



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA

“Análisis de dosis efectivas máximas de radiación ionizante en pacientes con estudios de tomografía bajo criterio ALARA durante el período de un año en el Hospital Médica Sur, en relación con las dosis en astronautas en misiones interplanetarias tripuladas, con duración de un año: Tierra – Marte – Tierra”.

TESIS

Que para obtener el título de
**ESPECIALISTA EN IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y
TERAPÉUTICA**

PRESENTA

Dra. María Guadalupe Santoyo Llamas

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Jorge Guerrero Ixtláhuac

M.C. Jorge Patricio Castillo López

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Agosto de 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	4
2. SEDE.	4
3. ANTECEDENTES.	4
3.1. RADIACIÓN	4
3.2. RADIACIÓN IONIZANTE	6
3.3. RADIACIÓN IONIZANTE EN MÉTODOS DE IMAGEN DIAGNÓSTICO – TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA-	7
3.4. CÁLCULO DE DOSIS EFECTIVA (DE) EN TOMOGRAFÍA	13
3.5. USO DE MEDIO DE CONTRASTE EN ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA Y LA DOSIS DE RADIACIÓN	15
3.6. CARRERA ESPACIAL	16
4. MARCO DE REFERENCIA.	18
4.1. DOSIS DE RADIACIÓN EN TOMOGRAFÍA	18
4.2. VIAJES INTERPLANETARIOS	19
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
6. JUSTIFICACIÓN.	21
7. OBJETIVO.	21
8. HIPÓTESIS	22
9. DISEÑO.	22
10. MATERIALES Y MÉTODO.	22
10.1. UNIVERSO DE ESTUDIO. POBLACIÓN DE ESTUDIO.	22
10.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA.	23
10.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN.	23
10.3.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.	23
10.3.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.	23
10.3.3 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN.	23
10.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES.	23
10.5. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS.	24
10.6. CALENDARIO.	25
10.7. RECURSOS.	25
10.7. 1. RECURSOS HUMANOS.	25
10.7.2. RECURSOS MATERIALES.	26
11. VALIDACIÓN DE DATOS.	26

<u>12. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS</u>	<u>26</u>
<u>13. CONSIDERACIONES ÉTICAS</u>	<u>26</u>
<u>14. ANÁLISIS DE DATOS</u>	<u>27</u>
<u>15. DISCUSIÓN</u>	<u>45</u>
<u>16. CONCLUSIONES</u>	<u>57</u>
<u>17. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.</u>	<u>60</u>
<u>18. ÍNDICE DE ECUACIONES</u>	<u>64</u>
<u>19. ÍNDICE DE TABLAS</u>	<u>64</u>
<u>20. ÍNDICE DE FIGURAS</u>	<u>65</u>

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Epidemiológica

2. SEDE.

Departamento de Imagen Diagnóstica y Terapéutica, Hospital Médica Sur

3. ANTECEDENTES.

3.1. RADIACIÓN

La radiación es energía que viaja a través del espacio. En materia de la imagen en medicina se utilizan dos tipos de radiación, la electromagnética y la emitida por partículas. La radiación es la propagación de la energía en forma de partículas u ondas. Puede ser secundaria a fuerza eléctricas o magnéticas, radiación electromagnética. Sin embargo la materia es capaz de emitir radiación, ya que está compuesta por átomos, conformados a su vez por un núcleo con protones (partículas de carga positiva) y neutrones (partículas sin carga eléctrica), y a su alrededor orbitan electrones (partícula de carga negativa). Si en un átomo la cantidad de protones iguala a la de electrones, entonces la carga eléctrica total del átomo será cero. De lo contrario el átomo tendrá una carga eléctrica, por lo que se denominará ion.

Particularmente para el motivo de estudio se describirá la radiación electromagnética.

La radiación electromagnética se caracteriza por no tener masa, ni ser afectada por campos magnéticos y tienen una velocidad constante en cierto medio. La radiación electromagnética viaja en trayectos de lineales, aunque puede ser esta trayectoria alterada al interactuar con la materia. Pues, al interactuar la radiación con la materia, se describen, los fenómenos de: Dispersion (cambio de trayectoria), Absorción (remover radiación) y Transformación (conversion de energía a masa).

Existen dos formas para describir la radiacion por energía electromagnética como ondas o como quanta llamada: fotones. La

energía electromagnética tiene por características, longitud de onda, frecuencia y energía por fotón.

Esto hace referencia a la mecánica cuántica, donde: todas las partículas tienen propiedades de ondas y todas las ondas tienen propiedad de partículas: dualidad.

Características de onda:

Amplitud de onda: es la intensidad de la onda.

Longitud de onda (λ): es la distancia entre dos puntos iguales en ciclos continuos.

Tiempo (T): se refiere al tiempo requerido para completar un ciclo de la onda.

Frecuencia (ν): es el número de periodos que ocurren por segundo .

Características de partícula

En energía electromagnética, el cuanta, son llamados fotones. La energía de un fotón es dada por:

$$E = (h)(\nu) = (h)(c) \div \lambda$$

Ecuación 1. Energía electromagnética

$h =$ constante de Plack = 6.626×10^{-34} J-s = 4.136×10^{-18} keVs

$E =$ keV u $\lambda =$ nm(nanómetros)

La energía de los fotones se expresa en electron volts (eV^1).

Un electron volt se define como la energía adquirida por un electron al atravesar un diferencial de potencial eléctrico (Voltaje) de 1 volt en el vacío.

También se hace alusión a la teoría de la relatividad, donde se expresa que la masa y la energía son dos aspectos de una misma entidad, y los cuales son intercambiables.

Esta relación se expresa

$$E = mc^2$$

Ecuación 2. Teoría de la relatividad

$E =$ (J) donde 1 J es la energía equivalente a una masa (m) en reposo y $c =$ a la velocidad de la Luz en el vacío (2.998×10^8 m/s)

3.2. RADIACIÓN IONIZANTE

La radiación ionizante se define como las partículas subatómicas o fotones energéticamente capaces de mover de forma directa o indirecta un electrón de su órbita. Es decir, son fotones capaces de ionizar un átomo, ya que debido a su alta energía mueven un electrón fuera de su órbita, generando un átomo con carga eléctrica neta positiva, y el balance de electrones será menos uno, sin modificarse la cantidad de protones. Mientras la radiación no ionizante, son fotones sin la energía suficiente para mover electrones de sus órbitas. Se caracterizan por un efecto de excitación y no de ionización. (Hall & Giaccia, n.d.; Shapiro, 2002)

La principal característica física de la ionización es la disipación de energía, aproximadamente 33 eV¹, lo cual es capaz de romper enlaces que unen átomos y forman moléculas; (Hall & Giaccia, n.d.; Shapiro, 2002) por esto su importancia en efectos como el daño en moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN), que es el conjunto de información necesario para que un organismo viva, funcione y se reproduzca adecuadamente. Una reparación no adecuada de daños al ADN puede crear radicales libres y mal funcionamiento a nivel molecular, que se expresa en enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, artritis reumatoide, etcétera.

Entendamos a la radiación como energía en tránsito, la cual viaja en partículas subatómicas de la materia, como son electrones, neutrones, protones, etcétera, y fotones, que son parte de la energía electromagnética: ondas de radio, microondas, rayos X, gamma, ultravioleta, etcétera. (Huff, 2014; Shapiro, 2002)

Los rayos X son radiación electromagnética emitida por los electrones excitados de su órbita, son considerados de baja transferencia de energía lineal (LET, por sus siglas en inglés, Linear Energy Transfer), < 10 keV/μm. Esto se refiere al promedio de energía aplicada localmente a un medio por una partícula cargada con una específica energía por unidad de distancia que atraviesa, lo que mide en los pares de iones generados por centímetro de tejido que atraviesa. Una baja LET producen una ionización uniforme a través del tejido, mientras un alto LET causa daño más difusos en los tejidos. (Huff, 2014)

¹ (eV) electrón – volt: es la energía que un electrón adquiere al pasar a través de una diferencia de potencial de exactamente un volt.

El Gray (Gy) es la unidad del Sistema Internacional de Medida de la dosis de radiación ionizante absorbida. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule (J) de energía ionizante absorbida} \times 1 \text{ kilogramo (kg)}$.

La dosis de radiación es la cantidad de energía absorbida por un medio, en este caso tomaremos en el medio como el cuerpo humano o incluso un órgano o tejido en específico.

Un equivalente de Gy (Gy-Eq) es la medida de la capacidad de que la radiación ionizante cause efectos determinísticos. $\text{Gy-Eq} = \text{Gy} \times \text{RBE}$ (Efectos biológicos por la radiación)

Órgano dosis equivalente (ODE) es el total de dosis absorbida por un tejido u órgano. Dosis efectiva (E) $\text{DE} = \text{Gy} \times \text{factor específico de cada tejido u órgano}$, medida en Sieverts ²(Sv)

Dosis Equivalente (DEq) es el total de la dosis absorbida en cada tejido y multiplicada por un factor de calidad de radiación (Q), que en rayos X, $Q=1$. En múltiples eventos de exposición a la radiación, la dosis equivalente es la suma de dosis equivalentes individuales.

La dosis equivalente es medida en Sieverts (Sv) y está relacionada en la población con estudios a largo plazo de riesgo de presentar cáncer.

3.3. RADIACIÓN IONIZANTE EN MÉTODOS DE IMAGEN DIAGNÓSTICO – TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA-

La tomografía axial computarizada (TAC) es una herramienta de imagen diagnóstica que utiliza radiación ionizante. Su uso ha aumentado de forma significativa debido a su alta sensibilidad y especificidad para diferentes padecimientos en diversas áreas de la medicina, así como los avances tecnológicos y disponibilidad de la misma.

En el mundo durante el período de 2000 – 2007 se estimaron 3.6 mil millones de procedimientos médicos con radiación ionizante, de estos 3.1 mil millones del área de radiología diagnóstica. La tomografía representa alrededor del 50% de la dosis de radiación ionizante recibida debido al

² Sievert: es una unidad del Sistema Internacional, que mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. 1 Sv es equivalente a un julio por cada kilogramo (J kg^{-1}).

uso médico. En los Estados Unidos sólo en 2006 se estimaron más de 377 millones de estudios de radiología diagnóstica y terapéutica y 18 millones de de estudios de medicina nuclear, en comparación con un total de 3 millones realizadas en 1980. Lo cual representa un aumento de 600% en una generación y una dosis efectiva promedio en la población de Estados Unidos de 3.0mSv.³ (Costello, Cecava, Tucker, & Bau, 2013; Hendee et al., 2010; Huda & Mettler, 2011; Maldjian & Goldman, 2013; Mettler et al., 2009).

Sin embargo no muchos años después del descubrimiento de la radiación ionizante (1890), se observó que la exposición a altas dosis no son saludables, por lo que se describen diferentes efectos biológicos cuando la radiación ionizante transfiere energía a un sistema, en relación a sus dosis absorbidas, dividiéndose en aquellos dependientes de la dosis como los efectos determinísticos⁴ y los independientes de la dosis como los efectos estocásticos⁵. Estos efectos biológicos observados en la población después de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki durante la segunda Guerra Mundial, significaron un hito para la protección de la radiación ionizante. Así es como la evolución del Proyecto Manhattan en 1954 se funda el Comité Nacional de Protección en Radiación (NCRP) por sus siglas en inglés, hoy conocido como Consejo Nacional de Protección y Medidas de Radiación (NCRP), que en ese año emite en su reporte “al mínimo nivel práctico” y que es adoptado por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés) “tan bajo como sea posible”/”As Low as Possible”. La ICRP también publica en relación a los pacientes: “la exposición a radiación del paciente debe reducirse tanto como sea posible para obtener diagnóstico, investigación y tratamiento satisfactorios.”. (Boone et al., 2012; Huda, Magill, & He, 2011; Miller & Schauer, 2015; Shapiro, 2002) Durante la publicación de los siguientes años de la ICRP este concepto sufrió de modificaciones gramaticales preservando su concepto, el día de hoy es vigente la publicación 26, de 1977:

³ mSv: mili Sieverts

⁴ Efectos determinísticos: son los que se producen cuando cierto órgano recibe una dosis que supera un valor mínimo. Se presentan generalmente después de la exposición, no suelen ser fatales, sin embargo su severidad es en relación a la dosis recibida. Ejemplo: cataratas, esterilidad, etcétera.

⁵ Efectos estocásticos: son aquellos que ocurren al azar, pueden ocurrir dependiendo de la dosis expuesta. Son efectos relacionados a la acumulación de dosis a través del tiempo, que podrán observarse en el tiempo o en las siguientes generaciones. Ejemplo: cáncer.

“As Low As Reasonably Achievable, economic and social factor being taken into account.” - “Tan bajo como sea razonablemente posible, incluyendo los factores económicos y sociales” - ; criterio ALARA, por sus siglas en inglés.

Pero, no es sino hasta 1996, en la publicación 73 de la ICRP, cuando este criterio ALARA se aplica en materia de la Imagen diagnóstica en medicina, utilizando los niveles de referencia diagnóstica (DRL, por sus siglas en inglés). Y en 2007 se define el principio de optimización de protección radiológica: La probabilidad de incurrir en exposiciones, la cantidad de personas expuestas y la magnitud de sus dosis individuales deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible, incluyendo los factores económicos y sociales ", es decir que el objetivo es utilizar la dosis de radiación ionizante apropiada para obtener la imagen diagnóstico o tratamiento deseado. (Boone et al., 2012; Huda et al., 2011; Miller & Schauer, 2015; Shapiro, 2002)

La Dosis efectiva (DE) es un parámetro que refleja el riesgo de una exposición no uniforme de cuerpo completo. Es un parámetro de la ICRP que permite conceptualizar la irradiación parcial del cuerpo relativo a la irradiación de cuerpo entero, con fines comparativos de riesgos por la radiación y permite la comparación de dosis efectivas de diferentes fuentes de radiaciones ionizantes.

El modelo de Monte Carlo permite un cálculo de dosis absorbidas por órgano, según su sensibilidad específica. Sin embargo el cálculo estimado de DE es independiente del modelo de equipo utilizado se realiza con la siguiente fórmula (Boone et al., 2012)

$$\text{Dosis Efectiva} = E = k * \text{DLP}$$

Ecuación 3. Dosis Efectiva, DE

En materia de cuantificación de dosis de radiación en la práctica radiológica, es importante comprender los siguientes conceptos:

Kerma en el aire (Gy⁶) es la energía cinética transferida por electrones en el aire. Mide la intensidad (cantidad) de los haces de rayos X. (Huda & Mettler, 2011)

⁶ (Gy) gray: (Gy) corresponde a 1 J kg⁻¹

Dosis absorbida (mGy) es la energía depositada por la radiación ionizante por unidad de masa de un órgano en un punto específico. Por una constante de kerma en el aire. Las dosis absorbidas en cada órgano y tejido varían. (Huda & Mettler, 2011) La dosis absorbida tiene relevancia en el potencial del paciente de presentar efectos determinísticos.

Dosis equivalente (DEq) (mSv) es la dosis absorbida multiplicada por el factor de radiación (w_R). Expresa las diferentes respuestas biológicas entre los rayos X y partículas alfa/neutrones. En radiología, la dosis absorbida y equivalente, numéricamente son lo mismo. (Huda & Mettler, 2011)

Dosis Efectiva (E) (mSv) se obtiene al multiplicar cada dosis equivalente de cada órgano por su radio sensibilidad (susceptibilidad) y sumando todos los órganos expuestos a radiación. Por lo que se refiere a una dosis uniforme de cuerpo completo, que tiene el mismo riesgo nominal de carcinogénesis y efectos genéticos. Con esta escala se pueda comprar diferentes tipo de radiación ionizante.(Huda & Mettler, 2011)

Dosis Efectiva colectiva (DEC) (personas X Sv) es el impacto de la radiación debido a técnicas médicas en un población.es el producto de la dosis efectiva y el número de personas expuestas. (Hall & Giaccia, n.d.)

