVO ADOLFO CASIÁN CASTELLANOS  
DR. ENRIQUE GAONA



MEXICO D.F. FEBRERO 2014  
HJM 2185/13-R



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

-----  
DR. CARLOS VIVEROS CONTRERAS  
TITULAR DE UNIDAD DE ENSEÑANZA

-----  
DR. AGUSTÍN ISIDIRO RODRIGUEZ BLAS  
TITULAR DEL CURSO UNIVERSITARIO

-----  
DR. GUSTAVO ADOLFO CASIÁN CASTELLANOS  
DIRECTOR DE TESIS

-----  
DR. ENRIQUE GAONA  
DIRECTOR DE TESIS

-----  
DRA. BLANCA ESTRELLA DEL ALBA ALVAREZ ALVAREZ  
TESISTA

Nº DE REGISTRO DE PROTOCOLO

HJM 2185/13-R

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por permitirme estar aquí y ahora.*

*A mis padres Marco Antonio y Diana Ruth por haberme otorgado la vida, apoyándome en los buenos y malos momentos, darme amor y nunca dejarme vencer.*

*A mi hermano Sinuhé por ser el mejor hermano que se pueda tener.*

*A Erik por permitirme ser parte de su vida y caminar siempre a mi lado.*

*A mi hija Layla Constanza por ser el mejor regalo que me pudo dar la vida y ser mi fortaleza para seguir adelante.*

*A mis compañeros y amigos residentes porque sin ellos no hubiese sido posible la realización de éste trabajo.*

*Al Dr. Enrique Gaona por su guía y gran apoyo para finalizar éste proyecto.*

*Y a la vida por haberme rodeado de éstas personas maravillosas.... A todos ellos... GRACIAS.*

## ÍNDICE

RESUMEN -----	5
INTRODUCCIÓN -----	6
MARCO TEÓRICO -----	21
JUSTIFICACIÓN -----	25
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	26
OBJETIVOS -----	27
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN -----	28
MATERIAL Y MÉTODOS -----	29
DEFINICIÓN DE VARIABLES -----	31
RECURSOS -----	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	33
CONCLUSIONES -----	34
ANEXOS -----	35
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	38

**“CUANTIFICAR LA DOSIS DE RADIACIÓN RECIBIDA DURANTE LA SERIE ESÓFAGO GASTRO-DUODENAL EN NIÑOS MENORES DE 24 MESES EN EL HOSPITAL JUÁREZ DE MÉXICO”**

**HJM 2185/13-R**

**RESUMEN**

El propósito de éste estudio fue determinar la dosis en la superficie de entrada (ESD) en pacientes menores de 24 meses de edad durante la realización de la Serie Esófago Gastroduodenal utilizando dosímetros termoluminiscentes TLD-100 e identificar los parámetros técnicos de exposición utilizados que no afecten la calidad de imagen y reducen la dosis (ESD). En radiología pediátrica, especialmente los niños, son altamente sensibles a la radiación por la alta actividad mitótica celular; en general la sensibilidad de los tejidos a la radiación es directamente proporcional a la proliferación celular. El estudio incluye a 13 pacientes sometidos a una Serie Esófago Gastro-Duodenal con una media de edad de 5.1 meses, con un valor medio de 66 kV y una media de 1.0 mA comparándola con parámetros establecidos para una buena imagen radiológica toraco-abdominal en pacientes pediátricos de 60 kilovolts y 0.9-1.00 mA. El tiempo de exposición tuvo un rango amplio de 1.2 a 5.2 minutos con una media de 3.2 minutos. Las dosis (ESD) medidas para dosímetros torácicos y abdominales fue de 25.4 y 20.0 mGy respectivamente, con rangos muy amplios entre cada uno de ellos lo que sugiere que la dosis está en función del peso.

## INTRODUCCIÓN

El propósito del estudio fue hacer un estudio exploratorio que permitió determinar y optimizar la dosis (mGy) a la superficie de entrada (ESD) recibida en pacientes pediátricos menores de 24 meses de edad sometidos a una serie esófago-gastroduodenal sin deterioro de la calidad de imagen. Las dosis (ESD) fueron medidas utilizando 4 dosímetros termoluminiscente TLD-100 por paciente.

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.<sup>15</sup>

Los rayos X en la exposición médica son la radiografía, la fluoroscopia, angiografía y la tomografía. La dosis depende de las características del paciente, los factores técnicos (configuración de equipos), la duración del procedimiento, y de la tecnología del equipo de rayos X.<sup>17</sup> La exposición médica a los rayos X se produce durante el diagnóstico, terapia y la radiografía dental.

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. Sin embargo, cabe señalar que estos informes son de estudios a dosis relativamente altas (como las visto en Hiroshima y Nagasaki, en Japón). Pero los riesgos de desarrollar cáncer en la infancia por estudios radiológicos no están bien cuantificados.<sup>15</sup>

Artículos recientes demuestran 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 niños de pocos meses de nacidos han mejorado de forma espectacular, principalmente gracias al tratamiento en unidades especializadas, apoyo a las vías respiratorias y la nutrición parenteral. La radiología diagnóstica desempeña un importante papel en el diagnóstico y tratamiento pero no se conoce el impacto potencial de la exposición a los rayos X en esta edad y en particular el riesgo de oncogénico.<sup>16</sup>

La radiología diagnóstica es cada vez más utilizada en la evaluación y tratamiento de los niños que requieren tratamiento médico. A menudo es necesario realizar un gran número de exploraciones radiológicas que dependen de la edad y peso del niño y problemas médicos.

La edad a la que la exposición se lleva a cabo es fundamental en la determinación del riesgo de radiación. Durante el feto, 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 exámenes radiográficos de los niños son especialmente críticos a causa de los factores de riesgo de cáncer y

acortamiento de la esperanza de vida. Los estudios radiológicos en los niños de pocos meses de nacidos da lugar a radiografías y fluoroscopia de cuerpo entero resultando en una dosis efectiva más elevado que con niños mayores y adultos. Por lo tanto, las dosis de radiación para estudios radiológicos de niños deben mantenerse tan bajas como sean justificadas.

El pequeño tamaño de los niños de pocos meses incluye más órganos en el campo de rayos X resultando en una dosis efectiva más elevado que en adultos.

