



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**SECRETARIA DE SALUD DEL DISTRITO FEDERAL
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.
CURSO UNIVERSITARIO DE ESPECIALIZACIÓN EN
IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA.**

**“MEDICIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN EFECTIVA EN
TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ABDOMEN EN
PACIENTES ADULTOS DEL HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
DEL DISTRITO FEDERAL DR. BELISARIO DOMÍNGUEZ”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA
PRESENTADO POR: DR. ISMAEL ANZURES CORTES
PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN
IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA**

**DIRECTOR DE LA TESIS:
DR. JUAN CARLOS HERNÁNDEZ CHAVOLLA.**

-2015-



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.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**SECRETARIA DE SALUD DEL DISTRITO FEDERAL
DIRECCIÓN DE EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.
CURSO UNIVERSITARIO DE ESPECIALIZACIÓN EN
IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA.**

**“MEDICIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN EFECTIVA EN
TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ABDOMEN EN
PACIENTES ADULTOS DEL HOSPITAL DE ESPECIALIDADES
DEL DISTRITO FEDERAL DR. BELISARIO DOMÍNGUEZ”**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA
PRESENTADO POR: DR. ISMAEL ANZURES CORTES
PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALISTA EN
IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA**

**DIRECTOR DE LA TESIS:
DR. JUAN CARLOS HERNÁNDEZ CHAVOLLA.**

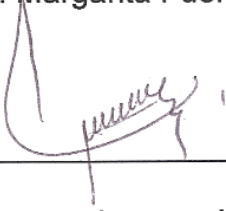
-2015-

“Medición de la dosis de radiación efectiva en tomografía
computarizada de abdomen en pacientes adultos del hospital de
especialidad del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez”

Autor: DR. ISMAEL ANZURES CORTES

Vo. Bo.

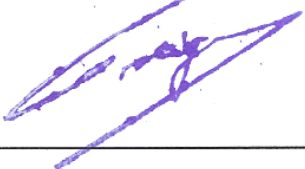
Dra. Margarita Fuentes García



Profesor titular del curso de especialización en Imagenología
diagnóstica y terapéutica.

Vo. Bo.

Dr. Antonio Fraga Mouret




Director de Educación e Investigación.



DIRECCION DE EDUCACION
E INVESTIGACION
SECRETARIA DE
SALUD DEL DISTRITO FEDERAL

“Medición de la dosis de radiación efectiva en tomografía
computarizada de abdomen en pacientes adultos del hospital de
especialidad del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez”

Autor: DR. ISMAEL ANZURES CORTES



Vo. Bo.

Dr. Juan Carlos Hernández Chavolla

Jefe del servicio de Radiología en el hospital de especialidades del
Distrito Federal “Dr. Belisario Domínguez”

Agradezco a Dios, a mis padres y maestros...

Índice

Resumen.....	7
Marco de referencia.....	8
Planteamiento del problema	27
Justificación	28
Hipótesis.....	29
Objetivo general.....	30
Objetivos específicos.....	30
Metodología.....	31
Aspectos éticos y de bioseguridad.....	34
Aspectos logísticos	35
Resultados	37
Discusión.....	41
Bibliografía	43
Anexos	46

Resumen.

Título:

“Medición de la dosis de radiación efectiva en tomografía computarizada de abdomen en pacientes adultos del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez”

Marco de referencia.

La dosis efectiva hace referencia a la cantidad de radiación absorbida por un cuerpo multiplicada por el factor de conversión para diferentes órganos representado como una constante (K), refleja cómo ésta energía produce daño a los tejidos biológicos, de acuerdo con el tipo de radiación utilizada.⁽⁷⁾

Objetivo general.

Conocer la dosis equivalente efectiva recibida por los pacientes en el estudio de tomografía de abdomen del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez.

Material y métodos.

Se realizó un estudio analítico transversal descriptivo, con un universo finito, muestreo por conveniencia en pacientes mayores de 18 años usuarios del sistema de salud del Distrito Federal, se procedió a la recolección de datos en el periodo de 1 marzo al 30 de mayo, calculando la dosis efectiva medida en mSv en los pacientes sometidos a estudio de tomografía de abdomen en el hospital de especialidades de distrito federal “Dr. Belisario Domínguez”.

Resultados

En el estudio realizado en el Hospital de especialidades del Distrito Federal en el periodo comprendido del 1 de marzo al 30 mayo del 2014; se obtuvo el cálculo de la dosis efectiva en 80 pacientes, de los cuales 45 fueron mujeres con una edad máxima de 83 años y edad mínima de 18 años con una media de 48.6 años, 35 pacientes fueron hombres con una edad media de 47.5 años (mínima de 18 y máxima 93).

Se encontró que la dosis efectiva promedio fue de 6.8mSv ($DE \pm 3.1$), el paciente que recibió la mayor dosis fue de 17.8mSv y el que recibió menos fue de 2mSv, en mujeres la dosis efectiva promedio fue de 6.7mSv y en hombres fue de 6.8mSv

Discusión:

El estudio realizado arroja datos concluyentes que nos revelan que el 56% de los pacientes que fueron sometidos a un estudio de tomografía de abdomen en el hospital de especialidades del distrito federal, reciben una dosis de radiación efectiva mayor de 5mSv, en el grupo de pacientes del sexo femenino 25 pacientes (55%) recibieron en promedio 9.1 mSv y 20 pacientes (45%) 3.9mSv. En el grupo de pacientes masculinos 20 de ellos (57%) recibieron 8.8mSv en promedio y 15 (42.8%) 3.9mSv en promedio respectivamente.

De acuerdo 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 diagnóstico médico con rayos X, indica en el numeral 18.4 que la dosis por estudio radiológico se debe limitar a 5 mSv.

Existe un incumplimiento a dicha norma, por lo cual se deben realizar estrategias para disminuir la dosis efectiva recibida por los pacientes en los estudios de tomografía de abdomen.

Marco de referencia.