Factor de atenuación (factor de atenuación (W_k) se define en ICRP 2007 como el factor por el cual la dosis equivalente en un tejido u órgano representa una relativa contribución en el tejido de un detrimento en la salud, resultado de una radiación uniforme de cuerpo completo. (Barrett, Myers, Hoeschen, Kupinski, & Little, 2015)

La dosis de radiación ionizante emitida en un tomógrafo durante un estudio seleccionado, dependerá del protocolo utilizado a cada paciente, ya que la cantidad e intensidad de la radiación dependerá de parámetros técnicos. El voltaje del tubo (kilovolts pico) y el miliamperaje (corriente) representan la emisión de rayos X, mientras el total de radiación es directamente dependiente de la localización del gantry (portal), la velocidad de rotación del tubo de rayos X (segundos por rotación 360°) y el pitch (distancia del avance de la mesa de exploración de tomografía por cada rotación del tubo de rayos X, dividido entre el ancho del haz de rayos X.) (Huda & Mettler, 2011)

La cantidad de radiación utilizada en un estudio es directamente proporcional a la dosis efectiva (E), tomando en cuenta el tamaño del modelo de acrílico, los factores de ICRP, la región anatómica explorada, el voltaje del tubo de rayos X. (Huda & Mettler, 2011)

En 1981 (Shope, Gagne, & Johnson, 1981b) es propuesto e introducido por la Food and Drug Administration (FDA) (Barrett et al., 2015) un método para describir la dosis absorbida por transmisión de rayos X (resultado del haz primario de rayos X y radiación dispersa en condiciones estandarizadas y una geometría establecida) en la TAC. Se propone un descriptor de dosis, llamado Índice de dosis en tomografía computada/Computed tomography dose index (CTDI, por sus siglas en inglés):

$$C = (1/T) \int_{-\infty}^{\infty} D_1(z) dz$$

Ecuación 4. Índice de dosis en tomografía computada, CTDI

$C=CTDI$; D_1 es la dosis en función de la posición en el eje z en un estudio de dosis única en un punto x,y conocido; T es el grosor del corte establecido.

El CTDI se define como el valor equivalente de dosis absorbida en un corte central que asume que el total de la radiación está concentrada en un corte específico. (Barrett et al., 2015; Huda & Mettler, 2011; Shope, Gagne, & Johnson, 1981a):

Con el advenimiento de nuevas tecnologías como la tomografía multicorte, entre otras, se han descrito nuevos conceptos:

$CTDI_{100}$ se asume que representa la dosis medida en un eje de 100mm de longitud, en condiciones estandarizadas y con una sola colimación en un modelo de acrílico de 16 o 32cm de diámetro.

$CTDI_c$ (mGy) es el CTDI medido al centro del modelo de acrílico 16 o 32 cm de radiación.

$CTDI_p$ (mGy) es el CTDI medido en la periferia del modelo de acrílico 16 o 32 cm de radiación.

$CTDI_w$ (mGy) = $1/3 (CTDI_c) + 2/3(CTDI_p)$ en modelos de 16 o 32 cm.

$CTDI_{vol} \text{ (mGy)} = CTDI_w / \text{pitch}$. Aproxima el promedio de la dosis en los modelos de acrílico durante una tomografía que cubre a todo el modelo.

Para obtener el valor de CTDI, los parámetros técnicos del protocolo de tomografía, como la corriente del tubo de rayos X, el tiempo, el voltaje, el tiempo de rotación, el pitch, el grosor del corte y algoritmos de reconstrucción, son variables que modifican a la dosis de radiación, y deben tenerse en cuenta. (Maldjian & Goldman, 2013)

Corriente del tubo de rayos X, miliamperios, (mA): la dosis de radiación es directamente proporcional a la corriente del tubo de rayos X.

Tiempo de rotación del tubo de rayos X, es el tiempo de exposición, es el tiempo en el que el gantry del tomógrafo completo una rotación. La dosis de radiación es directamente proporcional al tiempo de rotación y proporcional a la velocidad de rotación.

Por lo anterior, la dosis de radiación es directamente proporcional a la corriente y al tiempo de rotación del tubo de rayos X ($\text{mA}^7/\text{segundos}$ (mAs^8)).

Pico de kilovoltaje (kVp) del tubo de rayos X, es el máximo voltaje aplicado en el tubo de rayos X para generación de los rayos X. La dosis de radiación es proporcional a la energía exponencial del kVp.

Pitch, es la distancia que se mueve la mesa durante una rotación de 360° del gantry (portal), dividido en el total del ancho del haz de rayos X.

Grosor de corte reconstruido, este parámetro no afecta de forma directa a la dosis de radiación, sin embargo para lograr cortes más delgados se necesita de mayor cantidad de radiación al momento de programar el resto de los parámetros.

Índice de ruido, la dosis de radiación es inversamente proporcional a la raíz cuadrada del índice de ruido = $1 / \sqrt{\text{mAs}^6}$ Es decir que para disminuir el índice de ruido en un 5% la dosis se incrementa en un 10.8%. (Costello et al., 2013; Maldjian & Goldman, 2013)

Debe también tenerse en cuenta la configuración del detector del tomógrafo, es decir el número de canales para recolección de datos, que se refiere al número de cortes adquiridos por cada rotación del gantry y la efectividad del detector para el grosor del corte de cada canal, ya que el producto de ambos determina la colimación del haz de rayos X, es decir un tomógrafo de 64 cortes con capacidad de 0.625 mm

⁷ mA: miliamperios

⁸ mAs: miliamperios por segundo

por corte (64 X 0.625) tiene una colimación de 4 cm del haz de rayos X.(Maldjian & Goldman, 2013)

Otro parámetro calculado es la dosis producto de la longitud, (DLP, por sus siglas en inglés: Dose Length Product) (mGy-cm) es el producto de $CTDI_{vol}$ multiplicado por la longitud del topograma (cm) y la densidad de la masa. Una medida del total de cantidad de radiación utilizada e incidente para realizar un estudio de tomografía.

(Barrett et al., 2015; Boone et al., 2012; Huda & Mettler, 2011; McCollough et al., 2011; Shope et al., 1981b)

$$\varepsilon = \rho \pi r^2 L \cdot CTDI_{vol} ; DLP = CTDI_{vol} \cdot L,$$

Ecuación 5. Total de energía

Ecuación 6. Dose Length Product

en donde ε = total de energía depositada; L = longitud del rastreo; ρ = densidad de la masa (Boone et al., 2012).

ε refleja el riesgo no uniforme de exposición en relación a cuerpo completo. Tiene la ventaja de ser un parámetro comparable con otras fuentes de radiación (radiación cósmica, gamma, etc.) (Collins & Willi Kalender, n.d.) McCollough and Schueler, estimaron un promedio de E para estudio de tomografía en medicina, obteniendo los siguientes valores:

TC cráneo 1-2 mSv, TC tórax 5-7 mSv, TC abdomen 5-7 mSv, TC pelvis 3-4 mSv, TC abdomen y pelvis 8-11 mSv.

3.4. CÁLCULO DE DOSIS EFECTIVA (DE) EN TOMOGRAFÍA

La estimación de la dosis efectiva al comparar diferentes protocolos de TAC no es un parámetro utilizado para la valoración de la dosis de radiación por paciente, ya que los factores radiobiológicos de atenuación no son específicos para cada paciente. (Boone et al., 2012)(Vock, P; Graciano, P; Padovani, 2013)

En 2009 el European Working Group for Guidelines on Quality Criteria in CT (su nombre en inglés), propusieron un método para el cálculo de E , calculado a partir de los coeficientes de dosis de conversión, los cuales

se derivan de los cálculos de dosis absorbida por órgano de Monte Carlo y que fueron establecidos por el Consejo Nacional de Protección Radiológica/National Radiological Protection Board (NRPB, por sus siglas en inglés), (Shrimpton & Hillier, 2003; Vock, P; Graciano, P; Padovani, 2013)

El estimado de dosis por órgano: es establecido por la ICRP, basado en los factores k^9 , según la radiosensibilidad de cada tejido, determinado por una población de sexo y edad promedio, estudiada a partir de los sobrevivientes a las bombas atómicas. La irradiación de cuerpo completo se calcula con la suma de las dosis absorbidas por cada órgano y tejido multiplicado por su factor k. El valor del factor k, varía según el reporte que se analice (26/1977, 60/1991, 103/2007)

La fórmula

$$\text{Dosis Efectiva} = E = k * \text{DLP}$$

Ecuación 7. Dosis Efectiva

Permite el cálculo de E, independientemente de las características del tomógrafo.

k: es el factor ($\text{mSv} \times \text{mGy}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) que depende de la región anatómica explorada. (McCollough, 2003) (Collins & Willi Kalender, n.d.)

La Comisión Europea (CE) en su reporte en el año 2000, establece los factores k por región anatómica de la siguiente manera

Región anatómica	Factor "k" CE 2004 / NRPB-W67 2005	Modelo deacrílico
Cabeza	0.0021	16
Cabeza y cuello	0.0031	16
Cuello	0.0059	32
Tórax	0.014	32
Abdomen	0.015	32
Pelvis	0.015	32
Tórax, abdomen y pelvis	0.015	32

Tabla 1. Comisión Europea 2000, factor "k"

(Christner, Kofler, & McCollough, 2010) (European Commission, 2000; Geleijns et al., 1994)

⁹ k: es el factor ($\text{mSv} \times \text{mGy}^{-1} \times \text{cm}^{-1}$) que depende de la región anatómica explorada.

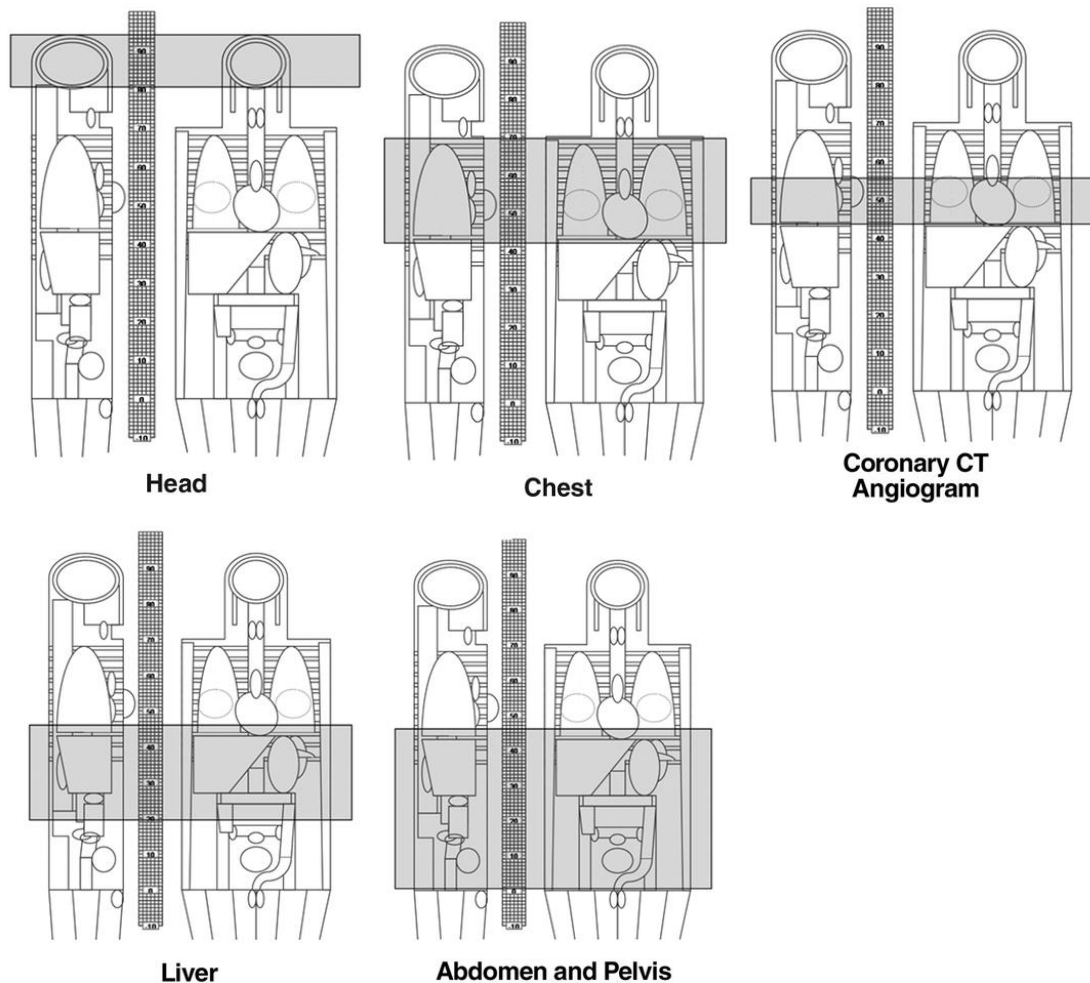


Figura 1. Modelo matemático de los rangos de rastreo de tomografía utilizado por "NRPB (National Radiological Protection Board) - simulaciones de Monte Carlo. Shrimpton PC, Jones DG, Hillier MC, Wall BF, Le Heron JC, Faulkner K; U.K. Health Protection Agency. Report NRPB-R29 (1991): Survey of CT practice in the U.K. Part II. Dosimetric aspects. Chilton, United Kingdom: National Radiological Protection Board) (Christner et al., 2010)

Este método de calcular E, es independiente del tamaño del paciente, edad, sexo y el modelo de tomógrafo donde se realizó el estudio. (McCollough, Christner, & Kofler, 2010)

3.5. USO DE MEDIO DE CONTRASTE EN ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA Y LA DOSIS DE RADIACIÓN

El uso del medio de contraste en los estudios de tomografía es un elemento de gran relevancia para el diagnóstico, por lo que alrededor del 60 % de los estudios tomográficos sean contrastados. ("MEDICAL PHYSICS: The Effect of Contrast Medium on Radiation Dose in CT: Part II Sahbaee et al," 2017).

El medio de contraste en la tomografía es a base de yodo, en diferentes concentraciones. Se ha estudiado que la interacción del medio de contraste endovenoso a través de la perfusión de los diferentes órganos, provee mayor dosis de radiación, Piechowiak et al, demostraron los efectos biológicos en ADN en estos pacientes. (Berrington de Gonzalez & Kleinerman, 2015).

Sin embargo no existen modelos biológicos que nos permitan calcular una dosis de radiación específica por el uso de contraste, ya que otros factores inherentes al paciente, por ejemplo morfología, situación anatómica, volumen, situación del órgano respecto al haz de rayos X en el momento del estudio. Y factores como la interacción del medio de contraste durante el estudio, en relación a la perfusión de los órganos y acumulación de las moléculas yodo en el mismo. Respecto a lo anterior se ha descrito una relación de la cantidad de dosis que aumenta con el uso de contraste endovenosos y el incremento de la unidades Hounsfield en el estudio por el uso del medio de contraste. (Amato et al., 2013). Sin embargo en general, se ha observado que la dosis de radiación incrementa en dosis no significativas, incluso menores a 0.1 Gy, y otras series que reportan hasta 1 Gy más de dosis por el uso de contraste endovenoso. (Amato et al., 2013; Berrington de Gonzalez & Kleinerman, 2015; "MEDICAL PHYSICS: The Effect of Contrast Medium on Radiation Dose in CT: Part II Sahbaee et al," 2017).