Establecer las dosis de referencia para los pacientes pediátricos sometidos a estudios de rayos X diagnóstico ha sido motivo de preocupación para varias 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, el Reino Unido, los Estados Unidos de América y Nueva Zelanda, han establecido los niveles de dosis de referencia para los rayos X de diagnóstico. 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 estocásticos puedan manifestarse.<sup>14</sup>

Los efectos oncogénicos de la radiación pueden tener un largo período de latencia. Este período de latencia varía con el tipo de neoplasia. La leucemia tiene un período más corto (aproximadamente 5 a 10 años) que las neoplasias malignas sólidas. Un bebé o un niño, por lo tanto, tiene una mayor esperanza de vida en que se manifiesten los efectos potencial oncogénico de de radiación en comparación con los adultos mayores.<sup>18</sup> 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. <sup>14</sup>

En la imagen con fluoroscopia es importante que la exposición sea apropiada y los factores técnicos sean adecuados a cada paciente. Una exposición óptima (correcta) es aquella que produce una imagen con niveles de "ruido" aceptables sin exponer a los pacientes a una dosis excesiva. Un "ruido" excesivo es un problema potencial en la fluoroscopia digital porque es posible producir imágenes con baja exposición pero lejanas a conseguir imágenes con un buen contraste. Bajos factores técnicos indican que la imagen formada con una baja exposición producirá un ruido excesivo. Altos factores técnicos producirán una alta exposición a radiación. La mayoría de los estudios radiológicos deben tomar en consideración dos factores: exposición óptima con calidad de imagen óptima.

## 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 ( $\lambda$ ), frecuencia ( $\nu$ ), 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).

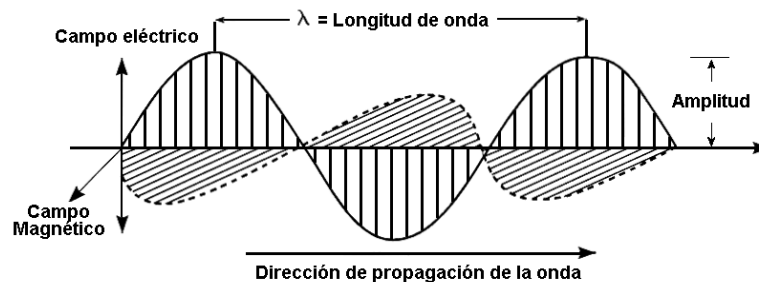


Figura 1. Ondas electromagnéticas.

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.

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 interaccionar con el blanco (figura 2 y 3).

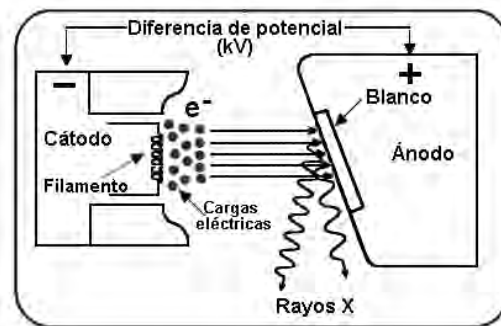


Figura 2. Producción de rayos X en un tubo de ánodo fijo.

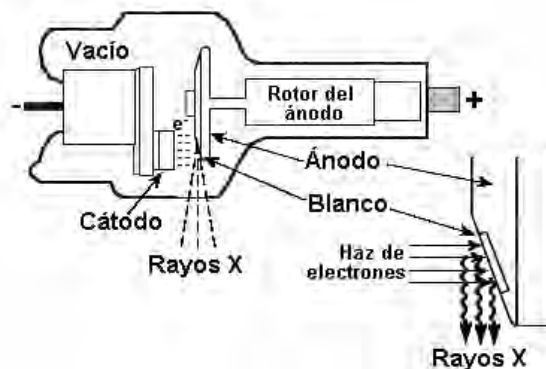


Figura 3. Producción de rayos X en un tubo de ánodo rotatorio.

Al interaccionar 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. Existen dos procesos físicos por los cuales se producen rayos X:

1. La producción de *rayos X* ocurre como resultado de la interacción electrostática de los electrones del cátodo con los electrones orbitales de los átomos del blanco (*rayos X característicos*).

2. Producción de rayos X debido a una aceleración de los electrones del cátodo en la interacción con las cargas positivas del núcleo atómico (*bremsstrahlung*). Ambas formas de producción de rayos X se producen simultáneamente en el momento de la exposición al hacer un estudio radiológico.

### Sistema del tubo de rayos X

El *tubo de rayos X* está inserto en una coraza metálica; el tubo de rayos X y la coraza están separados por aceite como material aislante y refrigerante, la coraza está diseñada para mantener la *radiación de fuga* dentro de un valor de referencia establecido en normas nacionales e internacionales y también protege contra las posibles descargas eléctricas al producir rayos X. El sistema del tubo de rayos X esta compuesto como se indica en la figura 4.

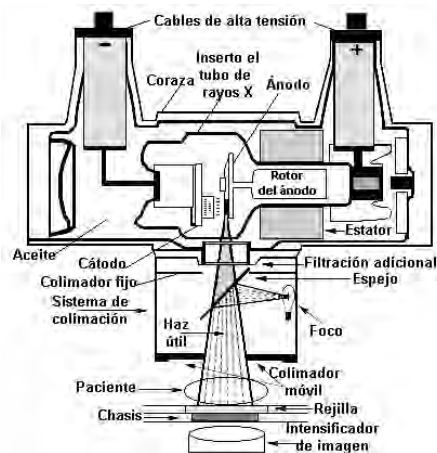


Figura 4. Sistema del tubo de rayos X.

### 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 5.

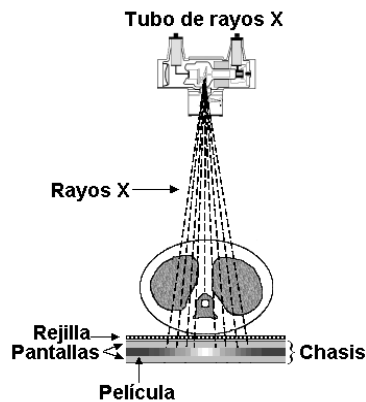


Figura 5. Formación de la imagen.

La Radiología Diagnóstica tiene como propósito el diagnóstico de 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.

### Contraste

Es la diferencia de densidades ópticas entre dos áreas diferentes de una imagen, que permite distinguir diferencias sutiles de atenuación entre los diferentes tejidos o en sus densidades ( $\rho$ ) (figura 6).