Los rayos X fueron descubiertos de forma accidental en 1895 por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen mientras estudiaba los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje (tubo de Crookes). Roentgen llamo a los rayos invisibles “rayos X” por su naturaleza desconocida. Posteriormente, los rayos X fueron también denominados rayos Roentgen en su honor. ⁽¹⁾

Los rayos X son una parte del espectro de radiación electromagnética en el cual estamos inmersos cotidianamente. La radiación electromagnética se propaga en forma de fotones de distintas energías, que viajan a la velocidad de la luz. En orden de menor a mayor energía, abarca desde las ondas de radio a los rayos X, pasando por las microondas, la radiación infrarroja, la luz visible, y la radiación ultravioleta. Los rayos X se sitúan, por tanto en el rango más energético del espectro electromagnético. ⁽²⁾

Los rayos X tienen una longitud de onda que va desde unos 10nm hasta 0,01nm. Cuanto menor es la longitud de onda de los rayos X, mayores son su energía y poder de penetración. ⁽¹⁾

La radiación ionizante es la cantidad de energía necesaria para producir la ionización de un átomo lo que es igual a 4 y 25 eV. ⁽³⁾

Se conocen dos mecanismos de producción de rayos x, la radiación de frenado y la radiación característica. La realización de uno u otro tipo difiere en el origen del fenómeno. ⁽⁴⁾

Rayos x característicos.

Cuando un átomo es ionizado de forma tal que uno de sus electrones sea expulsado, se genera un lugar vacante en alguna órbita del átomo. Esta condición inestable, es corregida inmediatamente llenándose ese lugar por un electrón ubicado en la órbita superior. Este reajuste resulta en la emisión de un rayo X producido debido a la diferencia entre los niveles de energía inicial y final del electrón reubicado. Este proceso puede darse para el reajuste de varios electrones con tal de no dejar lugares vacantes. Como los niveles de energía de los electrones son únicos para cada elemento, los rayos X producidos en este proceso también son únicos y por tanto, característicos de cada elemento. Para la producción de rayos X, los electrones K y L más cercanos al núcleo son de mayor interés, pues cuando hay reubicación sobre estos lugares, se tienen rayos X de mayor energía. Cabe hacer notar que cuando electrones con cierta aceleración inciden sobre un material se producirán rayos X de frenado pero también ionización de los átomos del blanco, que finalmente resultarán en

“reacomodos” que generarán rayos X característicos, también son llamados monoenergéticos. ⁽⁴⁾

Radiación de Frenado.

Este proceso involucra a un electrón con cierta energía cinética incidiendo sobre un átomo; el electrón pasa por las proximidades del núcleo atómico; la atracción creada por la carga positiva del núcleo hacia el electrón, provoca una desviación en la trayectoria de éste, haciendo perder parte de su energía cinética, esta energía cinética perdida, es emitida en forma de rayos X y se conoce como “Bremsstrahlung” (radiación de frenado).

Para el caso de los rayos X que se producen por efecto Bremsstrahlung se tiene rayos X de distintas energías; la energía de éstos dependerá básicamente de: A)._ La energía inicial del electrón incidente y de su ángulo de dispersión. B)._ Del número atómico del material blanco. ⁽⁴⁾

Los rayos X se producen mediante electrones acelerados por un campo electrostático, que se hacen chocar con un foco o blanco metálico, originándose así fotones de alta energía.

Existen distintos sistemas de tubos emisores, como los de gas o los de alto vacío, que son los más utilizados.

Emisión de electrones por el cátodo: el filamento del cátodo se calienta haciendo circular por él una corriente eléctrica de decenas o cientos de miliamperios. Debido a ello, se emiten electrones por el cátodo. A mayor miliamperaje más electrones se emiten.

Aceleración de los electrones hacia el ánodo: el ánodo consta de un metal (cobre) donde está inmerso el blanco metálico o foco (tungsteno, renio o molibdeno). Entre el cátodo y el foco del ánodo se establece una elevada diferencia de potencial, producida por el generador de alta tensión. Consecuentemente, los electrones que se emiten desde el filamento del cátodo son acelerados hacia el ánodo. Éste está inclinado varios grados para facilitar el escape de los rayos X que se emitan. ⁽²⁾

Emisión de los rayos X por el ánodo.

Al chocar los electrones con el ánodo metálico, se desaceleran bruscamente; éste mecanismo de frenado produce rayos X de mayor o menor energía dependiendo del kilovoltaje utilizado, emitiéndose en forma de espectro continuo de longitudes de onda (rayos X policromaticos). Además de este mecanismo de frenado, los electrones interactúan con los átomos del ánodo, excitándolos; ello produce secundariamente emisión de rayos X característicos (monocromáticos), es decir, de rayos X que tienen una longitud de onda específica y propia del material del que

está fabricado el ánodo. Así pues, la energía de los rayos X que se emitan dependerá de:

- 1.- La diferencia de potencial entre el cátodo y ánodo (kilovoltaje)
- 2.- El material con el que esté fabricado el foco del ánodo.

La dosis o cantidad de rayos X que se emitan dependerá de:

- 1.- la corriente del cátodo (miliamperaje)
- 2.- el tiempo de exposición. ⁽²⁾

Principios físicos de la tomografía.

La primera tomografía computarizada (TC) fue diseñada por el ingeniero eléctrico Godfrey Hounsfield para superar los problemas de representación visual propios de la radiografía y la tomografía lineal colimando el haz de rayos X y transmitiendo rayos X sólo a través de pequeñas secciones transversales de un objeto. ⁽⁵⁾

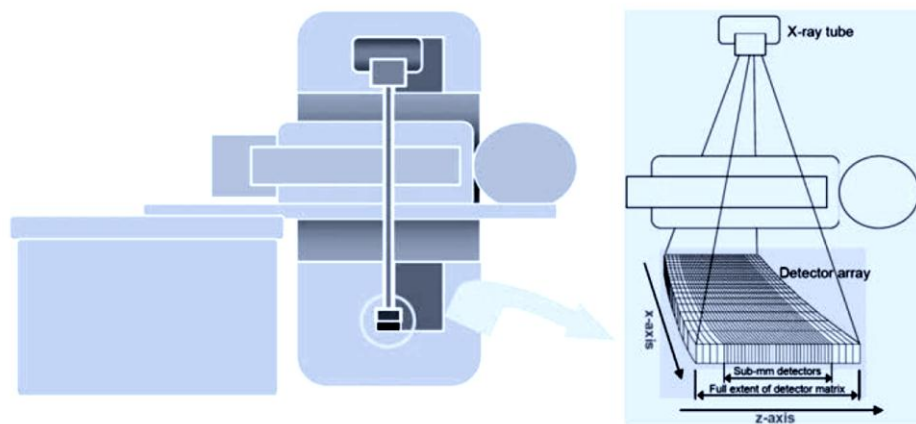
La imagen de tomografía computarizada es una visualización de la anatomía de un fino corte del cuerpo desarrollado a partir de múltiples determinaciones de absorción de rayos X realizadas alrededor de la periferia del cuerpo. ⁽⁵⁾

La formación de ésta imagen se limita a cortes transversales de la anatomía, orientados fundamentalmente de manera perpendicular

al eje del cuerpo. La reconstrucción de la imagen final puede obtenerse en cualquier plano.