3.6. CARRERA ESPACIAL

La carrera espacial tiene inicio en el siglo pasado, cuando la exploración humana del espacio y las misiones interplanetarias tienen gran relevancia no sólo científica y económica, sino también política. Respecto a las misiones espaciales tripuladas por humanos, es imprescindible citar las palabras de J. F. Kennedy, quien en uno de sus discursos en los años 60's, no sólo hace mención que en esa década se logrará llegar a la Luna, sino sus palabras se transpolan a la importancia de la misma humanidad y la ciencia, al decir que el hombre irá a la Luna y será traído de regreso a Tierra a salvo.

Los riesgos de la exploración espacial por humanos son elevados. En un inicio de la carrera espacial los riesgos fueron tomados por desconocimiento, y actualmente a pesar de la información recolectada en las misiones espaciales es poco lo que sabemos de efectos y cambios

a los que se expone el cuerpo humano en ambientes remotos y condiciones físicas diferentes a la vida en la Tierra. (Cucinotta & Durante, 2006)(Boerma, 2015)(J. Chancellor, Scott, & Sutton, 2014)

En octubre de 2016, el entonces presidente de los Estados Unidos, Barack Obama, anunció en Guadalajara, sede del congreso Internacional de la Federación de Astronáutica, la misión interplanetaria a Marte, y seguido por unas horas, Elon Musk, SpaceX, industria privada, presentaría también su ambiciosa visión, como empresa privada para colonizar Marte, y sus avances y actualizaciones en Australia 2017. (Galeon, Dom; Houser, 2017; SPACE EXPLORATION TECHNOLOGIES CORP, 2017)

Sin duda, el viaje a Marte es hoy una realidad. La misión a Marte será tripulada, lo que significa que humanos viajarán 560 millones de kilómetros en el espacio hacia otro planeta, exponiéndose a cientos de riesgos que peligran su vida, con la deriva de regresar a Tierra. (NASA, n.d.)

National Aeronautics and Space Administration, NASA, por sus siglas en inglés, realiza constantemente un análisis de riesgos para la vida humana en esta misión interplanetaria. De hecho en los últimos reportes emitidos, la exposición a la radiación ionizante de los astronautas durante viajes interplanetarios o la duración de las misiones en la Estación Espacial Internacional (EEI) es uno de los puntos más importantes para proteger a los astronautas. (J. Chancellor et al., 2014; Cucinotta & Durante, 2006)

Los astronautas están expuestos constantemente a la radiación cósmica galáctica, que es radiación ionizante de las estrellas supernovas; esta radiación es de alta energía de núcleos de átomos pesados, así como a la radiación cósmica solar, proveniente de eventos solares (SPE).(J. Chancellor et al., 2014; Schimmerling, Cucinotta, & Wilson, 2003)

La radiación cósmica galáctica consiste en un flujo de 85% de protones, los cuales son ionizantes, el resto son partículas de alto número atómico (HZE, por sus siglas en inglés) (H: alto, Z: número atómico E: alta energía). HZE son partículas densamente ionizantes con efectos biológicos aparentemente diferentes a la radiación de otras partículas de menor número atómico, sin embargo no se tiene total conocimiento de esto.

La radiación de tormentas solares es radiación debida a la actividad solar. Las partículas solares energéticas, son protones emitidos en tormentas solares y la energía de las partículas alcanzan cientos de mega-electrón volts, por lo que los blindajes son más efectivos en

comparación con la radiación cósmica galáctica.(J. Chancellor et al., 2014; Jeffery C. Chancellor et al., 2018; Schimmerling et al., 2003)

Tres formas de exposición a la radiación son importantes en la salud de los astronautas en el espacio:

- Exposición de largo tiempo a dosis bajas de radiación cósmica galáctica, lo que aumenta la probabilidad de cáncer y cambios a nivel celular en tejidos como el cerebral y órganos reproductores.(Schimmerling et al., 2003)
- Exposición de corto tiempo a partículas solares energéticas (SPE), el riesgo de esta radiación es la depleción celular de tejidos radiosensibles, ejemplo, médula ósea, epitelio intestinal, piel, etcétera.(Schimmerling et al., 2003)
- Exposición a viento solar, compuesto en su mayoría por electrones y protones de baja energía. (Jeffery C. Chancellor et al., 2018)

Todas estas fuentes de radiación deben ser tomadas en cuenta durante los viajes interplanetarios, considerando que una protección de 20-30g/cm² de aluminio reduce hasta un 25%, y un equivalente en polietileno podría reducir hasta un 35% de la dosis de radiación cósmica galáctica. (Jeffery C. Chancellor et al., 2018)

4. MARCO DE REFERENCIA.

4.1. DOSIS DE RADIACIÓN EN TOMOGRAFÍA

En los Estados Unidos el uso de la tomografía se ha multiplicado 20 veces en relación al número de tomografías realizadas en 1990, siendo la radiación con fines médicos el 50% de la dosis de exposición de una persona y la mitad de esta radiación médica, corresponde a estudio de tomografía. (Costello et al., 2013)

Como se mencionó previamente, McCollough and Schueler, estimaron un promedio de E para estudio de tomografía en medicina, obteniendo los siguientes valores:

TC cráneo 1-2 mSv, TC tórax 5-7 mSv, TC abdomen 5-7 mSv, TC pelvis 3-4 mSv, TC abdomen y pelvis 8-11 mSv.

Sin embargo los parámetros técnicos, los cuales modifican la dosis de radiación son variables que el operador puede modificar en cada protocolo, por lo que las dosis de radiación pueden ser variables entre operador y centro radiológico. (Maldjian & Goldman, 2013)

Existen dosis reportadas de pacientes, que por estos factores pueden alcanzar dosis de radiación iguales o mayores a las de los sobrevivientes de las bombas atómicas. (Costello et al., 2013; UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2012). Sin embargo algunos factores como son los parámetro técnicos, el número de tomografías que suman una dosis acumulativa, o los estudios multifásicos, que no presentan una ventaja significativa en el diagnóstico y/o manejo del paciente. Por lo que una sobreutilización se define como la aplicación de procedimiento de imagen donde las circunstancias de su indicación no tienen un beneficio en pronóstico del paciente. Por lo que un paciente es expuesto a radiación ionizante de forma innecesaria. (Hendee et al., 2010) Esta sobreutilización de técnicas de imagen implican diferentes aspectos de la medicina actual, como es el funcionamiento de los sistemas de salud de cada país, el acceso a la información que lleva a pacientes a auto-indicarse estudios de imagen, la medicina defensiva, los criterios de guías de prácticas clínicas, así como el desconocimiento de las técnicas de imagen con radiación ionizante y los efectos de la misma y dosis a las que los pacientes ya han sido expuestos y los estudios que los clínicos les indican. (Hendee et al., 2010)(Rehani & Berris, 2012)

4.2. VIAJES INTERPLANETARIOS

La nave espacial del “Mars Science Laboratory (MSL)” de la NASA, llevó a Curiosity (Robot) a Marte en noviembre de 2011, en un viaje de 253 días y 560 millones de kilómetros a Marte. Se realizó una detallada medición de la radiación ionizante, es decir de las partículas energéticas dentro de la nave espacial con su blindaje respectivo, en el período del 6 de diciembre de 2011 al 14 de julio de 2012, que sería el mismo utilizado si la misión fuese tripulada. Los datos de dosis de exposición a radiación ionizante que se obtuvieron son asociados a la misión tripulada a Marte. En el MSL la cantidad de radiación cósmica galáctica, fue una dosis equivalente de 1.84mSv/día, la cuál fue la constante durante los 253 días. (Zeitlin et al., 2013). Otros autores, (Jeffery C. Chancellor et al., 2018; Cucinotta & Durante, 2006) igualmente refieren una dosis de cuerpo

completo en viajes interplanetario entre 1-2 mSv por día y de 0.5 – 1 mSv día en superficie planetarias, como Marte.

El viaje a Marte tripulado sería en 180 días ida y 180 días vuelta, es decir un total de 360 días. Se estima que durante el viaje los astronautas recibirán 331 +/- 54mSv de RCG en 180 días, la radiación de SPE es +/- 54mSv, dependiendo de la actividad solar en el tiempo del viaje. Por lo tanto el viaje de ida y vuelta Tierra-Marte se estima una cantidad de 662mSv +/- 108 mSv. (Zeitlin et al., 2013)

La radiación en la Estación Espacial internacional (EEI), se denomina de baja órbita (LEO, por sus siglas en inglés, Low Earth Orbit). Esta radiación proviene de GCR, SPE y la radiación atrapada en los cinturones de Van Allen, del campo magnético terrestre. (Cucinotta, Kim, Willingham, & George, 2008) Los cinturones magnéticos son regiones con alta concentración de energía (electrones y protones) atrapados por el magnetismo de la Tierra. Existen dos tipos de cinturones, los cinturones internos (IRB; por sus siglas en inglés Inner Radiation Belts), que se localizan entre 0.1 – 2 radios de la Tierra, son electrones con energía mayor a 10 MeV y protones mayor a 700 MeV.

El cinturón externo (ORB, por sus siglas en inglés (ORB, Outer Radiation Belt) se extiende de 4 hasta 9-10 el radio de la Tierra, se compone principalmente por electrones de energía no mayor a 10 MeV. (Charles W. Lloyd, n.d.; Dachev, 2013)

Una misión con duración de un año a bordo de la EEI, la radiación en LEO (orbitando a 353km) es aproximadamente de 200-250 mSv. (Jeffrey C. Chancellor, Guetersloh, Cengel, Ford, & Katzgraber, 2017) 160 mSv en una misión de 6 meses. (Charles W. Lloyd, n.d.)

Los reportes de la misión Apollo 14, con duración de 9 días el viaje a la Luna la dosis de radiación fue de 11.4 mSv, mientras la misión 41-C, de la era de los transbordadores, 8 días orbitando Tierra a 460 km se tiene reportada una dosis de 5.59 mSv. (Charles W. Lloyd, n.d.)

5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La radiación ionizante se sabe que implica riesgos en la salud humana según la dosis recibida, efectos estocásticos, sin embargo también es de

gran utilidad diagnóstica en la medicina, por eso el criterio ALARA es de gran relevancia.

La radiación ionizante no es visible, ni perceptible por el paciente. Sin embargo se debe hacer una reflexión de las dosis a las que se está exponiendo a los pacientes, en relación con el riesgo/beneficio que establece el criterio ALARA.

¿Cuál es la dosis máxima de radiación ionizante que un paciente puede alcanzar por estudios de tomografía en el período de un año en el Hospital Médica Sur, y qué tan similar es con la dosis de un astronauta en un viaje espacial y/o interplanetario?

6. JUSTIFICACIÓN.

Debido a que el estar expuesto a la radiación ionizante no es algo perceptible, ni doloroso, existe gran preocupación entre los investigadores por las dosis de radiación ionizante que pueden llegar a recibir los astronautas en el viaje interplanetario a Marte, debido a las implicaciones de efectos biológicos; mismo por lo cual independientemente del criterio ALARA, es de gran importancia conocer las dosis de radiación ionizante que llegamos a dar a un paciente por estudios de tomografía, con el objeto de evitar la sobreutilización de estudios de imagen con radiación ionizante, así como evaluar los factores modificables para mantener tan baja la radiación en el paciente como sea posible.

7. OBJETIVO.

Conocer las dosis de radiación ionizante por tomografía de los pacientes en Médica Sur, en el intervalo de un año.

Analizar la magnitud de las dosis de radiación ionizante de estos paciente respecto a las dosis a las que estarían expuestos los astronautas en misiones interplanetarias.

Reconocer las dosis de radiación ionizante en los pacientes para lograr una optimización en reducción de dosis, de ser posible.

8. HIPÓTESIS.

En Médica Sur existen pacientes, quienes han recibido dosis de radiación ionizante por estudios de tomografía, equivalente a la de un astronauta durante un viaje interplanetario Tierra – Marte – Tierra, en el período de un año.

9. DISEÑO.

Manipulación por el investigador	Observacional
Grupo de comparación	Descriptivo
Seguimiento	Longitudinal
Asignación de la maniobra	Aleatorio
Evaluación	Abierto
Participación del investigador	Observacional
Recolección de datos	Retrolectivo

10. MATERIALES Y MÉTODO.

10.1. UNIVERSO DE ESTUDIO. POBLACIÓN DE ESTUDIO.

Población 1: Los 50 pacientes con mayor número de tomografías del Hospital Médica Sur, hombres y mujeres igual o mayores de 25 años e iguales o menores a 80 años de edad, que en el período de un año, en el intervalo de los años 2015, 2016 y 2017 tuvieron el mayor número de estudios de tomografía computarizada.

Población 2: Se toma de la literatura reportada las dosis de radiación ionizante calculadas para un astronauta en baja órbita en la Estación Espacial Internacional, en un viaje Tierra – Luna y en los viajes interplanetario Tierra-Marte y Tierra – Marte - Tierra. Así

como las referencias de los estudios en radiación en sobrevivientes del accidentes de Chernobyl y de las bombas atómicas.

10.2. TAMAÑO DE LA MUESTRA.

Los 50 pacientes con mayor número de tomografías en los períodos 2015, 2016 y 2017

10.3. CRITERIOS DE SELECCIÓN.

10.3.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.

50 pacientes del Hospital Médica Sur hombres y mujeres igual o mayores de 25 años e iguales o menores a 80 años de edad que en el período de un año, en el intervalo de los años 2015, 2016 y 2017 tuvieron el mayor número de estudios de tomografía computarizada.

10.3.2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.

Hombres y mujeres menores de 25 años
 Pacientes que no tienen estudio(s) de tomografía simple o contrastada.
 Pacientes que no están dentro de los primeros 50 de cada grupo, el cual está organizado de mayor a menor número de estudios según su período.

10.3.3 CRITERIOS DE ELIMINACIÓN.

Pacientes de los cuales no se encuentren datos en el archivo PACS/RIS de Médica Sur, para realizar el cálculo de dosis de radiación ionizante.

10.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES.

Independientes		Dependientes	
Variable	Escala	Variable	Escala
Número de estudios de tomografía en período de un año	Nominal 1,2,3,4...	Dosis equivalente	Sv Gy
	Nominal (número de	Dosis absorbida	Gy
		CTDI (índice de dosis de	

Protocolo con el que se realizó la tomografía	fases simple o contrastadas) 1,2,3,4... Kilo voltaje Mili amperaje Longitud del rastreo	radiación ionizante incidente en un paciente) DLP (longitud de la dosis del producto (CTDI*longitud del rastreo)	Gy/cm ³ (cuantifica el total de radiación que recibió un paciente en un rastreo)
---	---	---	--

Tabla 2. Definición de variables.

10.5. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS.

Pacientes del Hospital Médica Sur, hombres y mujeres igual o mayores de 25 años e iguales o menores a 80 años de edad que en el período de un año, en el intervalo de los años 2015, 2016 y 2017 tuvieron el mayor número de estudios de tomografía computarizada.

Se realizará una revisión de una base de datos en períodos de un año, en los intervalos 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018 de los pacientes ingresados al área de imagen del hospital Médica Sur, que hayan tenido 2 o más estudios de tomografía axial computarizada de cualquier región del cuerpo, ya sea simple o contrastada.

Se seleccionan los primeros 50 pacientes de cada grupo, de quienes se revisarán los valores de DLP (registro del $CTDI_{vol}$ (mGy) multiplicado por la longitud del topograma (cm)) en el PACS, de cada protocolo utilizado en cada estudio registrado en el RIS.