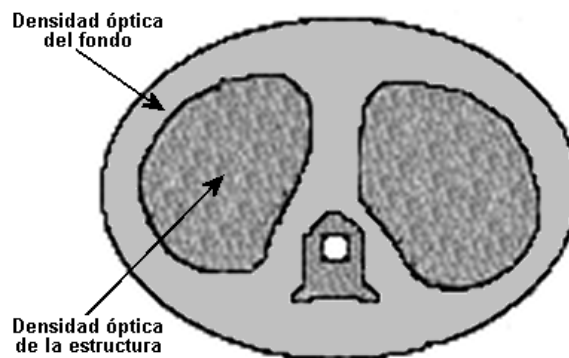


Figura 6. Concepto de contraste de una imagen.

### Latitud

El concepto de *latitud* se refiere a la amplitud de la escala de grises en una imagen radiográfica, si el contraste aumenta la latitud disminuye y viceversa. La figura 7 muestra dos imágenes con diferente latitud y contraste.

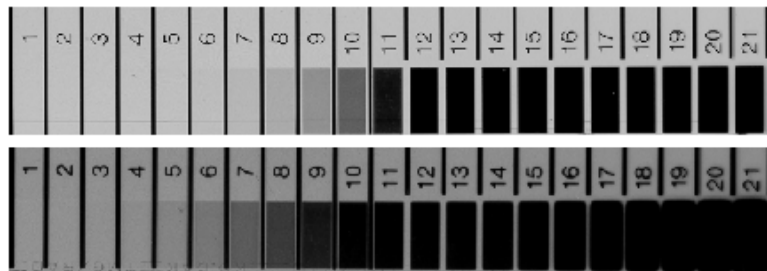


Figura 7. La imagen superior tiene mayor latitud y una latitud menor.

### Resolución espacial

La *resolución espacial* (nitidez) en una imagen radiológica es la capacidad del sistema de imagen para definir un borde o límite de una estructura o tejidos, así con una mayor resolución espacial se podrá visualizar estructuras pequeñas, los bordes y límites de las estructuras serán más

nítidos (detalle) y sin borrosidad. La resolución también se ve afectada por el contraste de la imagen y el contraste por la densidad óptica de la imagen.

### Ruido

Son variaciones de densidad óptica aleatorias en la imagen radiográfica que afecta la correcta interpretación. El ruido radiográfico se compone de granularidad, moteado estructural y moteado cuántico. Los *artefactos en la imagen* son variaciones de densidad óptica no deseados y algunos de ellos siguen patrones definidos y no se deben a fluctuaciones estadísticas aleatorias, aunque se puede darse el caso que algunos artefactos aparezcan simulando una condición aleatoria, frecuentemente se presentan en formas de manchas, estructuras no reales, patrones, marcas, etc. Los artefactos aparecen por manejo, almacenamiento, exposición o procesamiento no adecuado de la película. Los artefactos pueden imitar las anomalías patológicas. El radiólogo tiene la palabra final acerca de la aceptabilidad de artefactos específicos que puede contener la imagen.

### RECEPTOR DE IMAGEN

El *receptor de la imagen* en radiología general está compuesto por el chasis que contiene las pantallas intensificadoras y la película (figura 8).

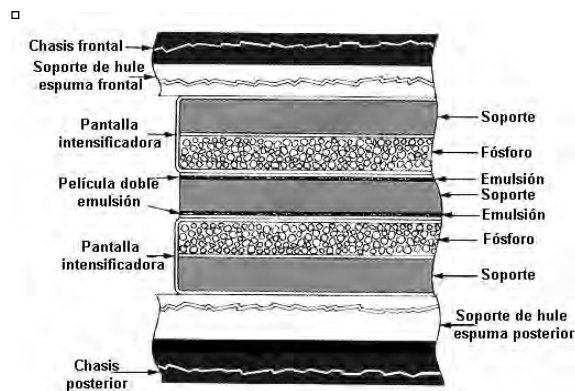


Figura 8. Corte ilustrativo de chasis, película y pantalla.

### FLUOROSCOPIA

La *fluoroscopia* es una técnica electrónica de formación de imágenes con rayos X que emplea, como receptor de imagen, a un tubo intensificador de imagen (tubo de rayos catódicos, sustituye al chasis tradicional), que convierte los rayos X incidentes en una imagen intensa de luz para que sea observada, registrada o fotografiada (figura 9).

La *fluoroscopia digital* es un sistema de fluoroscopia convencional cuya señal de video es digitalizada con la ayuda de un convertidor analógico digital (figura 9). El resultado es una matriz de datos digitales para cada imagen de video, que corresponde al brillo de la luz visible de la imagen. La imagen digital está compuesta de líneas y columnas de datos llamados píxeles para cada punto individual de la imagen (figura 9).

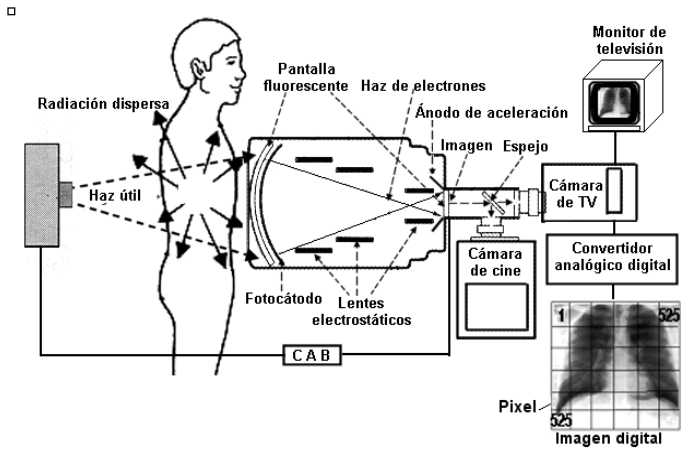


Figura 9. Formación de la imagen en fluoroscopia digital.

Las ventajas de la *fluoroscopia digital* son: amplificación, realce de contornos, reducción de ruido, cálculo geométrico, medidas de longitud, cálculo de áreas y sustracción de imágenes.

## DETECCIÓN Y MEDIDA 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 película fotográfica

Es el método más antiguo que ha permitido la detección y cuantificación de la radiación, desde el descubrimiento de los rayos X hasta nuestros días. Se ha usado ampliamente en la salud no sólo para obtener imágenes médicas para el diagnóstico, sino también como *dosímetro personal*, aunque esta forma de *dosimetría personal por película* ha sido casi sustituida por el uso cristales termoluminiscentes.