Los componentes fundamentales de la tomografía computarizada son iguales que los aparatos de rayos X convencionales, como lo son el tubo generador de rayos X y un detector de radiaciones que miden la intensidad del haz emitido por el tubo, luego que atraviesa el objeto en estudio. Posteriormente los detectores mandan la información de la energía recibida a una computadora que calcula el grado de atenuación de los rayos X y por medio de algoritmos matemáticos convierte la información en imágenes manipulables para el diagnóstico médico. (Véase la imagen 1)

Imagen.- 1



Fuente (20)

El concepto fundamental en la tomografía computarizada es que la estructura interna de un objeto puede reconstruirse a partir de múltiples proyecciones del mismo. ⁽⁵⁾

Con el fin de obtener una imagen de corte transversal, el haz se limita a realizar un giro a través del paciente, en el caso de los escáneres de un solo detector se realiza con grosor de 0.5 a 10mm. Con cada giro del tubo alrededor del paciente se producen cientos de datos de la atenuación de los rayos X. Estos datos son usados para realizar una reconstrucción de la imagen transversal adquirida.

El tubo de rayos X y los detectores se localizan dentro del aparato del tomógrafo (gantry), opera entre los 80 a 140kV. El tubo puede generar más de 109 fotones por mm^2 por segundo a 75 centímetros desde el centro del tubo con ajustes típicos de (120 kV con 300mA).

El tubo de rayos X funciona típicamente con una tensión y corriente altos por largos periodos de tiempo, lo que requiere la rápida disipación de calor para evitar daños en el tubo.

El sistema de refrigeración del tubo está diseñado para controlar la temperatura pero también se necesita que la temperatura ambiente alrededor del escáner sea controlado con aire acondicionado para el funcionamiento óptimo. ⁽²⁰⁾

Los rayos X salen del tubo pasan por un filtro para eliminar los fotones de baja energía. Típicamente los filtros se utilizan para compensar las diferencias de atenuación dependiendo de la parte del cuerpo a estudiar. ⁽²⁰⁾

La anchura del colimador determina la amplitud del haz de rayos X. En la actualidad se cuenta con escáneres de hasta 320 detectores que funcionan de manera simultánea, éstos son conocidos como tomógrafos multidetector o multicorte.

En la actualidad se cuenta con tomógrafos de doble fuente de rayos X (TC-DS que viene del inglés dual Source TC), está conformado por dos fuentes con sus respectivos multidetectores. Las fuentes se encuentran desfasadas 90 grados, con ésta tecnología se adquieren imágenes de mejor calidad por el aumento en el número de detectores y se logran exploraciones en menor tiempo. Tomografía computarizada de energía dual (TC-ED), cuyo principio se basa en 2 tubos de rayos X, cada uno con sus respectivos detectores, colocados de forma perpendicular. Los tubos trabajan con diferente energía. Se utilizan 2 capas de detectores superpuestas y un único haz de rayos X. Los fotones de baja energía se absorben en la hoja superior del detector, mientras que los fotones de alta energía se recogen en la capa inferior del

detector, esta tecnología permite la discriminación de la composición de los materiales estudiados.

Los detectores de rayos X están conformados típicamente por una cámara de ionización usando xenón a alta presión o se utiliza un detector de centelleo. Los primeros tomógrafos utilizaban detectores de centello hechos de yoduro de sodio (NaI) o tungstato de cadmio (CdWO_4), posteriormente se utilizaron los detectores de xenón a alta presión y los más recientes están compuestos de cerámicas especiales como los de oxisulfuro de gadolinio o de óxido de gadolinio de itrio. La mejoría en la eficiencia de los detectores influye en la optimización de la absorción cuántica y una mejor respuesta con bajo resplandor. ⁽²⁰⁾ Existen nuevos tomógrafos que utilizan detectores planos (TC - FD que viene del inglés flat panel detector TC), utiliza detectores que convierten fotones de rayos X en fotones de luz. Los fotones de luz luego son convertidos a corriente eléctrica por fotodiodos, esta tecnología es utilizada en tomografía de seno.

Procedimientos de lectura.

La adquisición más simple es la proyección radiográfica de escaneo, que se conoce como escanograma. Ésta imagen se adquiere con la finalidad de planear el estudio de tomografía con el tubo de rayos X y el detector de movimiento en un plano con respecto al paciente. ⁽²⁰⁾

La tomografía computarizada en corte axial implica la adquisición de los datos de atenuación entorno a un paciente estático sobre la mesa de exploración. Esto asegura que todos los datos de la información estén en el mismo plano y se realice un rápido cálculo de reconstrucción. Posteriormente la mesa se mueve para permitir la adquisición de un nuevo segmento en una diferente región anatómica. ⁽²⁰⁾

La tomografía computarizada helicoidal o espiral, se logra cuando la exploración se realiza con la mesa en movimiento al mismo tiempo que se adquieren los datos de atenuación. Esto elimina algunos artefactos asociados con el movimiento respiratorio y permite que el tiempo del ciclo se reduzca considerablemente. ⁽²⁰⁾

La tomografía computarizada helicoidal multidetector realiza un proceso conocido como filtrado de Z. De esta manera se logra modificar el grosor del corte fotografiado, aumentado o

disminuyendo el espesor respecto a la adquisición inicial. Esto nos da la posibilidad de obtener numerosas series de imágenes de la adquisición inicial, de tal manera que aumentan los requerimientos de espacio de almacenamiento en el sistema. ⁽²⁰⁾

El parámetro clave que para la adquisición de la tomografía computarizada helicoidal es el PITCH, que se define como la distancia de desplazamiento de la mesa durante una rotación de 360° y la anchura total de la colimación de los rayos X. ⁽²⁰⁾

Conceptos de dosimetría.