Se calcularán las dosis efectivas a partir de los datos del DLP (mGy x cm) multiplicando por el factor Q de los rayos X (equivalente a 1) y multiplicado por el factor de conversión de la región anatómica explorada (k); tomando como referencia el valor del factor de conversión de la región anatómica explorada (k), de la publicación de la Comisión Europea 2004, Appendix C y NRBP-W67

Para el cálculo de la dosis efectiva total, se tomará en cuenta la dosis de radiación ionizante en cuerpo completo, al sumar todas las dosis de radiación calculadas por región anatómica de todos

los estudios con los que cuente cada paciente durante el período seleccionado, obteniendo la dosis efectiva total de cada uno, expresada en Sv.

10.6. CALENDARIO.

Revisión bibliográfica	marzo 2018
Elaboración del protocolo	abril 2018
Obtención de la información	mayo - junio 2018
Procesamiento y análisis de los datos	junio 2018
Elaboración del informe técnico final	junio 2018
Divulgación de los resultados	julio 2018

Fecha de inicio: 12 marzo 2018

Fecha de terminación: Julio 2018

10.7. RECURSOS.

10.7. 1. RECURSOS HUMANOS.

Investigador: María Guadalupe Santoyo Llamas
Actividad revisión bibliográfica, recolección y análisis de datos y redacción de informe.

Número de horas por semana: 10

Investigador: Jorge Guerrero Ixtláhuac
Tutoría de tesis

Número de horas por semana: 5

Investigador: Jorge Patricio Castillo López
Tutoría de tesis

Número de horas por semana: 3

10.7.2. RECURSOS MATERIALES.

Los recursos que se requiere adquirir son: computadora, internet, programa estadístico, bibliografía, acceso base de datos de Médica Sur en el servicio de Imagen, acceso a RIS/PACS para realizar base de datos y recolección de datos.

11. VALIDACIÓN DE DATOS.

Se utilizará estadística descriptiva: medidas de tendencia central y dispersión: rango, media, mediana, moda, desviación estándar, proporciones o porcentajes

12. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se usarán tablas y/o gráficas (barras, histogramas, líneas, puntos).

13. CONSIDERACIONES ÉTICAS

"Todos los procedimientos estarán de acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de la ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud.

Título segundo, capítulo I, Artículo 17, Sección I, investigación sin riesgo, no requiere consentimiento informado.

14. ANÁLISIS DE DATOS

En relación a la cantidad de estudios de tomografía que se realizaron en el Hospital Médica Sur, durante los períodos analizados; en el período 2015 el 81% de las tomografías se realizaron en pacientes entre los 25 y 80 años de edad y de ellos el 62% tuvo más de una tomografía.

Esta relación se comporta de forma semejante en los períodos de 2016 y 2017, donde las tomografías en la población entre 25 y 80 años representa un 81% y de ellos un 62% y 46%, tuvieron más de una tomografía.

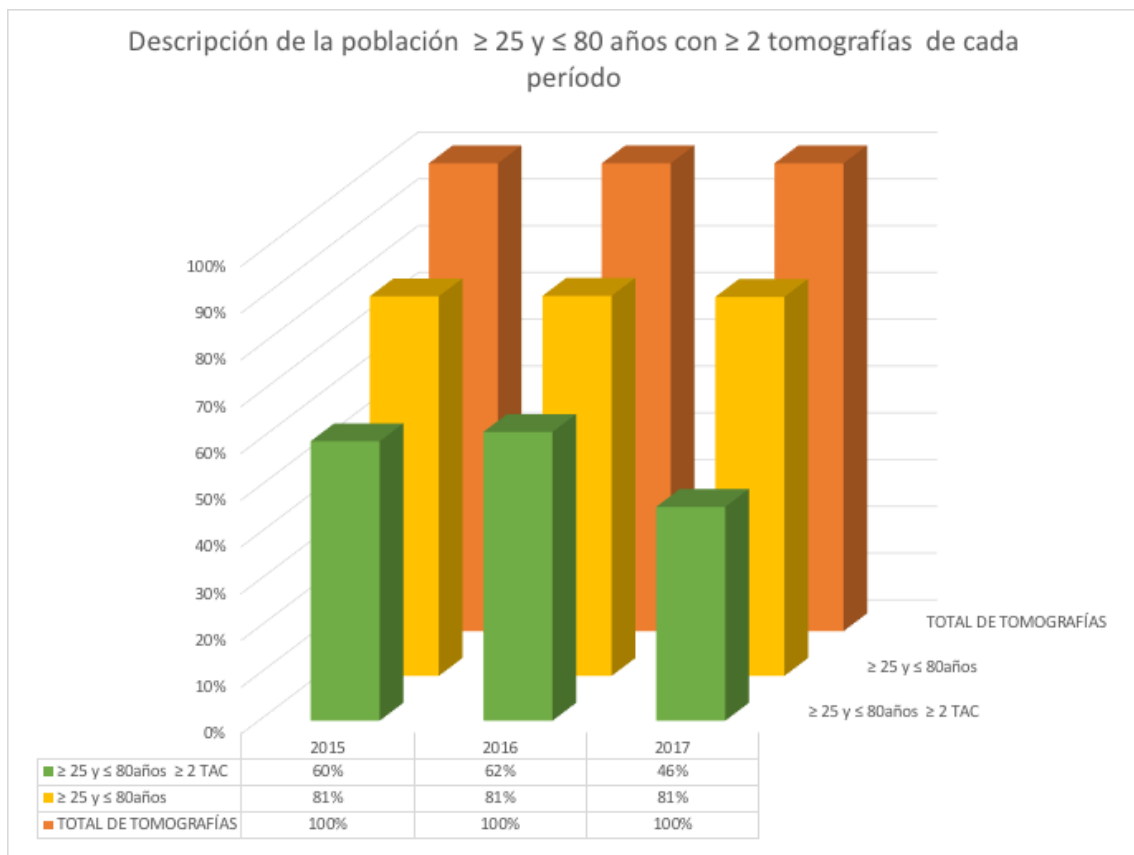


Figura 2. Descripción de la población con tomografías en los períodos 2015, 2016 y 2017 en el Hospital de Médica Sur.

La tendencia en los tres períodos en relación a la población dividida por género, en los tres períodos, 2015, 2016 y 2017, el 52% corresponde a hombres y el 48% a mujeres.



Figura 3. Distribución del total de tomografías en hombres y mujeres con dos o más estudios durante los tres períodos.

Esto observado que en cada período el total de tomografías, que se hicieron en cada género fueron:

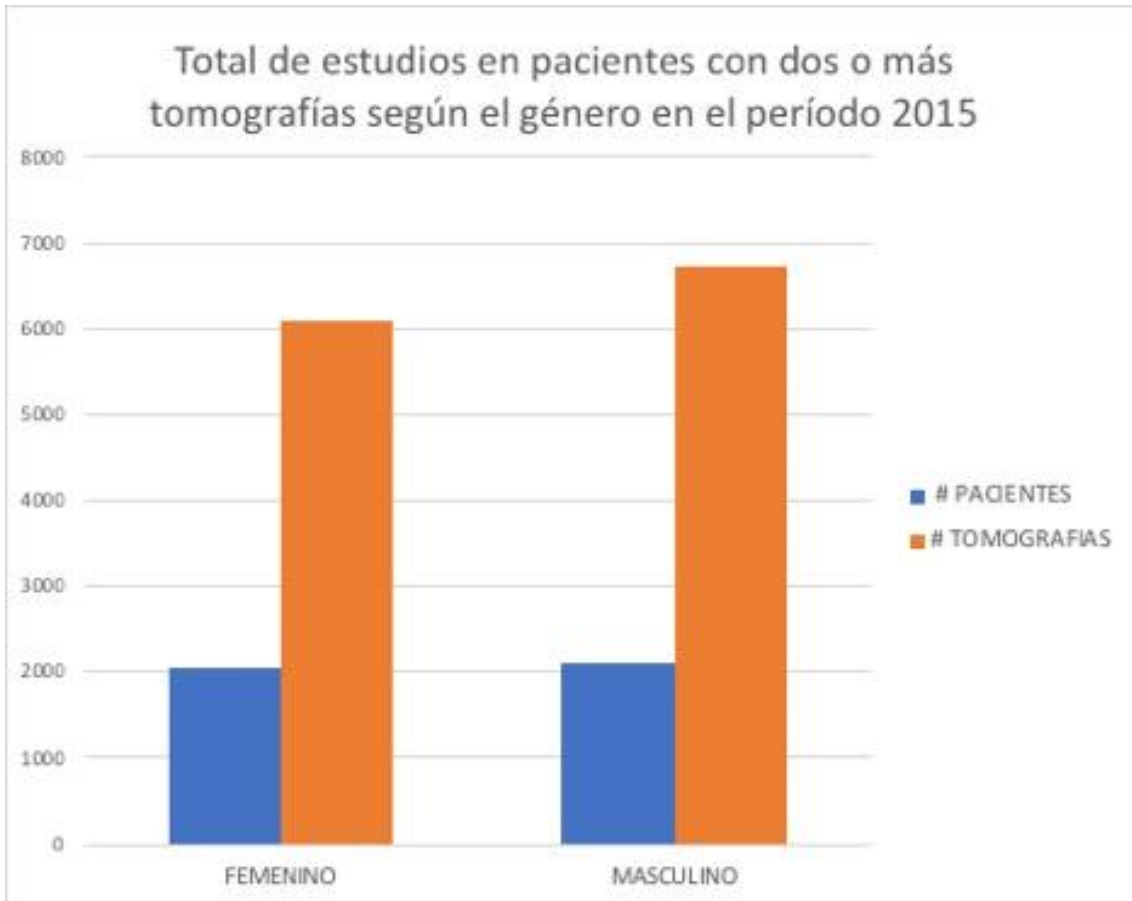


Figura 4. Total de estudios en pacientes con dos o más tomografías según el género en el período 2015

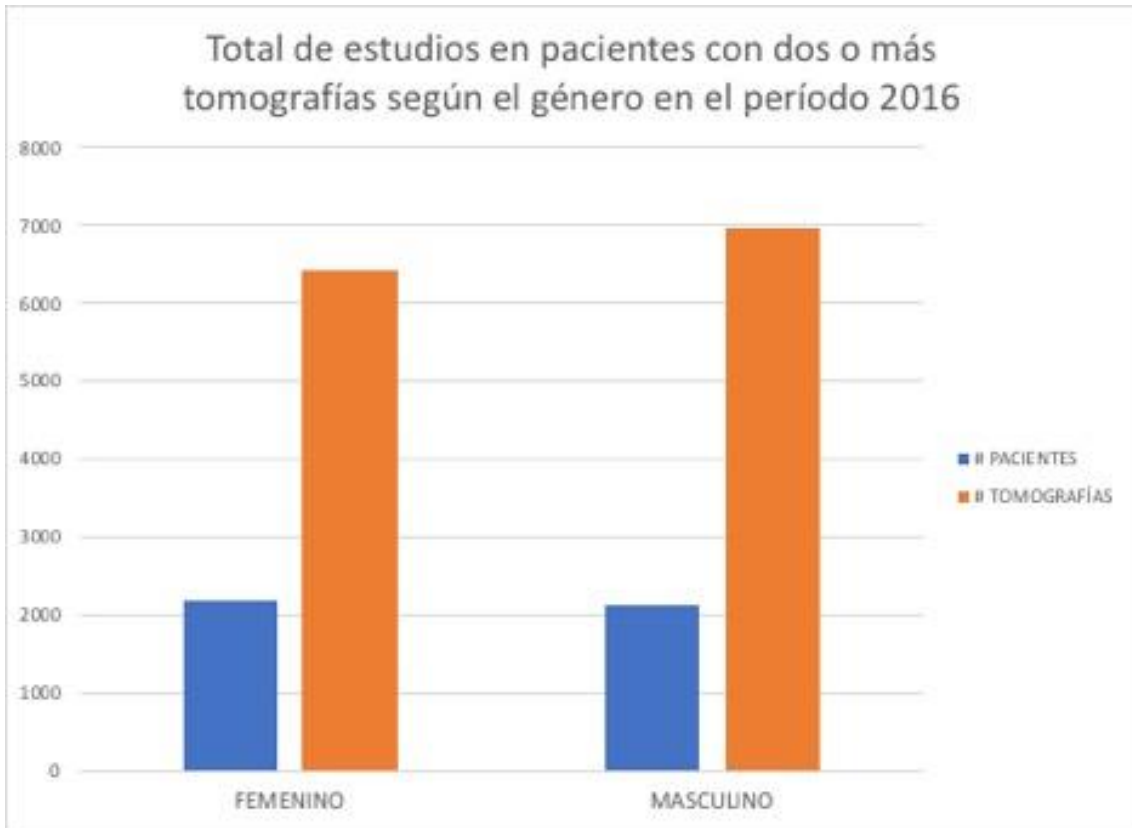


Figura 5. Total de estudios en pacientes con dos o más tomografías según el género en el período 2016

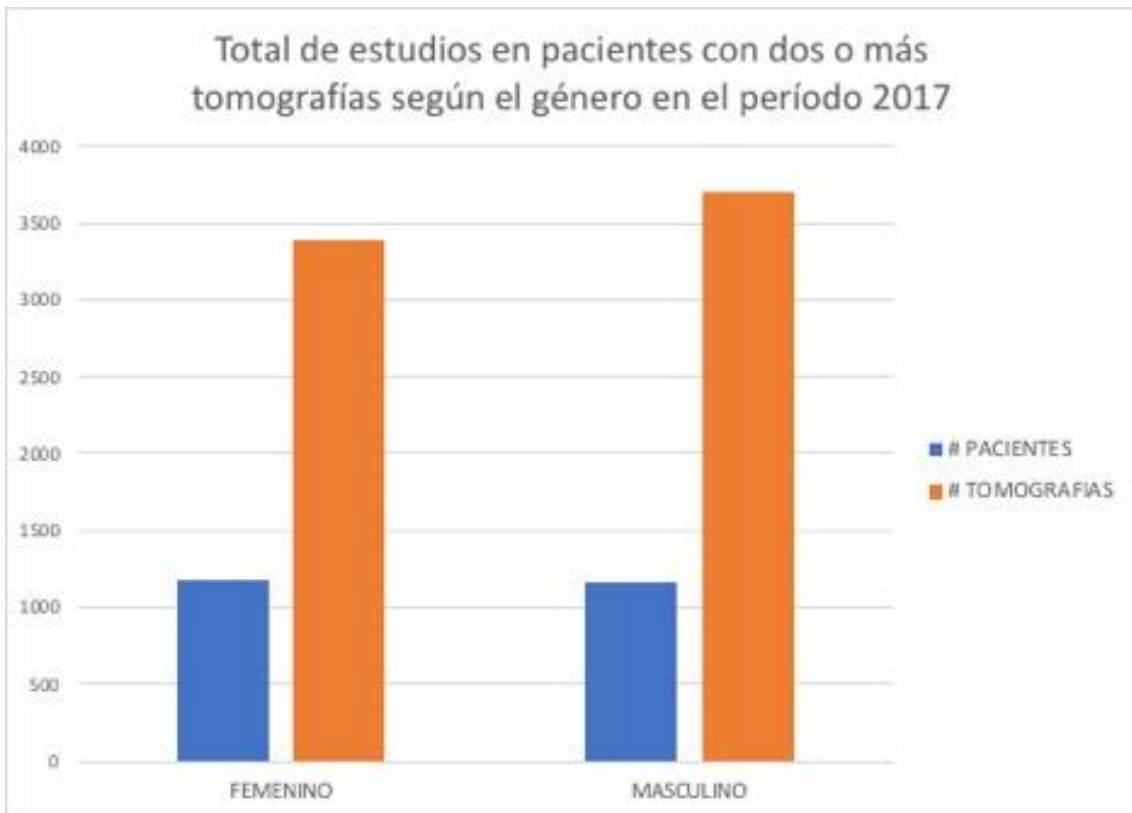


Figura 6. Total de estudios en pacientes con dos o más tomografías según el género en el período 2017