El *dosímetro de película fotográfica* está formado por una base plástica transparente, recubierta en ambas caras de una emulsión fotográfica, consistente en microcristales de bromuro de plata, suspendidos en una sustancia gelatinosa. Al interaccionar los rayos X con la emulsión, produce la disociación de las moléculas de bromuro de plata, acumulándose iones de plata en las partes alcanzadas por los rayos X; formándose la imagen latente, aplicando a la película un tratamiento con un líquido reductor en el proceso de revelado, la imagen latente se convierte en imagen real. Así, una película fotográfica expuesta a los rayos X y



revelada, manifestará un nivel de ennegrecimiento (densidad óptica) y con el empleo de un dispositivo llamado *densitómetro*, se mide la transmisión de la luz a través de la película expuesta y revelada. Se obtiene una curva de calibración que relaciona la densidad óptica (*DO*) con la dosis efectiva recibida por la película. La figura 10 muestra un dosímetro de película.

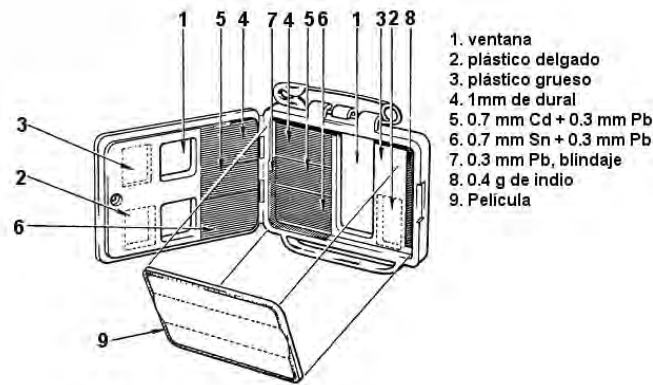


Figura 10. Estructura de un dosímetro de película.

### Dosímetros de cristales termoluminiscentes

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 11).

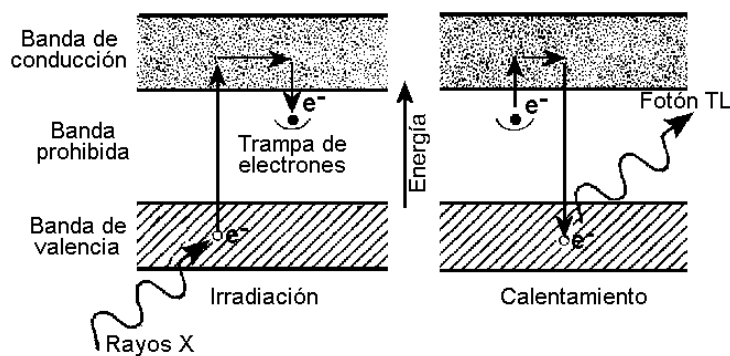


Figura 11. Fenómeno de la termoluminiscencia de algunos cristales.

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 (figura 12). 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.

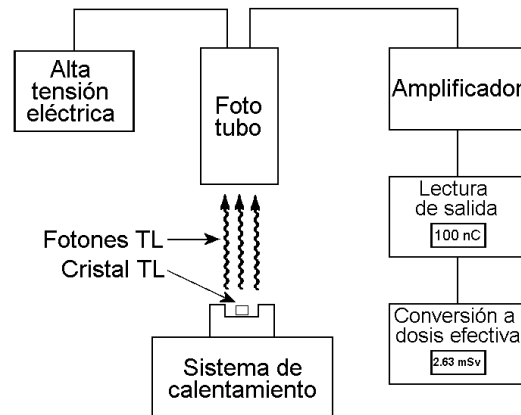


Figura 12. Lector de dosímetros termoluminiscentes.

Los dosímetros termoluminiscentes en forma de cuadrado que serán usados en el estudio se ilustran en la figura 13 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.

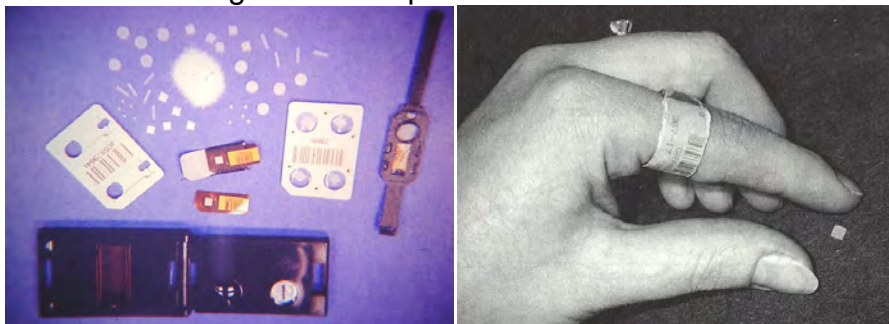


Figura 13. Características físicas de los dosímetros termoluminiscentes que fueron usados en el estudio.



## 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  $D = 2.5$  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 en la superficie de entrada (ESD) cuya unidad de medida será el gray (Gy), de esta forma la dosis en la superficie de entrada ( $D$ ) 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.

Tejido u órgano	Factor de ponderación ( $w_T$ )
Gónadas	0.20
Médula ósea, colón, pulmón y estomago	0.12
Vejiga, mama, esófago, hígado, tiroides	0.05
Piel y superficies óseas	0.01
Órganos o tejidos restantes	0.05

## EFFECTOS 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 14)



totalidad dará lugar a los efectos biológicos combinados, esto es, los efectos estocásticos y efectos deterministas (figura 15).

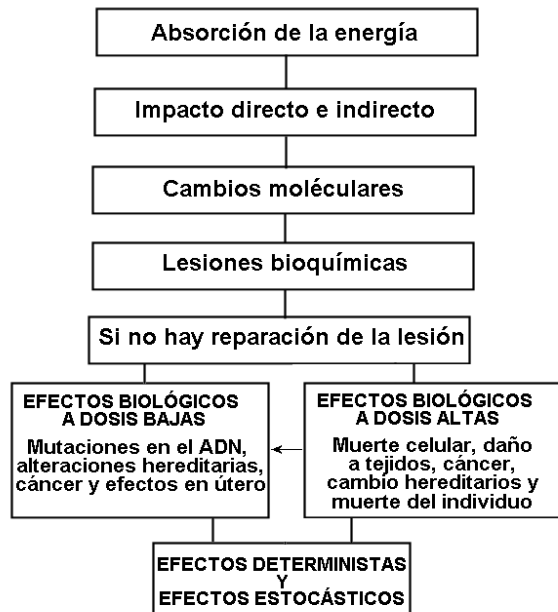


Figura 15. Efectos biológicos de la radiación.