Para calcular la dosis de radiación que absorbe el paciente durante el estudio de tomografía se utiliza el índice de dosis en tomografía computarizada o también llamado CTDI (del inglés Computed Tomography Dose Index). Se calcula dividiendo la integral de la dosis absorbida por el grosor de la sección estudiada medida de miligray (mGy), (estos datos son proporcionados por el equipo de tomografía). ⁽¹⁹⁾

El producto de longitud de dosis o DLP (que viene del inglés dose-length product) resulta del multiplicar la longitud de la exploración en centímetros por el CTDI medido en mGy/cm, que es proporcional a la radiación total absorbida. ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

DLP (mGy x cm) es igual a $CTDL_{vol}$ en mGy (dato establecido por equipo de tomografía) por la longitud de la exploración en cm. ⁽¹⁴⁾

La determinación de la dosis de radiación en los órganos y tejidos en general no se puede medir directamente; tienen que ser calculado por fórmulas de transporte de radiación, utilizando técnicas de simulación de medición como las de Monte Carlo y con modelos del cuerpo humano simulados por computadora. A los resultados de estos cálculos se les llama coeficientes de conversión de dosis de órganos, representado por una constante (K). ⁽¹⁹⁾

Dosis absorbida se define como la energía depositada por la radiación ionizante en la unidad de masa de un determinado material y medida en un punto específico, la unidad de medición es el Gray (Gy). ^{(5) (7)}

Dosis de entrada en superficie se define como el valor de la dosis absorbida en el aire, con retrodispersión, medido al centro del haz útil y en la superficie de entrada del paciente sometido a diagnóstico médico con rayos X. ⁽⁵⁾

La dosis efectiva hace referencia a la cantidad de radiación absorbida por un cuerpo multiplicada por el factor de conversión para diferentes órganos representado como una constante (K), refleja cómo ésta energía produce daño a los tejidos biológicos, de acuerdo con el tipo de radiación utilizada. ⁽⁷⁾ Evalúa el riesgo de

aparición de efectos estocásticos en el hombre, su unidad de medición es el Sievert (Sv o mSv).⁽⁸⁾

Cada tejido del cuerpo humano tiene un factor de ponderación que representa su sensibilidad a la radiación ionizante. (Véase tabla 1)

Las gónadas son más sensibles que el resto de los órganos, mientras que la piel y tejidos óseos tienen menor sensibilidad.

Cuando multiplicamos la dosis absorbida por dicho factor de ponderación, obtenemos la dosis efectiva, que representa la sensibilidad biológica del organismo a la radiación.⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

Tabla numero 1.

Órgano o tejido	Factor de ponderación
Gonadas	0.2
Mama	0.05
Colon	0.12
Medula roja	0.12
Pulmones	0.12
Estómago	0.12
Vejiga urinaria	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01

En la tabla 1 se muestra las constantes de dosis efectiva ponderada para los tejidos a estudiar. ⁽⁷⁾

En el caso de los estudios de tomografía computarizada, el cálculo de la dosis efectiva de radiación en mSv a la que se estima que un paciente pudo haber sido expuesto, se multiplica el producto de longitud de dosis (DLP) por un factor constante, pero distinto según la región anatómica explorada y la edad del paciente, se determina con el nombre de factor de dosis efectiva normalizada representada por la letra (K). ⁽¹³⁾

Tabla 2.-

Región anatómica	K (mSv x mGy ⁻¹ x cm ⁻¹)
Cabeza y cuello	0.0031
Cabeza	0.0021
Cuello	0.0059
Tórax	0.014
Abdomen y pelvis	0.015

En la tabla 2 se muestran las constantes de la dosis efectiva normalizada en tomografía en adultos, extraída del ICRP 2007. ⁽¹⁴⁾

Dosis efectiva (mSv) es igual al producto del DLP (mGy x cm) por K que es la dosis efectiva normalizada para la región explorada expresada en (mSv x mGy x cm). ⁽¹⁴⁾

Sólo bajo prescripción médica se podrá exponer a un ser humano a las radiaciones producidas por un equipo de rayos X y nunca por decisiones de carácter administrativo o de rutina. ⁽⁶⁾

En general la población desconoce los efectos de la radiación ionizante, las dosis de la misma a las que se someten los pacientes durante los estudios de tomografía computarizada y sus riesgos potenciales. En un estudio publicado por Lee y su grupo reportó que 64% de los pacientes, 56% de los radiólogos y 44% de los médicos de urgencias creían que una tomografía computarizada de abdomen equivalía a menos de 10 radiografías de tórax. Una radiografía de tórax en proyección posteroanterior equivale una radiación de 0.02 mSv que es igual a exponerse a 2.4 días de radiación de fondo, es decir, a la radiación que recibimos, entre otras fuentes, del cosmos y de los elementos radioactivos que naturalmente se encuentran en la tierra. La dosis efectiva promedio de un estudio de TC de abdomen es de 10 mSv, que equivale a 500 radiografías de tórax y a 3.3 años de radiación de fondo. ⁽¹⁶⁾

Se preguntó a los radiólogos si creían que el riesgo de padecer cáncer a lo largo de la vida podía incrementarse después de una tomografía computarizada abdominal y sólo la mitad de los radiólogos pareció estar parcialmente consiente de tal posibilidad, mientras que la mayoría de los pacientes y de los médicos de urgencias no creían que tuvieran relación. ⁽¹⁷⁾

La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) establece que el riesgo de desarrollar cáncer a lo largo de la vida después de una tomografía computarizada con una dosis efectiva de 10 mSv podría ser de hasta 1 en 2 000; pero que este riesgo, pequeño para un individuo, se convierte en un problema de salud pública si se somete a un gran número de personas a este procedimiento. Más aún cuando el beneficio del mismo podría ser incierto. ⁽¹⁶⁾

Los efectos biológicos de la radiación ionizante se clasifican en dos tipos dependiendo de la dosis efectiva según la norma oficial Mexicana 229 de protección radiológica en efectos estocásticos y determinísticos. ⁽⁶⁾

La radiación electromagnética utilizada clínicamente es acumulativa de forma lineal.

La radiosensibilidad es el grado o probabilidad de respuesta celular de acuerdo a la dosis de radiación ionizante fija.