Según los cargos administrativos en el Hospital Médica Sur, los estudios de tomografías más solicitados en los diferentes períodos fueron:

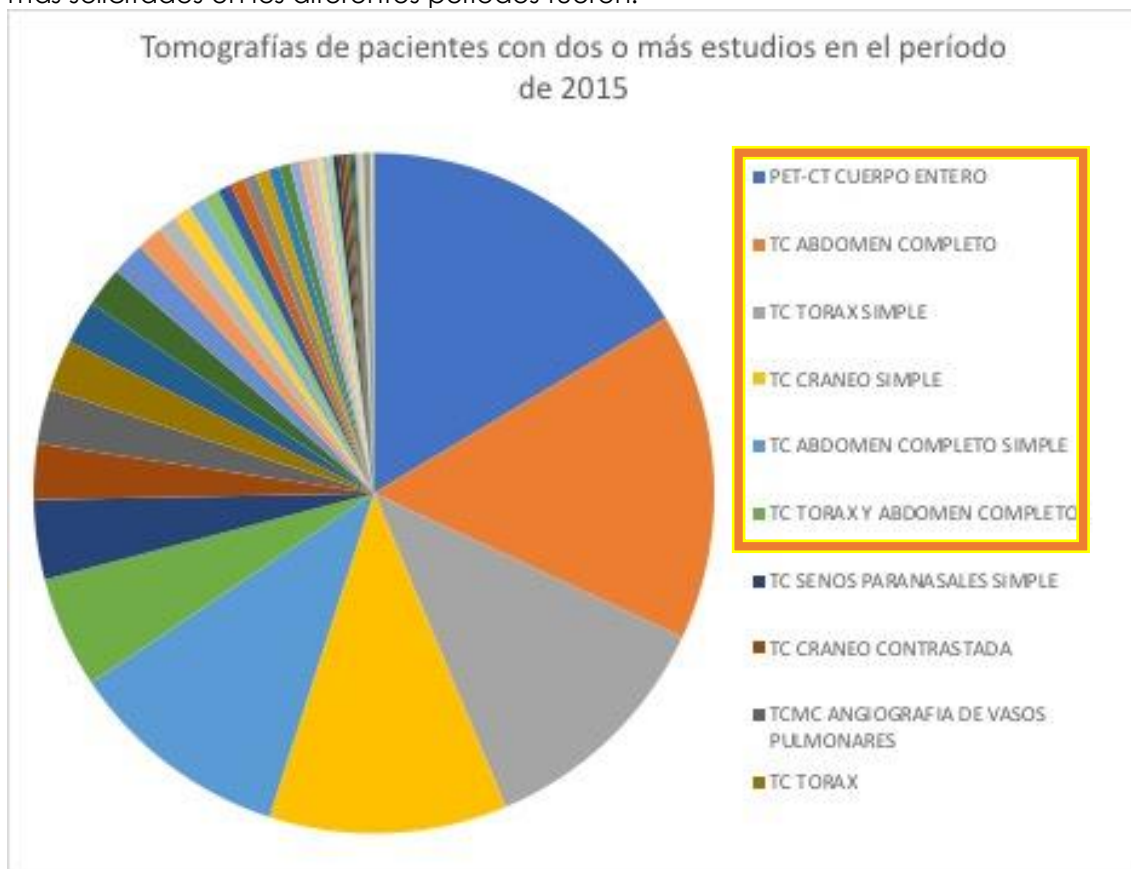


Figura 7. Tomografías de pacientes con dos o más estudios en el período de 2015

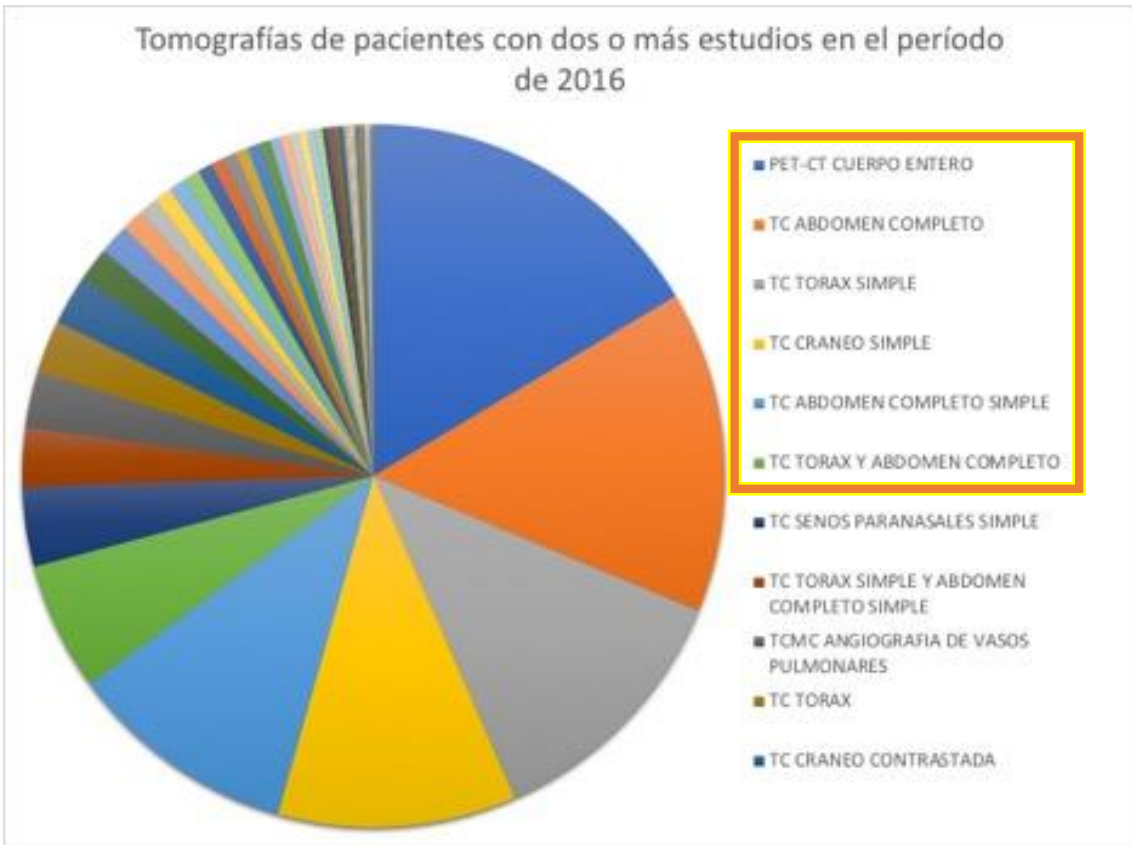


Figura 8. Tomografías de pacientes con dos o más estudios en el período de 2016

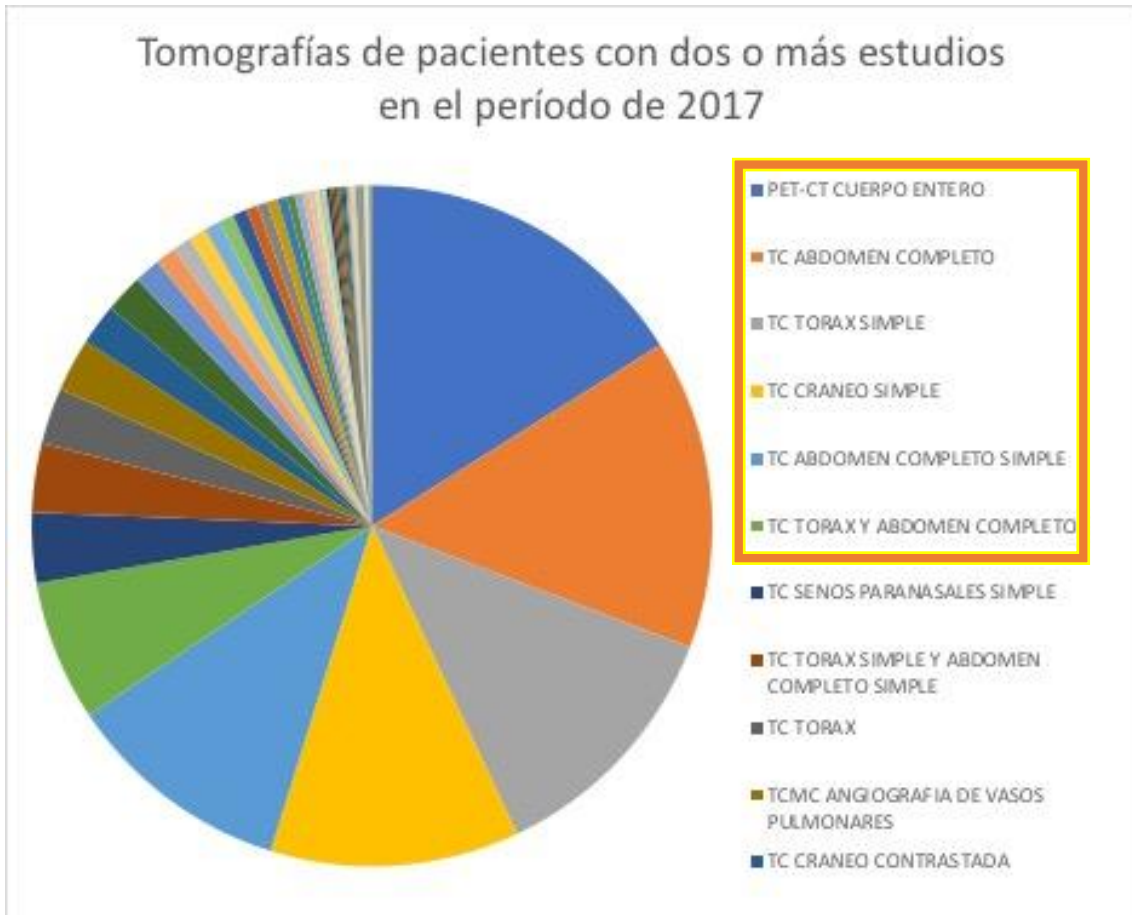


Figura 9. Tomografías de pacientes con dos o más estudios en el período de 2017

Durante los tres períodos, los estudios más solicitados son los que corresponden a la exploración de cuerpo entero por PET-CT¹⁰, estudios en fase simple de tórax, abdomen y cráneo y estudios contrastados de tórax y abdomen. El total de estos estudios en los tres períodos corresponde a más del 50% del total.

Al seleccionar a los 50 pacientes con mayor número de tomografías en cada período, se obtuvieron las dosis efectivas de cada uno de ellos, obteniendo como promedio de cada período las siguientes dosis efectivas:

Período	Dosis Efectiva mSv
2015	249.36
2016	285.42
2017	224.77

¹⁰ PET-CT: Tomografía por emisión de positrones – Tomografía axial computarizada, por sus siglas en inglés.

En la siguiente gráfica se ilustra la relación del número de tomografías con la dosis efectiva, sin observar una tendencia lineal entre ellos. Se infiere este fenómeno, ya que una de las variables de la fórmula para el cálculo de dosis efectiva, que es la constante de k, en relación a la radio sensibilidad de cada órgano, esto en relación a la región explorada en tomografía y esta a su vez en el número de estudios de la misma región. Además de considerar las múltiples fases, las cuales se realizan en los estudios contrastados y que suman a su vez mayor dosis efectiva, aún representando un solo cargo administrativo.

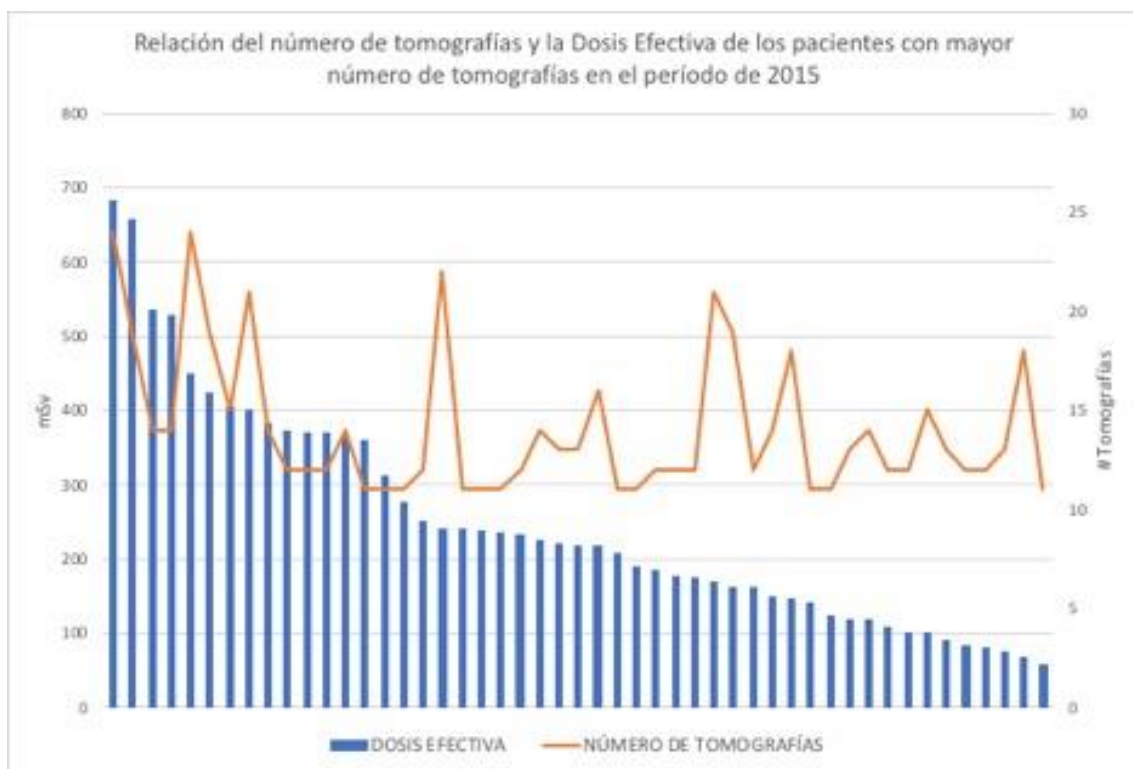


Figura 10. Relación del número de tomografías y la Dosis Efectiva de los pacientes con mayor número de tomografías en 2015