### 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. El efecto estocástico más importante en el ser humano es 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**

Los *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. Estos efectos son consecuencia de la muerte celular, la cual, si la dosis es grande, produce una pérdida alta de células como para alterar las funciones de los tejidos y órganos. En la mayoría de los órganos y tejidos del cuerpo humano existe un proceso continuo de pérdida y sustitución de células, dando como resultado equilibrio natural entre la muerte y el reemplazo celular.

En los daños por radiación, la regeneración de los tejidos se produce a partir de una población de células madre o precursoras, que tienen una capacidad de proliferación ilimitada y cuya progenie es capaz de seguir varias líneas de diferenciación, pero esto no significa que se reestablecerá por completo el daño. Por ejemplo, si se daña el estroma que es el sostén de las células parenquimatosas, la reconstrucción del tejido será aleatoria y no seguirá la arquitectura original o forma del tejido. Si el número de células que se pierde es muy grande, las células son sustituidas por tejido conjuntivo que deja una cicatriz permanente llamada fibrosis.

La *proliferación celular* puede ser estimulada por la radiación ionizante pero también por fenómenos tales como las lesiones y la muerte celular, que está regulada por factores de naturaleza química que se encuentran en el microambiente, y que son capaces de estimular o de inhibir la proliferación celular.

Si 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. Si el tejido es vital y el daño grande, entonces dará como resultado la muerte del individuo expuesto. 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.

Algunos de los *efectos deterministas* son de una naturaleza funcional; que son reversibles siempre y cuando el daño no sea muy grande. Algunos de los efectos funcionales son: disminución de las secreciones glandulares (glándulas salivares, tiroides), efectos neurológicos (cambios en electroencefalogramas o retinogramas) y reacciones vasculares (eritema o edema subcutáneo).

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.

## MARCO TEÓRICO

El diagnóstico de rayos X se está convirtiendo en un método común para millones de hombres, mujeres y niños cada año. Los tipos más comunes de estudio con fluoroscopia en niños son el cistoureterograma, serie esófago gastro-duodenal y colon por enema.<sup>1</sup>

Existen factores sociales, como por ejemplo, justificar licencias postnatales que mantienen una alta demanda por estudios radiológicos (esófago, estómago, duodeno) generalmente innecesarios desde la perspectiva clínica. Esto conlleva un aumento en la dosis de radiación en la población pediátrica.<sup>5</sup>

Desde su Constitución en 1928 la Comisión Internacional de Protección Radiológica viene estableciendo periódicamente los límites de dosis para pacientes.<sup>3</sup> En 1965 esta comisión introdujo el concepto ALARA del inglés “as low as reasonably achievable”, en español significa “utilizar una dosis tan baja como razonablemente posible”.<sup>6</sup>

El límite de dosis efectiva para el público en general es de 1 mSv/año y el del personal profesionalmente expuesto es de 20 mSv/año en promedio en un periodo consecutivo de 5 años.<sup>7</sup>

En el pasado la mayor incidencia de cáncer en supervivientes de los efectos de la bomba atómica nunca era superior a los 20 rad, mientras que las dosis recibidas por estudios radiológicos diagnósticos oscilaba entre 1 y 2 rad. Casi setenta años después de la explosión nuclear se conocen las cifras directas de pacientes que entonces en edad infantil, han alcanzado ahora edades propicias a la aparición de diferentes cánceres.<sup>8</sup> Se advierte una mayor incidencia de cáncer estadísticamente significativa, en la población irradiada y se constata que afecta no sólo a los niveles de altas dosis, sino también a individuos que recibieron dosis en el rango de los 50 mSv, es decir, en el espectro de la Radiología Convencional y Tomografía Computarizada.<sup>3</sup>

En los supervivientes de la bomba atómica hay una mayor incidencia de cáncer estadísticamente significativa en la población irradiada que ha recibido dosis en el rango de 50-100 mSv e incluso 10-50 mSv. Estos niveles quedan dentro del espectro de Radiología Diagnóstica sobre todo desde la implantación de la Tomografía Computarizada, técnica que, significa sólo el 10% del conjunto de los estudios radiológicos, pero supone el 65% de la dosis total.<sup>5</sup>

La incidencia de cáncer se incrementa por debajo de los 10 años y progresa conforme se aproxima el periodo neonatal. Esta incidencia parece relacionada con la esperanza de vida, alta capacidad mitótica y en especial la sensibilidad de los tejidos en la edad infantil y de algunos órganos como tiroides, mama y gónadas. La frecuencia de la incidencia se duplica en el sexo femenino por la presencia de cáncer de mama y factores hormonales no bien comprendidos. Además de los valores de dosis recibida como consecuencia del menor diámetro corporal de los niños. Así que en estudios experimentales, se constata que para un adulto de 30 cm de diámetro



abdominal la dosis en su centro geométrico es del 50%. En un paciente pediátrico de 10 cm de diámetro la dosis es del 100%.<sup>3</sup>

El Consejo de la Unión Europea en 1997 crea la “Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de diagnóstico por imagen” promovida por la Dirección General de Medio Ambiente en la que incluye equivalencias de dosis de radiación administrada en estudios radiológicos elaborado por el Real Colegio de Radiólogos del Reino Unido sobre un estudio de mediciones en 380 hospitales durante el periodo entre 1990 y 1995; se establece la radiografía de tórax por ser la técnica más frecuente y también de una menor dosis radiación (dosis < 0.1 mSv), por lo que una Serie Esófago Gastroduodenal equivale a 150 radiografías de tórax con una equivalencia radiación de fondo ambiental de 16 meses.<sup>4</sup>

Para una población global el riesgo general de cáncer de mama se incrementa en un 10% cuando se recibe una dosis única de 1 Sv. Si se limita al adulto de edad media el riesgo se reduce al 1% pero cuando se extrapola a edades inferiores a 10 años asciende al 15%.<sup>3</sup>