Las células más sensibles son las que tienen mayor índice de reproducción celular, periodo de fase mitótica más largo y que tengan menor grado de diferenciación. ⁽³⁾

El efecto de las radiaciones ionizantes sobre las células es siempre lesivo (en mayor o menor grado dependiendo de la dosis y el tipo de radiación). Estos efectos se suelen dividir en:

Físicos: se produce de modo instantáneo (en nanosegundos) por la interacción de la radiación con los átomos del tejido. Los electrones secundarios producen más ionizaciones hasta que se termalizan. Una dosis de 1Gy produce 10^5 ionizaciones en un volumen celular de 10micrones de diámetro.

Químicos: se producen ionizaciones en las moléculas, se rompen enlaces químicos y se liberan radicales libres altamente reactivos, estos procesos suelen ser rápidos.

Fase biológica: muchos de los daños químicos (incluso el ADN) son reparados posteriormente mediante reacciones enzimáticas. Algunas lesiones no son reparadas y pueden conducir a la muerte celular bien por su gravedad o por su número. Los efectos radioinducidos suelen tardar semanas o meses en aparecer. Los

efectos como carcinogénesis pueden tardar varios años tras la exposición a la radiación. ^{(3) (18)}

La radiosensibilidad de los tejidos del cuerpo humano depende de la radiosensibilidad de las células que los componen. Suelen clasificarse en cinco categorías como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla .- 3

Radiosensibilidad de los tejidos del cuerpo humano.	
Alto	Tejido linfoide, médula ósea, epitelios espermatozógenos, ovárico folicular e intestinal
Media / alta	Faringe, epitelios de la epidermis, folículo piloso, vejiga urinaria, esófago, uréteres, tejido gástrico y cristalino.
Media	Cartílago maduro óseo, epitelio glandular mucoso y seroso de las glándulas salivales y sudoríparas, nasofaríngeas, hepática, pancreática, pituitaria, tiroideas y adrenales.
Media / baja	Sistema nervioso, tejido vascular fino, cartílago de crecimiento de los huesos.
Baja	Tejido muscular y neuronal.

Fuente.- ^{(3) (18)}

El uso de tomografía computarizada en adultos que experimentan síntomas de enfermedades o lesiones está ampliamente aceptada, y se ha extendido sustancialmente en las últimas décadas. El comité del para los efectos biológicos de la radiación ionizante (BEIR VII que viene del inglés biological effects of ionizing radiation) recomienda que entre las medidas de protección, se realicen estudios lo más cortos posibles especialmente en niños. ⁽¹⁸⁾

Planteamiento del problema

En el hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez se cuenta con el servicio de Radiodiagnóstico, el número de estudios de tomografía que se realiza anualmente es de 2651, de los cuales se encuentran las tomografías de cráneo en primer lugar con 1015 (38.2%), tomografía de abdomen en segundo lugar 789 (29.7%) y tórax en tercer lugar 497 (18.7%). La dosis de radiación efectiva promedio en un estudio de tomografía de abdomen es de 10 mSv que equivale a 500 tele radiografías de tórax y a una exposición a la radiación ambiental de 4.5 años.

¿Cuál es la radiación de dosis efectiva recibida en los pacientes que se les realiza estudio de tomografía computarizada abdominal en el periodo de 1 marzo al 30 de abril del 2014 en el hospital de especialidades del Distrito federal Dr. Belisario Domínguez?

Justificación

Los efectos biológicos de la radiación ionizante se clasifican en dos tipos dependiendo de la dosis efectiva según la norma oficial Mexicana 229 de protección radiológica en efectos estocásticos y determinísticos. La radiación electromagnética utilizada clínicamente es acumulativa de forma lineal.

Existen múltiples estudios clínicos que reportan patologías dérmicas, neoplásicas y de tipo inmunológico secundarios a la exposición a radiación ionizante. El riesgo de presentar estas alteraciones es inversamente proporcional a la edad del paciente y más frecuente en mujeres que en hombres. La medición de la dosis de radiación efectiva se realiza utilizando la dosis de radiación absorbida en la superficie del paciente mGy multiplicándola por el PITCH y utilizando la constante de calidad de las tablas europeas. Es necesario realizar un registro de la dosis de radiación equivalente efectiva recibida para poder realizar estrategias para limitar la exposición indebida de los pacientes del hospital de especialidades Belisario Domínguez

Hipótesis.

Existe una sobreexposición a la radiación ionizante a los pacientes que se les realiza estudio de tomografía de abdomen incumpliendo la norma oficial Mexicana 229, se debe realizar un registro sistematizado de la dosis efectiva administrada a los pacientes y desarrollar estrategias para minimizar la dosis.

Objetivo general

Conocer la dosis equivalente efectiva recibida por los pacientes en el estudio de tomografía de abdomen del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez.

Objetivos específicos.

Determinar si existe cumplimiento de la norma oficial mexicana 229 respecto a la dosis de radiación efectiva recibida por los pacientes adultos del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez.

Metodología.

Área de investigación clínica epidemiológica, diseño de estudio analítico transversal descriptivo.

Universo finito, pacientes mayores de 18 años usuarios del sistema de salud del Distrito Federal.

Criterios de inclusión: pacientes hombres y mujeres que acudan al servicio de radiología a realización de tomografía computarizada de abdomen, y que sean mayores de 18 años.

Tipo de muestreo: por conveniencia.

Operacionalización de las variables.

VARIABLE/CATEGORÍA (Índice/indicador)	TIPO	DEFINICIÓN OPERACIONAL	ESCALA DE MEDICIÓN	CALIFICACIÓN
Sexo	Contexto	Característica genotípica del individuo, relativa a su papel reproductivo y a su condición orgánica	Cuantitativa / nominal.	Femenino / Masculino
Edad	Contexto	Periodo de tiempo comprendido entre la fecha de nacimiento hasta la fecha de estudio.	Cuantitativa / continua.	Edad en años.
Dosis efectiva.	Dependiente.	Resultado del producto de la multiplicación de la longitud de dosis por factor ponderal de tejido normalizado.	Cuantitativa/ Compleja	(mSv)
(DLP) producto de longitud de dosis.	Dependiente.	Resultado del producto de la multiplicación de índice de dosis en tomografía volumen por longitud de exploración	Cuantitativa/ Compleja	(mGy * cm)
(CTDI vol.) Índice de dosis de tomografía volumen	Dependiente.	Resultado de la suma de la radiación absorbida medida en los ejes X, Y y Z en el equipo de tomografía.	Cuantitativa/ Compleja.	(mGy)

Análisis estadístico.