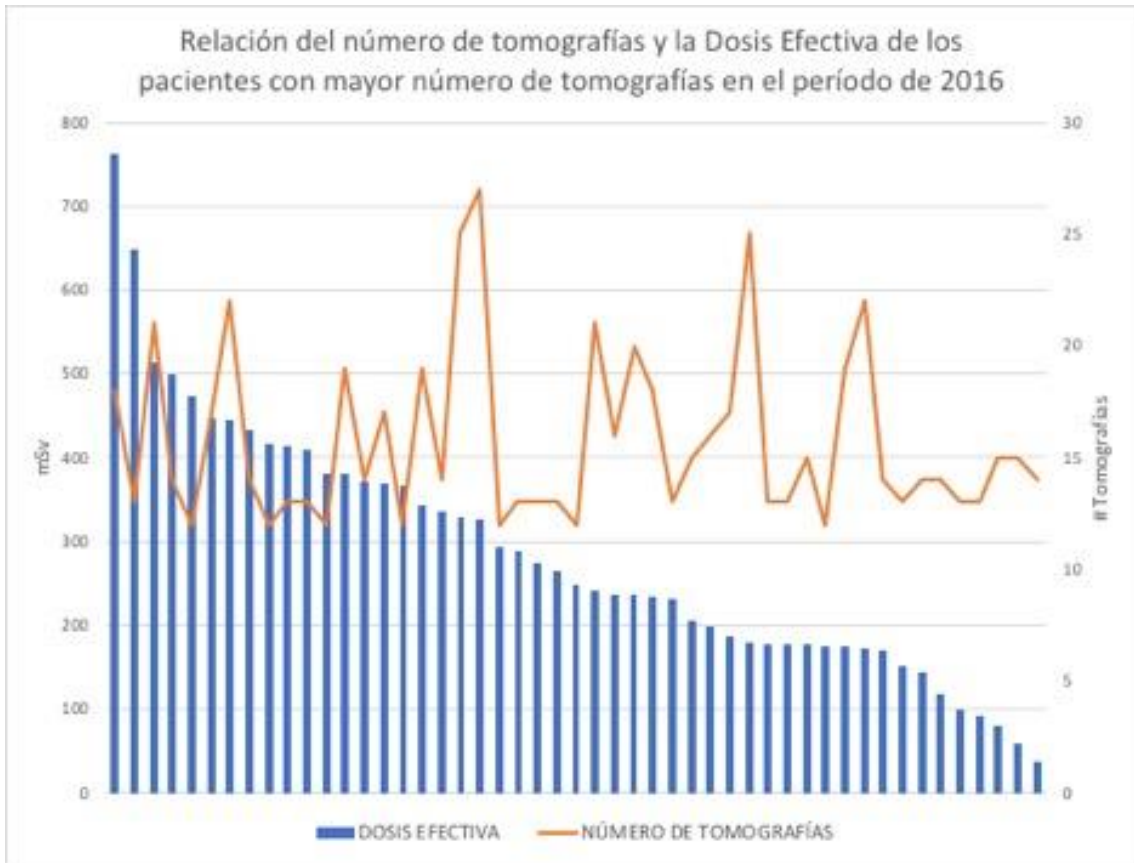


Figura 11. Relación del número de tomografías y la Dosis Efectiva de los pacientes con mayor número de tomografías en 2016

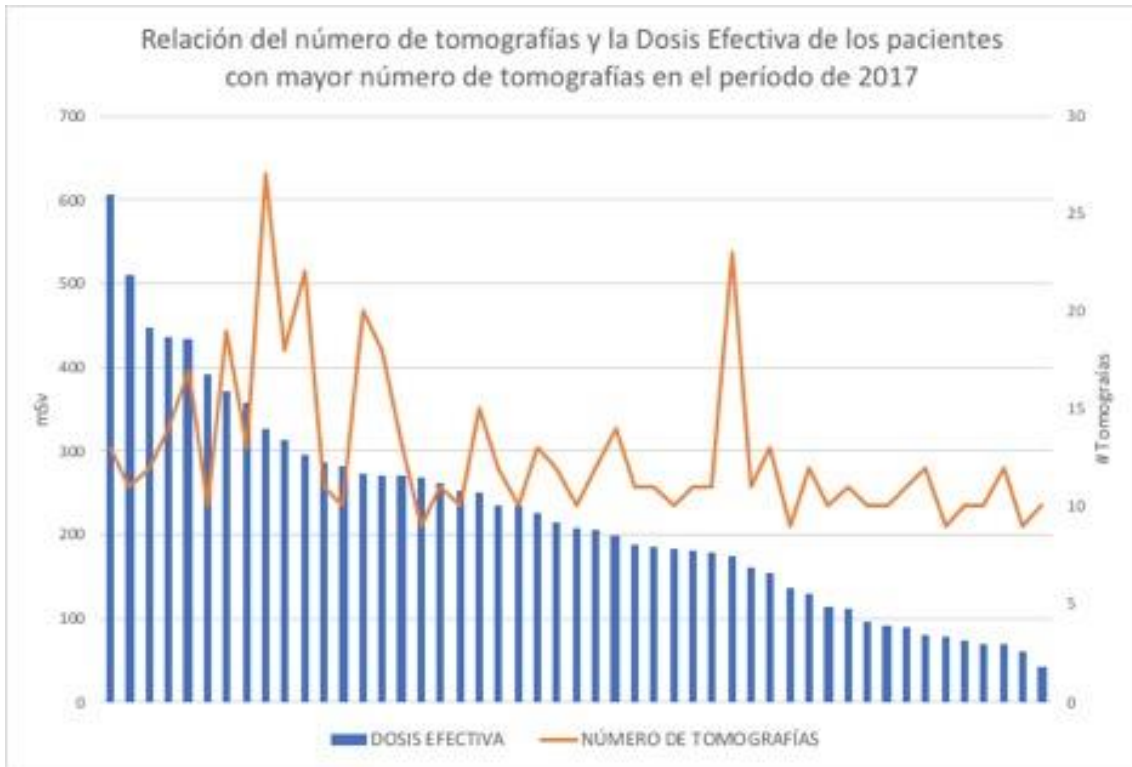


Figura 12. Relación del número de tomografías y la Dosis Efectiva de los pacientes con mayor número de tomografías en 2017

Los 50 pacientes con mayor número de tomografías en cada año y su correspondiente dosis efectiva se distribuye por edad en la población de pacientes con dos o más estudios de tomografía entre los 25 y 80 años de edad de la siguiente manera, por cada período.

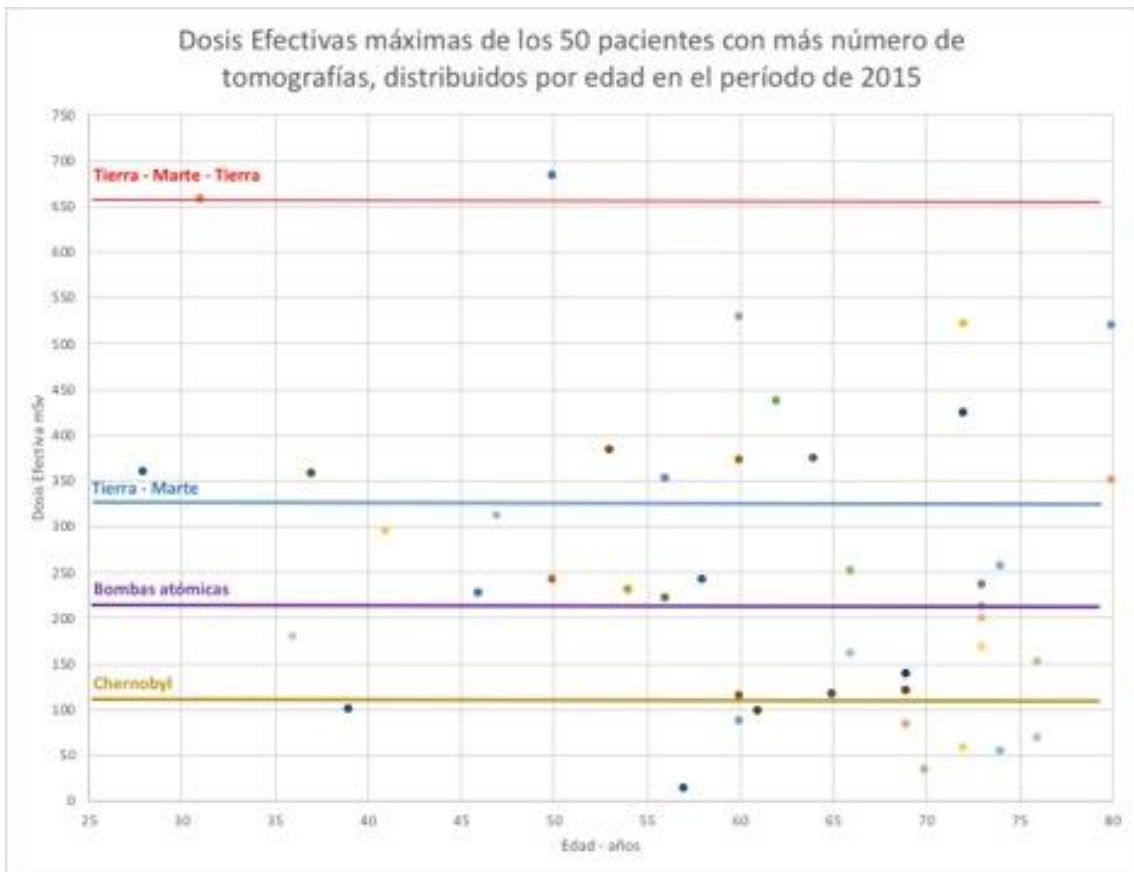


Figura 13. Dosis Efectivas máximas de los 50 pacientes con más número de tomografías, distribuidos por edad en el período de 2015

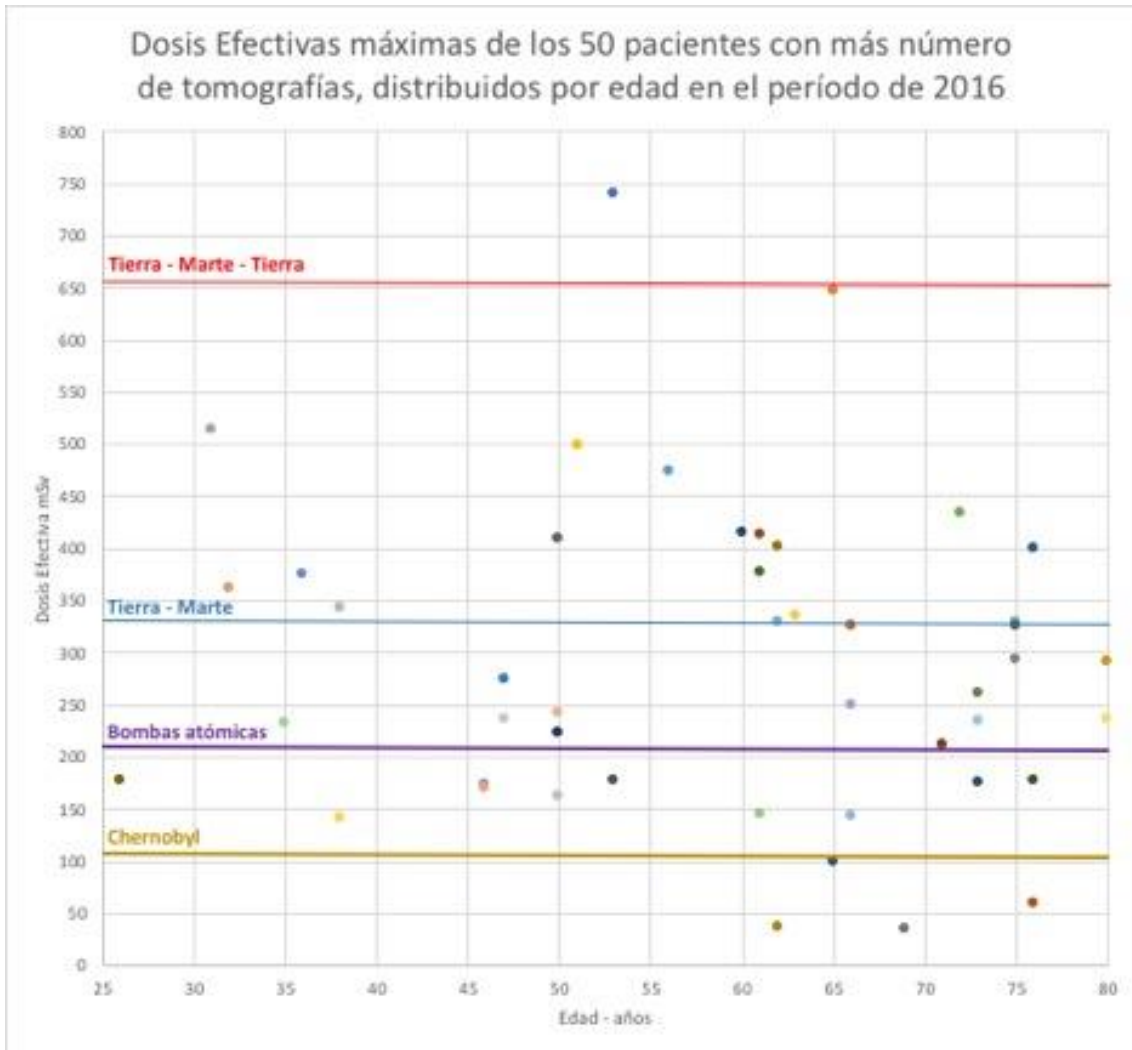


Figura 14. Dosis Efectivas máximas de los 50 pacientes con más número de tomografías, distribuidos por edad en el período de 2016

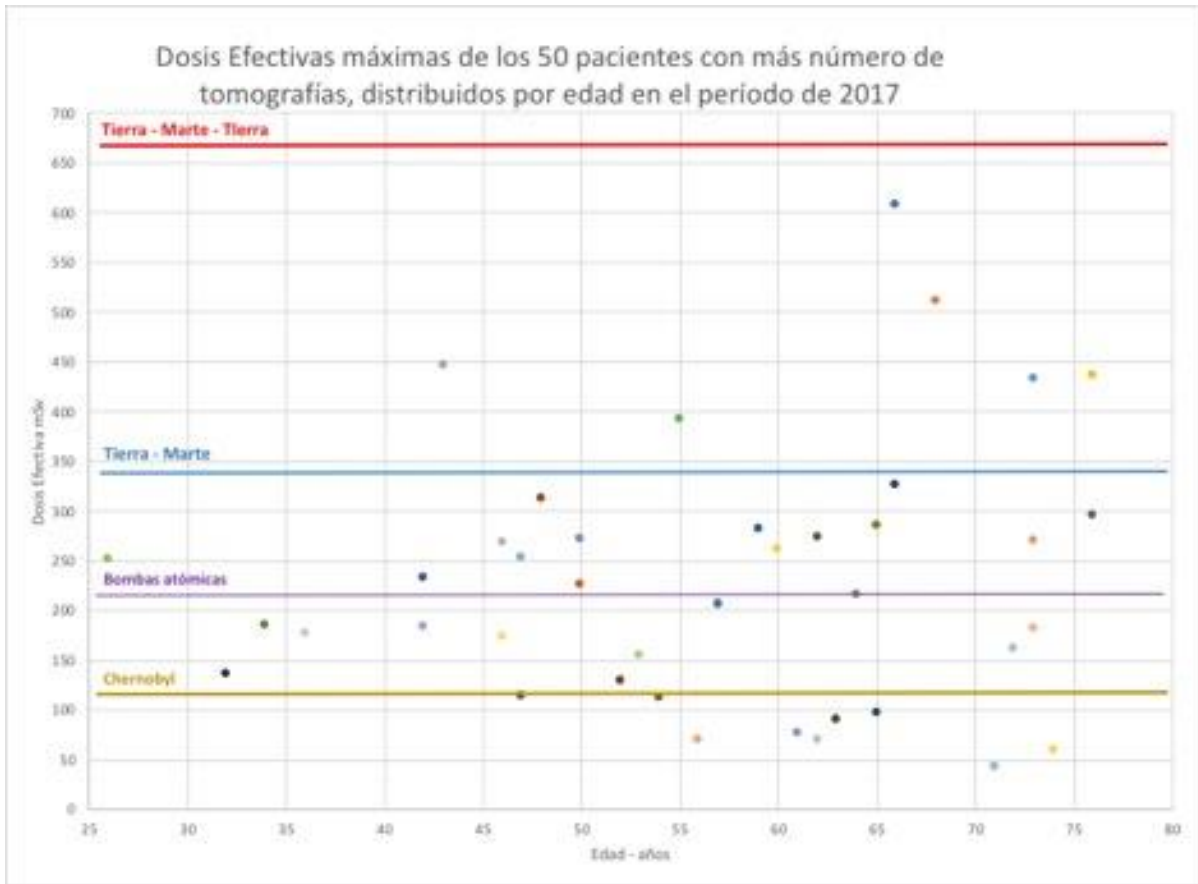


Figura 15. Dosis Efectivas máximas de los 50 pacientes con más número de tomografías, distribuidos por edad en el período de 2017