Los efectos de las radiaciones ionizantes se dividen en determinísticos y estocásticos; los determinísticos dependen de la dosis administrada y pueden producir un daño celular por encima de la dosis umbral, por ejemplo, alteraciones digestivas, anemia, caída de cabello, esterilidad, cataratas, etc. Los efectos estocásticos son imprevisibles o probabilísticos y éstos dependen únicamente del azar, independientemente de la dosis; de esta forma, si solo un fotón de rayos x impacta en un punto de una célula especialmente sensible, podría ser capaz de provocar lesiones como malformaciones hereditarias o generar el desarrollo de un cáncer. Afortunadamente, la posibilidad de que se produzcan efectos estocásticos es bajísima, pero existe y aumenta con las dosis mayores recibidas de rayos X. Por lo tanto, por pequeña que sea la dosis, no hay radiación sin riesgo. Al respecto, cabe señalar que una pequeña parte de las mutaciones genéticas y de las neoplasias malignas pueden atribuirse a la radiación natural de fondo.<sup>5</sup>

Los efectos estocásticos son mayores en pacientes pediátricos ya que se incrementa la susceptibilidad a la radiación y también al tiempo de vida mayor esperado.<sup>12</sup> Los efectos deterministas son expresados clínicamente hasta que la célula innecesariamente se diferencia o se divide. La severidad de los efectos en fluoroscopia varía con la dosis de radiación, aunque comúnmente los daños producidos son en piel, lesiones graves pueden extenderse a tejido celular subcutáneo y grasa.<sup>13</sup>

Las fuentes de radiación son dos: naturales y artificiales. Las naturales aportan aproximadamente el 82% de la radiación recibida: a) radiación cósmica 8%, radiación terrestre 8%, radón 55% y radiación interna 11%. Las fuentes artificiales aportan menor del 18% del total: a) rayos x médicos 10%, medicina nuclear 4%, productos de consumo 3%, c) otros 0.3%.<sup>5</sup>

Existen dos unidades de medida esenciales en radioprotección: la primera es la dosis absorbida en Gray que se relaciona con la unidad tradicional Rad por un simple factor de escala: 1 Rad = 0.01 Gray; la

segunda es la medida de la dosis efectiva que relaciona la dosis al daño biológico asociado. Su unidad vigente es el Sievert relacionada a la unidad tradicional Rem,  $1 \text{ Rem} = 0.01 \text{ Sv}$ . En radiología es más frecuente hablar de miliSievert (mSv):  $1 \text{ Sievert} = 1000 \text{ mSv}$ .<sup>5</sup>

La reducción de los factores técnicos de exposición debe estar basado en el miliamperaje y kilovoltaje. Existe una relación lineal entre el miliamper y la dosis de radiación.<sup>9</sup> Para esto se dispone de tablas para el cálculo del miliamperaje por kilo de peso y área a estudiar. Si se reduce en kilovoltaje la dosis aumenta, disminuye el ruido y aumenta el contraste de la imagen, pero hay datos que sugieren que un kilovoltaje de 80 puede proporcionar una calidad aceptable de la imagen en recién nacidos con una dosis menor. En resumen se deben ajustar los parámetros de exposición para obtener una dosis mínima con calidad diagnóstica.<sup>10,11</sup>

En cuanto a la detección de radiación ésta no se limita sólo a indicar su presencia, sino que obliga también a cuantificar la magnitud del campo de radiación (rayos X). En radiología diagnóstica se usan dos tipos de detectores, uno para mediciones del haz útil de rayos X y el otro para fines de protección radiológica. Los detectores para fines de protección radiológica tienen como propósito señalar las áreas y los sitios dentro o fuera de las salas de rayos X en los que es necesario colocar protección contra la radiación y reducir la dosis al personal ocupacionalmente expuesto, público y pacientes. Los métodos de detección de la radiación más empleados en radiología son la placa fotográfica, los detectores por ionización de gases (cámaras de ionización) y los detectores a base de centelladores y termoluminiscentes.<sup>14</sup>

Algunos materiales cristalinos tienen la propiedad del fenómeno de termoluminiscencia. En radiología diagnóstica se usan cristales de fluoruro de litio (LiF) conocidos como TLD-100. A medida que aumenta la temperatura (alrededor de  $250^{\circ}\text{C}$ ) del cristal irradiado se incrementa la probabilidad de liberar a los electrones de las trampas. La intensidad de la luz emitida primero aumenta hasta alcanzar un máximo y después cae a cero. La mayor parte de los materiales termoluminiscentes contienen un cierto número de trampas de varios niveles de energía en la banda prohibida, razón por la cual la curva termoluminiscente puede consistir de varios picos luminiscentes; los diferentes picos corresponden a los diversos niveles de energía de las trampas.<sup>14</sup>

En la evaluación de la dosis recibida por un cristal termoluminiscente (cristal TL), este se coloca en una plancheta, la 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 emitida 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. El LiF se encuentra entre los materiales TL más utilizados para aplicaciones dosimétricas, porque su número atómico efectivo  $Z_{\text{ef}} = 8.2$  y la respuesta es prácticamente independiente de



la energía de la radiación. Algunas de las sustancias cristalinas más usadas son el fluoruro de litio (LiF) y el fluoruro de calcio.<sup>14</sup>

Las ventajas más importantes de los dosímetros TLD son su linealidad de respuesta en función de la dosis absorbida, la buena precisión de sus lecturas y su amplio margen de utilización, que abarca desde el orden de mGy hasta unos 100 Gy. Sus desventajas principales son la necesidad de equipo relativamente caro para su lectura y no mantener la información como las películas, aunque en cambio, son reutilizables muchas veces. En un estudio realizado en el año 2000 en Estados Unidos dirigido por el físico Paul Brown en Oregon Health & Science University se demostró una reducción notable en la dosis de rayos X mediante fluoroscopia usando una tecnología llamada Fluoroscopia Red Controlados con un diseño especial pediátrico. El fluoroscopio de red de control regula la cantidad de radiación administrada en una milésima de segundo a través de la computadora. En el fluroscopio pediátrico comparado con fluroscopia continua presentó un factor por debajo de 20 de diferencia en el nivel de dosis de radiación.<sup>1</sup>

El Dr. Fred Mettler, un especialista en lesiones de radiación en el departamento de radiología de la Universidad de Nuevo México en Albuquerque menciona que aunque la exposición excesiva de radiación puede conducir a un mayor riesgo de cáncer, no hay información sobre los efectos de la radiación cuando se administra a un área del cuerpo determinada; los sobrevivientes de la bomba atómica de Hiroshima o el accidente nuclear de Chernobyl recibieron exposición en todo el cuerpo, así que es difícil extrapolar la situación a los estudios de rayos X en pediatría porque es difícil trazar una enfermedad que pueda desarrollar en el futuro y culpar a una sobre-exposición por radiación.<sup>2</sup>