Se realizó un estudio analítico transversal descriptivo, con un universo finito, muestreo por conveniencia en pacientes mayores de 18 años usuarios del sistema de salud del Distrito Federal, se procedió a la recolección de datos en el periodo de 1 marzo al 30 de mayo, calculando la dosis efectiva medida en mSv en los pacientes sometidos a estudio de tomografía computarizada de abdomen en el hospital de especialidades de distrito federal “Dr. Belisario Domínguez”. Las variables cualitativas se describieron en frecuencias absolutas y relativas. Las variables cuantitativas se describieron en media, mediana y desviación estándar como medida de dispersión.

Se utilizó el software Microsoft Excel para realizar las tablas de frecuencias y gráficas.

Aspectos éticos y de bioseguridad

De acuerdo con el reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud de los Estados Unidos Mexicanos en el Título segundo de los Aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos, Capítulo I y los principios de Helsinsky, esta investigación está catalogada como de riesgo mínimo, ya que no implica intervenciones o procedimientos adicionales en los pacientes más allá de lo descrito en la investigación, con la necesidad únicamente de aprobación y firma del consentimiento informado, así como la aprobación del comité de ética correspondiente; dicho lo anterior no se necesitan medidas de bioseguridad para los sujetos de estudio, investigadores o personal participante.

Aspectos logísticos

Etapas del estudio:

Posterior a la elección y aceptación del tema a investigar, se procede a la recolección de datos en los meses establecidos marzo, abril y mayo. Los estudios serán solicitados por el médico tratante, será evaluada y autorizada por el médico radiólogo. Se buscará en la base de datos del servicio de radiología del hospital de especialidades del Distrito Federal los estudios de tomografía computarizada de abdomen realizados en los meses previamente establecidos, guardando en la hoja de recolección de datos.

Se procederá al llenado de la recolección de datos, tomando en cuenta el sexo, edad, CDTvol, DLP, posteriormente se realizan los cálculos de la dosis efectiva en cada paciente.

Recursos humanos:

- Médicos de base adscritos al área de tomografía computarizada.
- Médicos residentes de radiología que estén rotando en el área de tomografía.
- Personal de enfermería asignada al área de la tomografía.
- Asesor metodológico.
- Investigador principal.

Recursos materiales:

1.- Tomógrafo Siemens Emotion 6

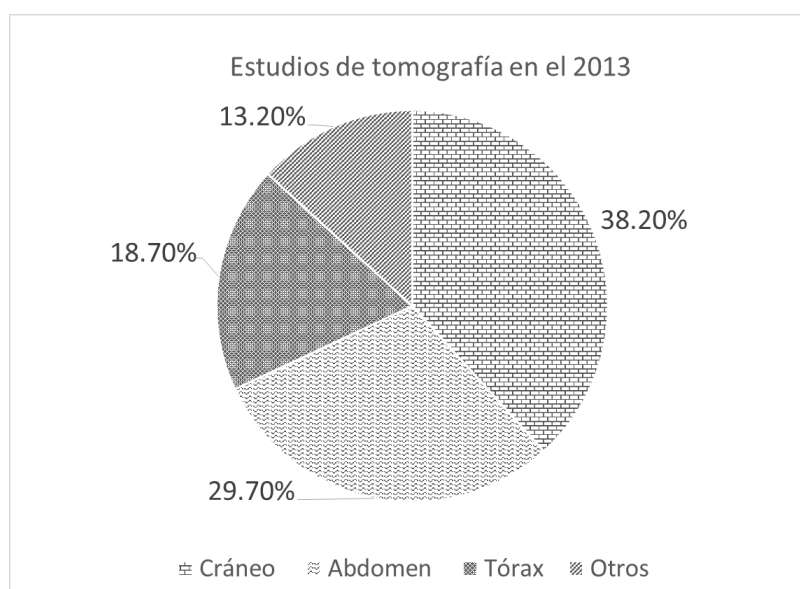
2.- Software Syngo somaris 5 CT 2007

Recursos físicos:

Localizado en el servicio de radiología e imagen del hospital de especialidades del Distrito Federal.

Resultados

Se revisaron los archivos de estadística del servicio de radiología e imagen del hospital de especialidades del Distrito Federal encontrando que en el 2013 se realizaron 2651 estudios de tomografía, 1015 estudios fueron de cráneo, 789 estudios de abdomen, 497 de tórax y 350 de otros estudios. (Grafica 1.)



Gráfica 1.- fuente: base de datos de la investigación.

En el estudio realizado en el Hospital de especialidades del Distrito Federal en el periodo comprendido del 1 de marzo al 30 mayo del 2014; se obtuvo el cálculo de la dosis efectiva en 80 pacientes, de los cuales 45 fueron mujeres con una edad máxima de 83 años y edad mínima de 18 años con una media de 48.6 años, 35 pacientes

fueron hombres con una edad media de 47.5 años (mínima de 18 y máxima 93).

Se procedió al cálculo de la dosis efectiva en cada paciente multiplicando el producto de longitud de dosis (DLP) por el factor de ponderación de dosis normalizado en la región explorada (k). Se encontró que la dosis efectiva promedio fue de 6.8mSv (DE \pm 3.1), el paciente que recibió la mayor dosis fue de 17.8mSv y el que recibió menos fue de 2mSv, en mujeres la dosis efectiva promedio fue de 6.7mSv y en hombres fue de 6.8mSv.

Las pacientes femeninas mayores de 70 años recibieron una dosis efectiva de 8.5mSv en promedio (DE \pm 3.0), en el grupo de hombres el rango de pacientes con mayor dosis de radiación efectiva fue el de 31 a 50 años con una dosis promedio de 7.1mSv (DE \pm 2.3) como lo describe la tabla 4.