La media de edad de los 50 pacientes con mayor dosis efectiva en relación al número máximo de tomografías durante los diferentes períodos corresponde a:

Período	Edad promedio - años
2015	58
2016	56
2017	54

La tendencia en cada período de las dosis efectivas de los pacientes, fueron analizadas de mayor a menor, obteniendo la siguiente representación por cada período:

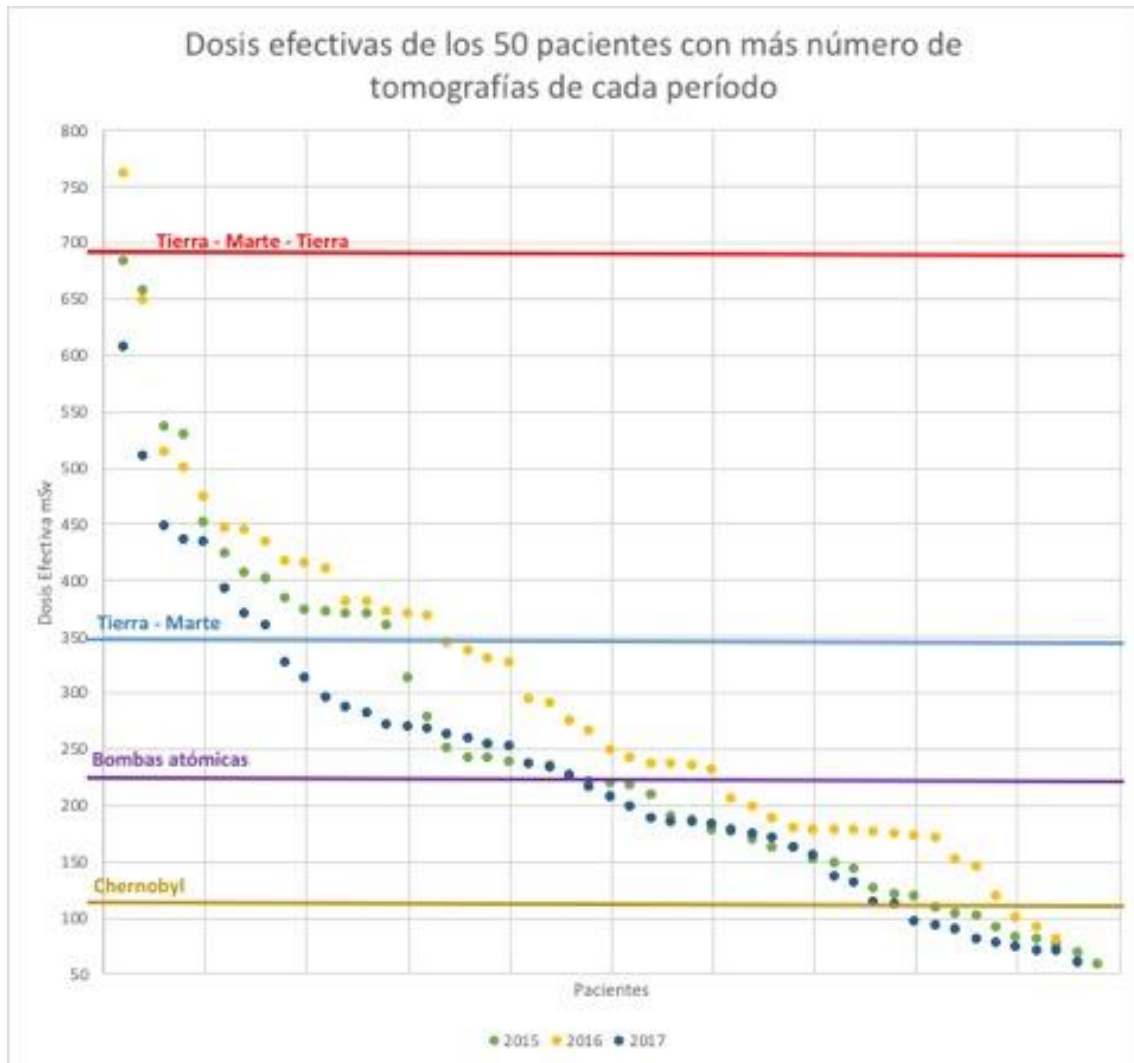


Figura 16. Dosis Efectivas de los 50 pacientes con más número de tomografías de cada período

Las dosis efectivas de los 150 pacientes en los tres diferentes períodos se obtiene un **dosis efectiva promedio de 253.18 mSv**. La cual se encuentra por arriba de la dosis recibida por los sobrevivientes de las bombas atómicas, lo que se describe de la siguiente manera en la población de cada período:

El porcentaje de población que recibió una mayor a los sobrevivientes de las bombas atómicas

BOMBAS ATÓMICAS		
2015	2016	2017
48%	60%	46%

Tabla 3. Dosis Efectivas igual o mayores a la dosis de los sobrevivientes de las bombas atómicas

De estos pacientes, los que recibieron una dosis igual o mayor al viaje interplanetario Tierra – Marte fueron:

TIERRA - MARTE		
2015	2016	2017
58%	60%	43%

Tabla 4. Dosis Efectivas igual o mayores a la dosis del viaje interplanetario Tierra - Marte

Y de estos pacientes lo que acumularon una dosis efectiva igual o mayor al viaje interplanetario Tierra – Marte – Tierra fueron:

TIERRA - MARTE - TIERRA		
2015	2016	2017
14%	11%	0%

Tabla 5. Dosis Efectivas igual o mayores a la dosis del viaje interplanetario Tierra - Marte - Tierra

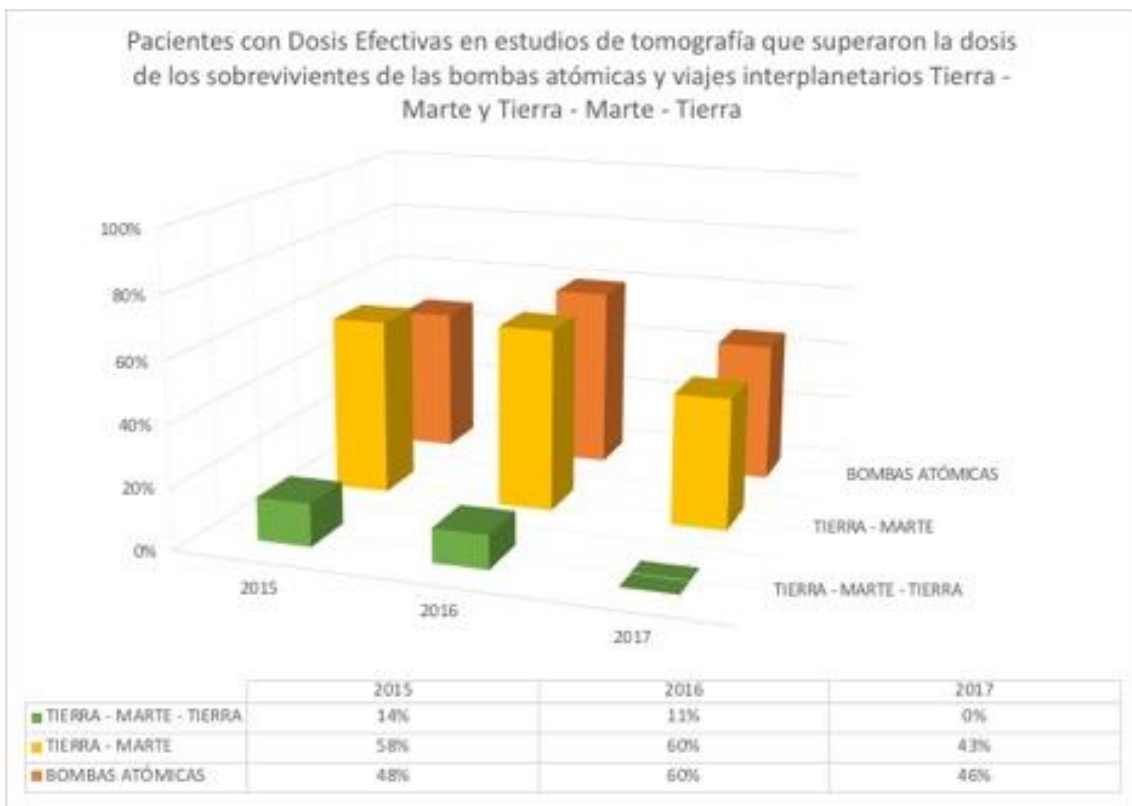


Figura 17. Pacientes con Dosis Efectivas en estudios de tomografía que superaron las dosis de los sobrevivientes de las bombas atómicas y viajes interplanetarios Tierra - Marte y Tierra - Marte - Tierra

En la siguiente tabla están representados los primeros 10 pacientes con mayor dosis efectiva por cada período, así como la cantidad y descripción de los estudios que se realizaron:

PACIENTE	2015		2016		2017				
	# TOMOGRAFIA	PORCENTAJE	# DE TOMOGRAFIAS	TOTAL DE PORCENTAJE	PACIENTE	# DE TOMOGRAFIA DE PORCENTAJE			
PACIENTE 1	TC ABDOMEN COMPLETO	24	683.2623	100	729.665	13	807.17085		
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	4	232.5	34.0272769	7	231.29	31.830609		
	TC ABDOMEN COMPLETO CONTRASTE	1	10.155	1.48622059	1	19.1735	2.6573381		
	TC GUÍA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUDE SET)	5	25.9875	3.80444158	2	81.285	10.8944344		
PACIENTE 2	TC CRANEO SIMPLE	1	10.2816	1.50470814	1	48.285	6.5465666		
	TC GUÍA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUDE SET)	1	7.6795	1.09392656	1	38.055	5.2440751		
	TC ABDOMEN COMPLETO CONTRASTE	1	4.452	0.63126626	1	91.805	12.488524		
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	1	98.28	14.8833422	11	647.566	88.921586		
PACIENTE 3	TC ABDOMEN COMPLETO	1	29.862	4.3726031	5	278.855	38.0635642		
	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	3	41.131	6.01965014	1	11.92	1.65259657		
	TC GUÍA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUDE SET)	19	657.369	100	70.17	10.8359811	11.977	1.6848124	
	TC TORAX	2	5.004	0.71213032	1	64.36	8.91049159	28.42	3.9726107
PACIENTE 4	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	2	36.024	5.13003037	1	45.43	6.305112	26.07	3.6118901
	TC TORAX SIMPLE	2	36.765	5.17083058	1	32.93	4.5790767	7	9.86595
	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	4	52.7627	7.39188928	3	32.93	4.5790767	17	23.880835
	TC ABDOMEN COMPLETO	1	25.8	3.61292855	1	102.915	14.266109	1	1.409
PACIENTE 5	TC CRANEO CONTRASTADA	1	14.9247	2.12525317	1	16.312	2.26292071	1	1.809
	TC TORAX	1	24.08	3.3967446	1	60.312	8.3457933	3	4.134
	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	11	481.965	67.7444858	3	28.485	3.94232903	3	4.134
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	14	521.74515	73.809644	14	698.35	96.097183	1	1.317
PACIENTE 6	TC ABDOMEN COMPLETO	2	18.5015	2.62509644	1	17.37	2.3941039	1	1.912
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	11.205	1.55350156	1	25.61	3.56797866	1	1.912
	TC TORAX	1	10.686	1.48979479	1	70.395	9.7129878	17	23.391321
	TC TORAX SIMPLE	1	38.505	5.3267878	1	129.31	17.613166	4	5.3785
PACIENTE 7	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	1	20.05	2.80383053	12	473.6444	65.320238	1	1.16895
	TOMC ANGIOGRAFIA DE VASOS PULMONARES (MEDIOS DE CONTRASTE)	3	50.1875	6.9452269	2	45.765	6.2922046	1	1.355
	TC CRANEO CONTRASTADA	1	87.15	11.9442072	1	7.7784	1.0622382	3	4.134
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	15.93	2.19451182	2	97.35	13.3220205	2	2.675
PACIENTE 8	TC DE CUELLO CON CONTRASTE	1	1.904	0.26371712	1	43.8852	5.982	1	1.3154
	TC PULVIS	1	15.93	2.19451182	4	75.105	10.36031	12	16.4119
	TC SECURIDAD TRALINA	1	21.25	2.9128892	3	121.805	16.859978	1	1.355
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	1	51.08	6.9889886	1	45.76	6.2922046	1	1.355
PACIENTE 9	TC TORAX SIMPLE	4	26.9402	3.75289886	1	16.76	2.3042528	1	1.355
	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	31.485	4.32632752	3	31.005	4.2416983	1	1.355
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	4	127.785	17.4464952	3	45.485	6.2922046	2	2.675
	TOMC ANGIOGRAFIA ABDOMINAL	1	15.93	2.19451182	1	37.38	5.1152624	4	5.3785
PACIENTE 10	TC ABDOMEN COMPLETO	19	433.19	60.390774	13	484.24	66.660025	5	7.047
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	2	14.49	2.00393951	1	31.33	4.30660025	2	2.675
	TC COLUMNA (2 REGIONES)	1	15.925	2.19451182	1	9.45	1.2922821	2	2.675
	TC PULVIS	1	6.99	0.95740053	1	15.18	2.0864279	27	36.181
PACIENTE 11	TC TORAX SIMPLE	6	113.10	15.693822	14	423.225	58.681112	6	8.189
	TC CRANEO CONTRASTADA	2	11.6479	1.61537811	4	78.315	10.767649	6	8.189
	TC CRANEO SIMPLE	1	3.20745	0.44033383	5	186.66	25.926135	5	6.711
	TC GUÍA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUDE SET)	11	365.895	50.50043701	1	32.075	4.3649846	4	5.3785
PACIENTE 12	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	7	184.1859	25.766952	1	55.8	7.63167215	4	5.3785
	TC ABDOMEN COMPLETO	1	373.0995	51.406952	1	2.87	0.39521489	18	24.0718
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	4	48.385	6.6561148	1	42.06	5.76844105	1	1.355
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	4	118.5195	16.31760215	21	411.2045	56.484402	2	2.675
PACIENTE 13	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	31.005	4.2661148	1	208.79145	28.779283	100	13.539
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	12	372.2426	51.406952	1	28.475	3.9080004	2	2.675
	TC CRANEO CONTRASTADA	4	21.5746	2.96123117	1	57.684	7.9168995	3	4.134
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	8	348.25	48.1682668	5	30.684	4.232319	1	1.355
PACIENTE 14	TC ABDOMEN COMPLETO	11	398.995	54.832761	3	17.08	2.34587175	24	32.653
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	6	173.79	23.927054	1	28.14	3.8433444	1	1.355
	TC GUÍA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUDE SET)	1	42.06	5.76844105	1	28.14	3.8433444	2	2.675
	TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	3	31.95	4.3649846	12	401.24	54.832761	3	4.134
PACIENTE 15	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	3	111.795	15.4814195	4	84.585	11.6795468	9	12.488524
	TC ABDOMEN COMPLETO	1	4.805	0.66129638	1	179.985	24.6184116	7	9.86595
	TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	4.805	0.66129638	1	4.805	0.66129638	1	0.66129638
	TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	2	76.765	10.66129638	2	76.765	10.66129638	2	3.311977

Tabla 6. Descripción de las Dosis Efectivas, número y descripción de las tomografías en los primeros 10 pacientes de cada período.