Posteriormente al año 2001, numerosas mesas redondas, reuniones y publicaciones se han preocupado de entender mejor el tema y resolverlo. El compromiso en Estados Unidos y Europa que incluye organismos de salud, autoridades y fabricantes de equipos, es reducir al mínimo la dosis de radiación en niños.<sup>5</sup>

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Considerando que el riesgo de la población general de padecer cánceres es de un 25% y que en un niño se potencializa diez veces; el incremento por estudios radiológicos es significativo, de forma que para un caso concreto el balance beneficio-riesgo favorece abrumadoramente al beneficio. Sin embargo, este factor, cuando se multiplica por el número de estudios anuales practicados a la población infantil, con fallas en las técnicas de exposición de rayos "x" se convierte en estadísticamente significativo.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Cuál es la dosis en la superficie de entrada en la Serie Esófago Gastro-duodenal en niños menores de 24 meses en el Hospital Juárez de México?

## **OBJETIVOS**

### **a) GENERAL**

Determinar y optimizar las dosis a la superficie de entrada (ESD) recibida durante la realización de la Serie Esófago-Gastroduodenal en niños menores de 24 meses de edad en el Servicio de Radiología e Imagen en el hospital Juárez de México.

### **b) ESPECÍFICOS**

1. Seleccionar una muestra de niños menores a 24 meses de edad de acuerdo a criterios de inclusión y exclusión.
2. Medir las dosis (ESD) usando cristales TLD-100 en la muestra seleccionada de niños.
3. Registrar los parámetros de exposición de la técnica radiológica usada en los estudios con fluoroscopia.
4. Optimizar las dosis mediante las técnicas de exposición (kV, mA) y tiempo de exposición durante la realización de la Serie Esófago-Gastroduodenal, en niños menores de 24 meses de edad en el Servicio de Radiología e Imagen en el hospital Juárez de México.

## **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Previa autorización del comité de investigación del Hospital Juárez de México se llevó a cabo un estudio de cohorte, observacional, descriptivo y prospectivo.

**GRUPO DE ESTUDIO:** Pacientes menores de 24 meses de edad que se les solicite realizar serie esófago-gastro-duodenal en el Hospital Juárez de México de noviembre 2012 a marzo 2013.

**MUESTRA:** Se realizó un muestreo no probabilístico. Se establecieron 22 pacientes identificando edad, peso, perímetro abdominal, kilovoltaje, miliamperaje tiempo y dosis de exposición.

### **CRITERIOS DE INCLUSIÓN:**

Femenino o masculino

Edad menor o igual a 24 meses

Hospitalizados, consulta externa o foráneos.

Solicitud y realización de Serie Esófago Gastro-duodenal.

Familiar responsable presente en el momento del estudio.

### **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN:**

Edad mayor a 24 meses.

Pacientes que no cuenten con familiar responsable en el momento del estudio.

Dosímetros con lectura en blanco por error humano y/o técnico.

### **CRITERIOS DE ELIMINACIÓN**

Pacientes que no cooperen para la realización del estudio.

## MATERIAL Y MÉTODO

En la exploración de los pacientes fue usado un equipo de rayos X con fluoroscopia marca CRM con una capa hemirreductora de 2.82 mm, punto focal de 1.2 mm Al y con el control de calidad del mismo cumpliendo con la NOM-229-SSA1-2002. La muestra de niños inicialmente participantes en el estudio fue de 22 pacientes menores de 24 meses sin embargo solo a 13 fue posible llevar a cabo las mediciones de la dosis y cuyos datos generales se muestran en la tabla 3. El estudio fue realizado en el Hospital Juárez de México.

PACIENTE	EDAD (Meses)	PESO (kg)	AP ABDOMEN (mm)
1	3	6.1	92
2	5	6.7	80
3	2	4.5	85
4	3	7.05	75
5	13	8.5	100
6	1.3	2.3	61
7	0.9	1.5	60
8	0.105	2.4	66
9	12	7.4	70
10	18	9.6	105
11	1	3.2	80
12	2	2.3	60
13	6	6	85

Durante el estudio con fluoroscopia fueron registrados los parámetros de exposición de cada paciente como se muestra en la tabla 4. Los valores de kV estuvieron en el rango de 56 kV a 80 kV y los valores de mA fueron de 1.0 mA a 2.0 mA los cuales fueron generados de manera automática con el sistema automático de exposición. El tiempo de exposición fue desde 1.2 minutos hasta 5.2 minutos.

Paciente	kV	mA	Tiempo (min)
1	71	2.0	5.2
2	80	1.0	1.2
3	78	2.0	3
4	74	1.0	4
5	76	1.0	2.8
6	56	2.0	2.3

7	56	2.0	2
8	58	2.0	3
9	58	2.0	2.6
10	59	2.0	3.1
11	64	2.0	3.9
12	69	2.0	4
13	65	2.0	4.7

La dosis fue medida directamente utilizando 4 dosímetros TLD-100 por paciente (empaquetados en plástico) que fueron colocados directamente en el paciente donde no afectan la región de interés de las estructuras a visualizar del paciente.



Figura 16. Colocación de los dosímetros TLD.

## DEFINICIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	INDICADOR
Edad	Tiempo transcurrido de vida de una persona.	continua	Días, meses o años.
Peso	Medida de la fuerza de gravedad que ejerce la gravedad sobre un cuerpo determinado.	continua	Gramos
Perímetro abdominal	Circunferencia del abdomen que se suele medir a nivel del ombligo.	continua	Centímetros
Kilovoltaje	Diferencia de potencial aplicado entre el cátodo y el ánodo de un tubo de rayos X.	continua	Kilovolts (kV)
Miliampere	Es la corriente del filamento del tubo de rayos X.	continua	Miliampers (mA)
Tiempo de exposición	Periodo en el cual se somete a un individuo a los rayos x.	continua	Minutos o segundos
Dosis (ESD)	Es la energía media impartida por los rayos X en la superficie de entrada	continua	Gray/mGy



## **RECURSOS**

### **A) HUMANOS**

Pacientes pediátricos con familiar acompañante que acepte el estudio; investigador responsable, jefe de servicio de radiología, técnicos radiólogos y médicos residentes de radiología que apoyan en el estudio.