Tabla.- 4

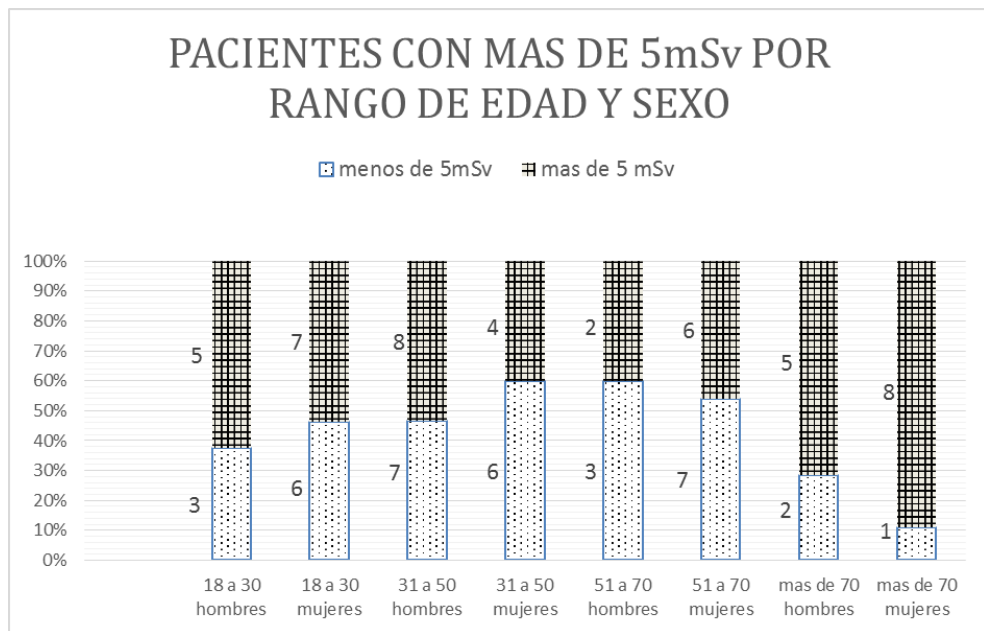
Grupos de edad (años)	Hombres		Mujeres		Total	
	Número	DOSIS mSv (DE+-)	Número	DOSIS mSv (DE+-)	Número	Dosis mSv
18 a 30	8	6.7 (2.9)	13	6.7 (3.1)	21	6.74
31 a 50	15	7.1 (2.3)	10	6.7 (4.6)	25	6.95
51 a 70	5	7 (4.3)	13	5.8 (2.2)	18	6.42
más de 70	7	5.7(1.6)	9	8.5 (3.06)	16	7.15
					80	6.82

Fuente base de datos generada por la investigación.

De la población estudiada; 35 (44%) pacientes recibieron una dosis efectiva total de menos de 5mSv con una dosis promedio de 3.9mSv, el 56% de todos los pacientes estudiados (45 sujetos) obtuvieron una dosis mayor a 5mSv con una dosis promedio de 9mSv.

En la gráfica 2 se puede observar el número de paciente que sobrepasan los 5mSv en un estudio de tomografía de abdomen, agrupados por rango de edad y sexo.

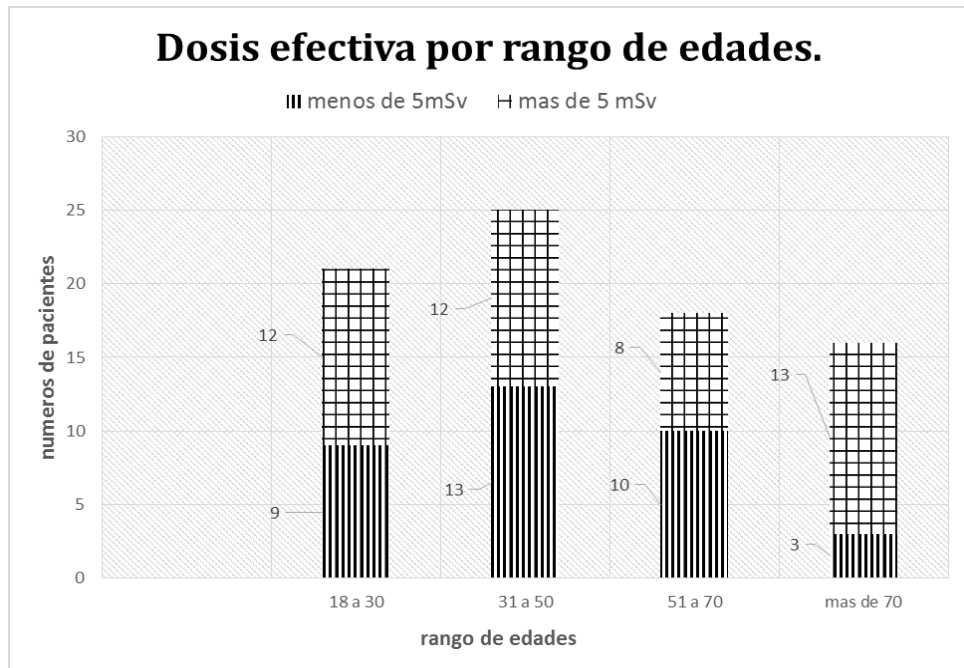
Grafica 2.-



Fuente de datos generada por la investigación.

Grafica 3.el número total de pacientes que sobrepasan la dosis efectiva de 5mSv clasificados por rango de edad incluyendo hombres y mujeres

Grafica 3.-



Fuente base de datos generada en la investigación.

Discusión.

El estudio realizado arroja datos concluyentes que nos revelan que el 56% de los pacientes que son sometidos a un estudio de tomografía de abdomen en el hospital de especialidades del distrito federal “Dr. Belisario Domínguez”, reciben una dosis de radiación efectiva mayor de 5mSv, en el grupo de pacientes del sexo femenino 25 pacientes (55%) recibieron en promedio 9.1 mSv y 20 pacientes (45%) 3.9mSv. En el grupo de pacientes masculinos 20 de ellos (57%) recibieron 8.8mSv en promedio y 15 (42.8%) 3.9mSv en promedio respectivamente.

No existe diferencia estadísticamente significativa entre la dosis efectiva recibida entre los grupos de pacientes estudiados, observándose una amplia dispersión de los datos con una dosis mínima de 2mSv, una dosis máxima de 17.8mSv y un promedio total de 6.8mSv, el grupo que recibió mayor dosis efectiva fueron las mujeres de más de 70 años con 8.5mSv.

De acuerdo 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 diagnóstico médico con rayos X, que indica en el numeral 18.4 que la dosis por estudio radiológico se debe limitar a 5 mSv.

Existe un incumplimiento a dicha norma, por lo cual se deben realizar estrategias para disminuir la dosis efectiva recibida por los pacientes en los estudios de tomografía computarizada de abdomen.

Son muchos los factores que intervienen en la determinación final de la dosis efectiva recibida en los pacientes que se someten a estudios de tomografía, entre las acciones que podemos implementar de manera inmediata son;

Utilizar un equipo de tomografía más moderno con un mayor número de detectores para aumentar la velocidad del PITCH y disminuir el tiempo de exposición.