### **B) FÍSICOS**

Hospital Juárez de México, sala de fluoroscopia.

### **C) MATERIALES**

Fluoroscopia, hoja de recolección de datos, báscula, espesómetro, dosímetros, tela adhesiva, gel desinfectante.

### **D) FINANCIEROS**

Dosímetros y lectura de los mismos aportados por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 5 ilustra los valores de dosis medidos en los pacientes participantes en el estudio.

	DOSIS (mGy)	DOSIS (mGy)
PACIENTES	TORAX	ABDOMEN
1	21.54	12.6
2	22.22	16.69
3	19.08	6.7
4	21.71	20.8
5	19.65	19.38
6	9.48	5.17
7	14.43	14.51
8	20.17	15.83
9	21.53	19.72
10	13.38	13.08
11	46.18	51.97
12	45.87	28.21
13	48.88	18.82

Las dosis recibidas en abdomen fueron menores a las recibidas en tórax por la posición de los dosímetros y como dosis de referencia en estos estudios se toma la dosis medida en tórax. Haciendo pruebas con fluoroscopia manual se determino que la técnica de exposición que permite reducir dosis al paciente fue de 70 kV a 75 kV con una corriente de 0.2 mA a 0.4 mA sin perder la calidad de imagen para pacientes cuyo peso es de 1.5 kg a 9.0 kg para medidas AP de 6.0 cm a 10.5 cm. La dosis (ESD) va a depender además de los factores citados del tiempo que dura el procedimiento que a su vez depende de la habilidad del médico radiólogo.

## **CONCLUSIONES**

Como cualquier otro procedimiento médico, la Serie Esófago Gastroduodenal en pacientes pediátricos son seguras cuando se usan los valores correctos de kV, mA y se reduce el tiempo del procedimiento. Es importante que los radiólogos, pediatras y técnicos radiólogos estén entrenados en protección radiológica y efectos biológicos de la radiación para reducir la dosis a los pacientes sin perder calidad de imagen. Se requiere también la asesoría de un físico médico para optimizar las dosis de radiación recibidas durante los estudios fluoroscópicos pediátricos. La cantidad de radiación usada en la mayoría de las Series Esófago-Gastroduodenales es muy baja y los beneficios superan al riesgo sin embargo estudios repetitivos incrementan la dosis total acumulativa de radiación.

**ANEXOS**

**ANEXO 1  
HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

**HOSPITAL JUÁREZ DE MÉXICO  
TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIDAD EN IMAGENOLOGÍA  
DIAGNÓSTICA Y TERAPEÚTICA**

**TÍTULO:** Determinar la dosis de radiación recibida durante la Serie Esófago-Gastroduodenal en niños menores de 24 meses en el Hospital Juárez de México.

**TESISTA:** Alvarez Alvarez Blanca Estrella del Alba

**Tutor:** Dr. Enrique Gaona

NÚMERO DE DOSÍMETRO

TÓRAX:-----

ABDOMEN: -----

EDAD (MESES): -----

PESO (KILOGRAMOS): -----

PERÍMETRO ABDOMINAL ANTEROPOSTERIOR: (MILIMETROS): -----

KILOVOLTAJE: -----

MILIAMPERAJE: -----

TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MINUTOS): -----

DOSIS ABSORBIDA

TÓRAX (mGy):-----

ABDOMEN (mGy): -----

## CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Lugar y fecha: \_\_\_\_\_

Por medio de la presente YO,

autorizo a participar a mi paciente en el protocolo de investigación titulado: Determinar la dosis de radiación recibida durante la Serie Esófago-Gastroduodenal en niños menores de 24 meses en el Hospital Juárez de México.

Registrado ante el Comité Local de Investigación o la CNIC con el número: \_\_\_\_\_

**El objetivo del estudio es** determinar la dosis de radiación recibida durante la realización de la Serie Esófago-Gastroduodenal en niños menores de 24 meses de edad en el Servicio de Radiología e Imagen en el Hospital Juárez de México.

**Se me ha explicado que la participación de mi familiar consistirá en** que se le colocarán dos dosímetros: uno en región subcostal derecha y el segundo en cuarto espacio subcostal izquierdo.

**Declaro que se me ha informado ampliamente en que la colocación de los dosímetros no tiene ninguna complicación ni interferirá con el estudio.**

---

El Investigador Responsable me ha dado seguridades de que no se identificará a mi paciente en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y de que los datos relacionados con la privacidad del paciente serán manejados en forma confidencial También se ha comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio.

---

**Nombre y firma del paciente o del representante legal**

**Nombre, firma y matrícula del Investigador Responsable**

Testigos: \_\_\_\_\_

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1 Radiología Pediátrica, 30:229-235 (2000) y 30:236-242 (2000)
- 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 Revista Chilena de Radiología. Vol. 12 Nº 1, año 2006; 28-32
- 6 Slovis TL. ALARA Conference Proceedings. The ALARA concept in pediatric CT – intelligent dose reduction. *Pediatr Radiol*; 32: 217-317
- 7 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.
- 8 Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ. Etal. Estimated risks of radiation – induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 176: 289-296
- 9 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.
- 10 Donnelly LF, Emery KH, Brody AS. Etal. Perspective. Minimizing radiation dose for pediatric body applications of single detector helical CT: strategies at a large children's hospital. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 176:287
- 11 Arce JD y cols. TAC en pediatría: Técnica y precauciones. *Revista Chilena de Radiología* 2001; 7: 54-55
- 12 Little MP. Risks associated with ionizing radiation. *Br Med Bull* 2003; 68:259-275
- 13 Balter S, Hopewell JW, Miller DL, Wagner LK, Zelefsky MJ. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 2010; 254 (2) 326-34.
- 14 Enrique Gaona, Física de la Radiología y Seguridad Radiológica, Distribuidora y Editorial Mexicana S.A. de C.V, primera edición, México 2006.
- 15 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.
- 16 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.
- 17 Alan S. Brody, MD, Donald P. Frush, MD, Walter Huda PhD; Radiation Risk to children from computed tomography; *Pediatrics*; volume 120; number 3, septiembre, 2007.
- 18 Mondaca A. Roberto, Porque Reducir la Dosis de Radiación en Pediatría; *Revista Chilena de Radiología. Vol. 12 Nº 1, año 2006; 28-32.*