Apegarnos al principio de ALARA (As Low As Reasonably Achievable) evitando la realización de estudios no necesarios.

En el caso de los pacientes pediátricos se deben de utilizar herramientas informáticas para calcular los miliamperios y la kilovolts necesarios de acuerdo al índice de masa corporal sin modificar la calidad del estudio.

Es necesario diseñar herramientas de registro de la dosis efectiva recibida en los pacientes sometidos a estudios de tomografía o cualquier otro estudio que utilice radiación ionizante.

Bibliografía

1. **Serreta, antonio Brosed.** *Fundamentos de Física Médica.* Madrid, España : ADI servicios editoriales, 2012.
2. **J.L. del Cura, S. Pedraza, A. Gavete.** *Radiología esencial Tomo 1.* Buenos Aires, Madrid : Panamericana, 2009.
3. **Gómez, Faustino.** *Dosimetria y radioprotección.* Compostela, España : Dpto. Física de Partículas, Facultad de Física, Univesidad de santiago, 2008 - 2009.
4. **Peregrina Morales, Alfonso.** *Curso de proteccion y seguridad radiológica el diagnóstico médico con rayos nivel POE.* Mexico D.F. : Asesoría Integral de Seguridad Radiológica., 2010.
5. **Haaga, J.R.** *TC y RM Diagnóstico por imagen del cuerpo humano* . Madrid, España : Elsevier, 2011.
6. **NORMA Oficial Mexicana, NOM-229-SSA1-2002.** *Salud ambiental. Requisitos técnicos para la instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.* s.l. : DIARIO OFICIAL., Viernes 15 de septiembre de 2006.
7. **REPORT OF THE UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE , ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION TO THE GENERAL**

ASSEMBLY. *Dose Assessment methodologies.* s.l. : UNSCEAR reports., 2010.

8. **Verndun F, Bochud F, Gudinchet F, Quality.** *Radiation Risk, What you shoul know to tell your patients.* s.l. : RadioGraphics., 2008; 28:807-1816.

9. **McNitt-Gray MF.** *AAPM/RSNA Physics tutorial for Residents: Topics in CT. Radiation dose in CT.* s.l. : RadioGraphics, 2002; 22(6): 1541-1553.

10. **Wrixon AD.** . *New ICRP recommendations.* . s.l. : J Radiol Prot, 2008;28(2):161-168.

11. **McCollough CH, Leng S, Yu L, Cody DD, Boone JM,.** *CT dose index and patient dose; they are not the same thing.* s.l. : Radiology, 2011:259(2) :311316.

12. **96, AAPM report.** *Measurement, reporting, and management of radiation dose in CT:* . s.l. : Report AAPM task group 23, 2010.

13. **Bongartz G, Golding SJ, Jurink AG, Leonardi M, .** *European Guidelines for Multislice Computed Tomography.* . s.l. : Funded by European Commission , 2004.

14. **Protection, The International Commission on Radiological.** *The 2007 Recommendations of the International.* s.l. : Elsevier, 2007.

15. **Sodickson A et al.** *Recurrent CT, cumulative radiation exposure, and associated radiation-induced cancer risk from CT.* s.l. : Radiology, 2009; 251(1): 175-184. .
16. **Food and Drugs Administration.** *What are the radiation risks from CT?* s.l. : Food and Drugs Administration, 2002.
17. **Lee, Cl et al.** *Diagnostic CT scans: assessmen of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks.* s.l. : Radiology, 2004; 231(2): 393-398.
18. **Committee to Assess Health Risks from Exposure to, low levels of ionizing Radiation, Nacional Reserch Council.** *Health Risks from Exposure to Low Levels of ionizing Radiation; BIER VII - Phase 2.* s.l. : National research council of the national academies, 2006.
19. **M.F. Reiser, C.R. Becker, K. Nikolaou.** *Multislice.* s.l. : Springer, 2011.
20. **IAEA.** *Quality assurance programme for computed tomography: diagnostic and therapy applications.* VIENA : IAEA HUMAN HEALTH SERIES, 2012.

Anexos

Consentimiento informado.



Secretaría de Salud del Gobierno del Distrito Federal
"HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DE LA CIUDAD DE MÉXICO DR.
BELISARIO DOMÍNGUEZ "
Servicio de Radiología e Imagen

Carta de consentimiento informado

México D.F., a día ____ mes ____ año ____.

A quien corresponda.

Por medio de la presente, a través de la Ley General de salud en materia de investigación para la salud de los Estados Unidos Mexicanos en el Título primero de Disposiciones Generales, Capítulo único. Yo _____, declaro libre y voluntariamente que acepto participar en el estudio. "Medición de la dosis de radiación efectiva en tomografía computarizada de abdomen en pacientes adultos del hospital de especialidad del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez", que se realiza en esta institución y cuyos objetivos consisten en conocer la dosis equivalente efectiva recibida por los pacientes en el estudio de tomografía de abdomen del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez y determinar si existe cumplimiento de la norma oficial mexicana 229 respecto a la dosis de radiación efectiva recibida por los pacientes adultos del hospital de especialidades del Distrito Federal Dr. Belisario Domínguez.

El equipo médico del área me ha proporcionado la información respecto al diagnóstico, el estudio a realizar, los posibles efectos adversos y complicaciones que implican la realización de éste estudio.

Se me ha permitido externar las dudas surgidas a partir de la explicación previa, las cuales han sido respondidas satisfactoriamente y he comprendido claramente los alcances, riesgos y alternativas del estudio a realizar.

Nombre		Firma:
(En caso de ser necesario, datos del padre, tutor o representante legal.)		
Domicilio:	Teléfono:	

C.C.P. paciente o familiar

C.C.P. investigador (conservar en el expediente de información)

Hoja de recolección de datos.



Hoja de recolección de datos.					
Nombre del paciente:					
Sexo					
Edad					
CDTvol(mGy)					
DLP (mGy x cm)					
Dosis Efectiva.					

Cronograma.

Cronograma de Actividades							
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio
Marco teorico	xx						
Diseño del protocolo		xx					
Comité local		xx					
Recoleccion de datos			xx	xx	xx		
Analisis de resultados						xx	
Redaccion manuscrito						xx	
Envio del manuscrito.							xx