De lo anterior se observa la relación de la región estudiada por tomografía y las dosis efectivas, identificando una tendencia de los estudios que aportan más radiación ionizante, en los 10 pacientes de cada período con mayor dosis efectiva según el número de tomografías, se ejemplifican por cada período:

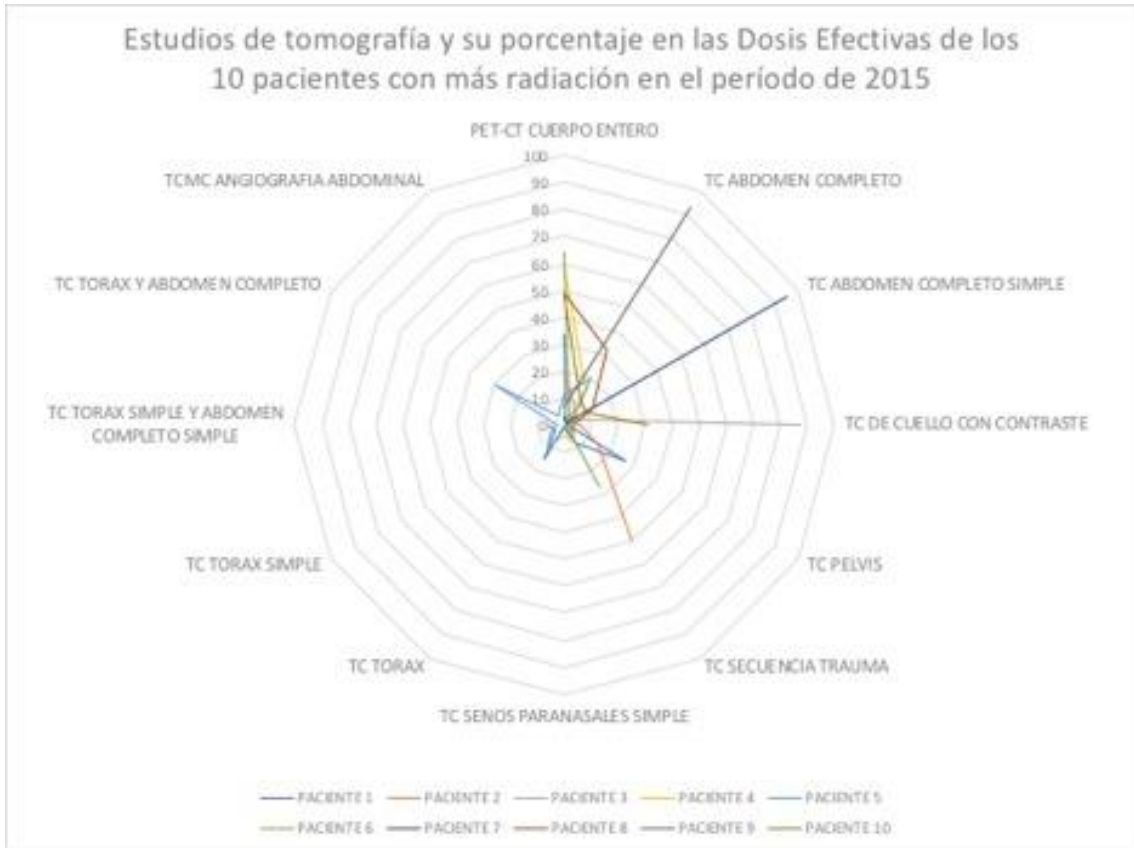


Figura 18. Estudios de tomografía y su porcentaje en las Dosis Efectivas de los 10 pacientes con más radiación en 2015

Estudios de tomografía y su porcentaje en las Dosis Efectivas de los 10 pacientes con más radiación en el período de 2016

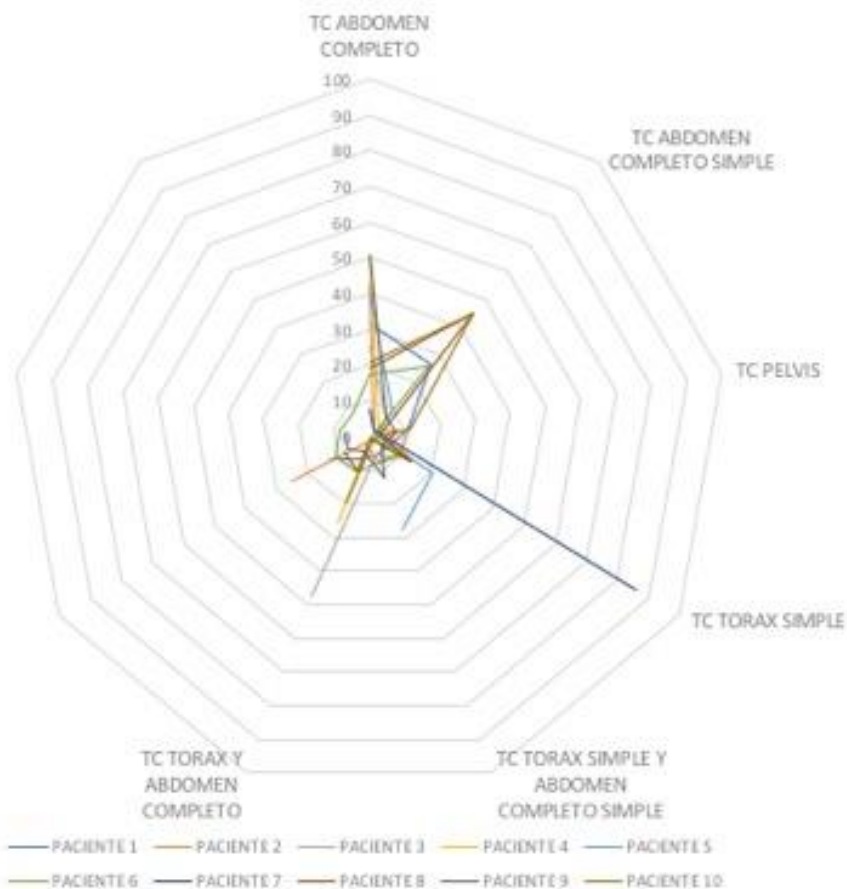


Figura 19. Estudios de tomografía y su porcentaje en las Dosis Efectivas de los 10 pacientes con más radiación en 2016

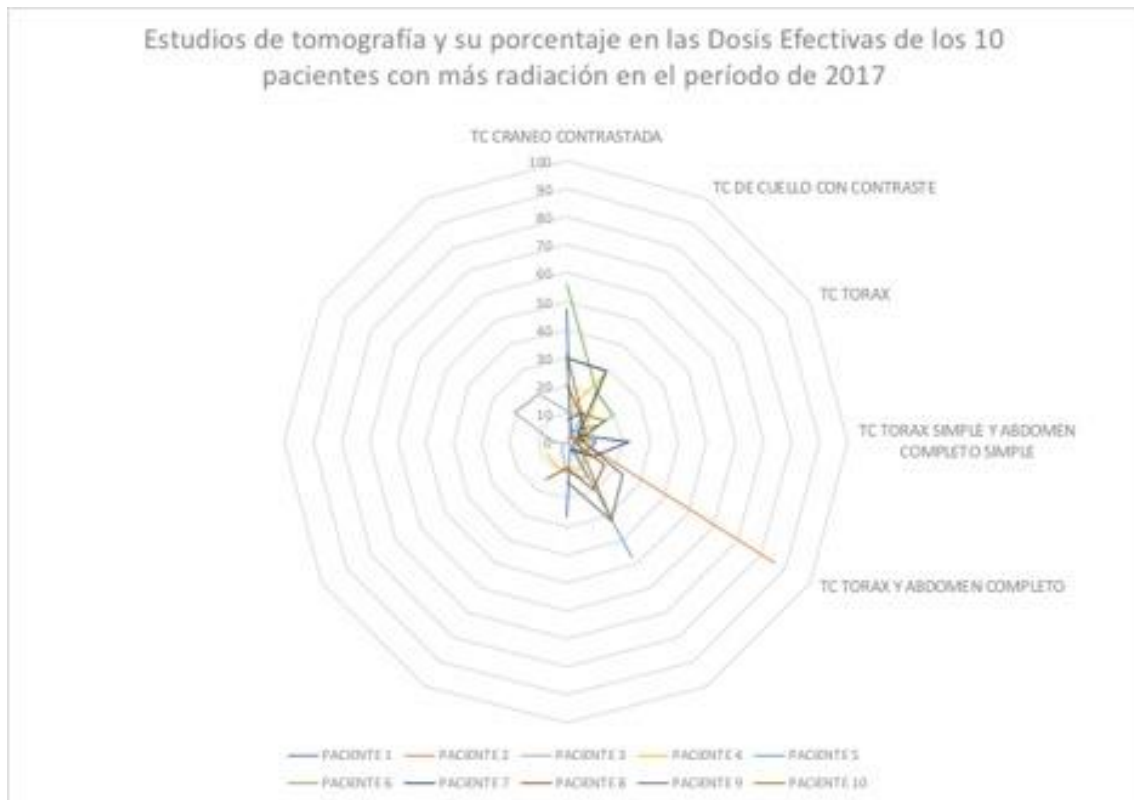


Figura 20. Estudios de tomografía y su porcentaje en las Dosis Efectivas de los 10 pacientes con más radiación en 2017

En los tres períodos existe una relación entre los estudios con mayor dosis efectiva en los pacientes, que corresponden a los estudios más solicitados y a los que radian las regiones de órganos más radio sensibles; por ejemplo tomografías de tórax y abdomen en fase simple y contrastada, así como radiación de cuerpo completo en los estudios de PET-CT y secuencia trauma.

15. DISCUSIÓN

En lo que corresponde al análisis en la población de pacientes del Hospital Médica Sur, durante los tres períodos, a quienes se les realizan estudios de tomografía en fase simple o contrastada, se observó que no existe una diferencia de número de tomografías entre géneros.

Se debe considerar que el 81% de la población está representado entre las edades de 25 y 80 años, que se seleccionó con propósito de las edades de astronautas que han estado en órbita.

Sin embargo, llama la atención que en esta población, del total de pacientes a los que se les solicita estudios de tomografía, un promedio del 50% en los tres períodos tuvieron por lo menos 2 tomografías en un año, lo cual debe de considerarse que si el estudio de tomografía realizado fue contrastado, este a pesar de representar un solo cargo administrativo, técnicamente se realiza con varias fases, por lo que hay que suponer según los protocolos del Hospital Médica Sur, que una tomografía contrastada por ejemplo de abdomen, equivale al rastreo de 5 tomografías simples. En estos casos el uso de medio de contraste como se describió en base a la teoría tiene interacción con los órganos, sin embargo hasta la fecha no ha sido esta variable incluida en las fórmulas utilizadas y aprobadas para el cálculo de dosis efectivas, por lo que la dosis de radiación ionizante que aportaría el uso de medio de contraste en los pacientes del Hospital Médica sur para fines de este estudio no se consideró.

En relación al cargo administrativo de los estudios de tomografía solicitados en los tres períodos, los primeros 6 estudios (PET-CT, estudios en fase simple de tórax, abdomen y cráneo y estudios contrastados de tórax y abdomen) se mantienen constantes en relación al número de veces que son solicitados, y que suman en cada período cerca del 70% del total de las tomografías.

Al analizar la relación de las dosis efectivas obtenidas por la suma de las dosis efectivas de cada estudio, se observó que la dosis de radiación está en relación al número de estudios de aquellos que otorgan mayor dosis efectiva, y esto a su vez corresponde a aquellas tomografías que estudian las regiones anatómicas con los órganos más radio sensibles, según Monte Carlo y que la fórmula de ña Comisión Europea, utilizada para la dosis efectiva por tomografía, lo considera con los valores K de mayor valor, como son tórax, abdomen y pelvis.

Sin embargo llama la atención que en los tres períodos existen pacientes diferentes e incluso entre un mismo paciente una tomografía con la misma descripción administrativa, por ejemplo "TC abdomen completo" que hace referencia a un estudio contrastado, contribuye dosis efectivas no homogéneas, ni en relación a la dosis efectivas promedio reportadas en la literatura.

Por ejemplo los dos pacientes con mayor dosis efectiva en 2015:

	# TOMOGRAFÍAS	DE
PACIENTE 1	24	683.2623
TC ABDOMEN COMPLETO	4	232.5
TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	1	10.155
TC CRANEO CONTRASTADA	4	25.9875
TC CRANEO SIMPLE	5	10.2816
TC GUIA DE BIOPSIA (CARE VISION NO INCLUYE SET)	2	177.675
TC PELVIS	1	52.935
TC SENOS PARANASALES SIMPLE	1	4.4562
TC TORAX	2	98.28
TC TORAX SIMPLE	1	29.862
TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	3	41.13
PACIENTE 2	19	657.369
TC ABDOMEN COMPLETO	5	128.37
TC ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	2	50.04
TC PELVIS	1	15.645
TC TORAX SIMPLE	2	36.624
TC TORAX SIMPLE Y ABDOMEN COMPLETO SIMPLE	3	96.765
TC TORAX Y ABDOMEN COMPLETO	6	329.925

Tabla 7. Pacientes con mayor dosis efectiva en 2015

En la tabla anterior se ilustra en el Paciente 1, que 4 tomografías de abdomen contrastado aporta más dosis efectiva que 5 estudios realizados en el paciente 2, con una diferencia de 104 mSv.

Si analizamos con mayor detalle la dosis efectiva de estos paciente y sus estudios:

Partiendo de una aritmética simple para analizar la dosis efectiva de las tomografías de abdomen en fase simple y contrastada en los dos pacientes:

Paciente 1:

1 TC abdomen simple = 10.155 mSv

4 TC abdomen contrastado = 232.5 mSv

232 dividido entre 4 es igual a 58 mSv que inferimos sean protocolos idénticos los utilizados en la obtención de este estudio, por lo que cada protocolo de tomografía le corresponden 58 mSv, esto dividido a su vez entre 10.1 que es la dosis efectiva utilizada en una fase simple del mismo protocolo, es igual a 5.8 por lo que inferimos que el protocolo de tomografía de Abdomen contrastado en el hospital de Médica Sur, se realiza con 5 – 6 fases, y que un cargo administrativo de TC abdomen

completo se puede interpretar sería equivalente en dosis de radiación a 5- 6 TC abdomen simple.

En comparación con los datos reportados internacionalmente la dosis efectiva calculada para una TC de abdomen y pelvis, que es la región comparable con el protocolo del Hospital Médica Sur es de 8 – 14 mSv, lo cual en el caso de este paciente la dosis de 10.155 mSv en una fase de TC de abdomen está dentro de los valores esperados, sin embargo observamos la dosis efectiva que le corresponde por el mismo tipo de estudio al Paciente 2, que es de 25.02 mSv por una TC abdomen simple, es incongruente un 250% más de dosis efectiva por el mismo estudio.

Y sucede la misma situación entre estos pacientes si analizamos las dosis por una TC de pelvis, donde el Paciente 2 tiene una dosis efectiva igual a 15.64 mSv, mientras la dosis esperada por reportes internacionales es de 3 – 6 mSv, sin embargo el Paciente 1 por la misma tomografía tiene una dosis efectiva 52.93 mSv, es decir 338.2 % más que el Paciente 2, y 882% más radiación que lo establecido por la literatura. Este fenómeno se observó en diferentes estudios entre la mayoría de los pacientes.

Por lo que se infiere que alguna de las variables en relación a factores técnicos y/o de planeación en la adquisición de los estudios podría estar generando estas discrepancias.

Se revisaron los protocolos de estudios en el equipo de tomografía Somatom, donde se realizan más del 50% de los estudios.

En el menú de selección de protocolos del equipo de tomografía Somatom existen en la mayoría de los protocolos por región anatómica, por lo menos 2 protocolos para realizar el mismo estudio.



Figura 21. Menú de selección de protocolos del equipo de tomografía Somatom

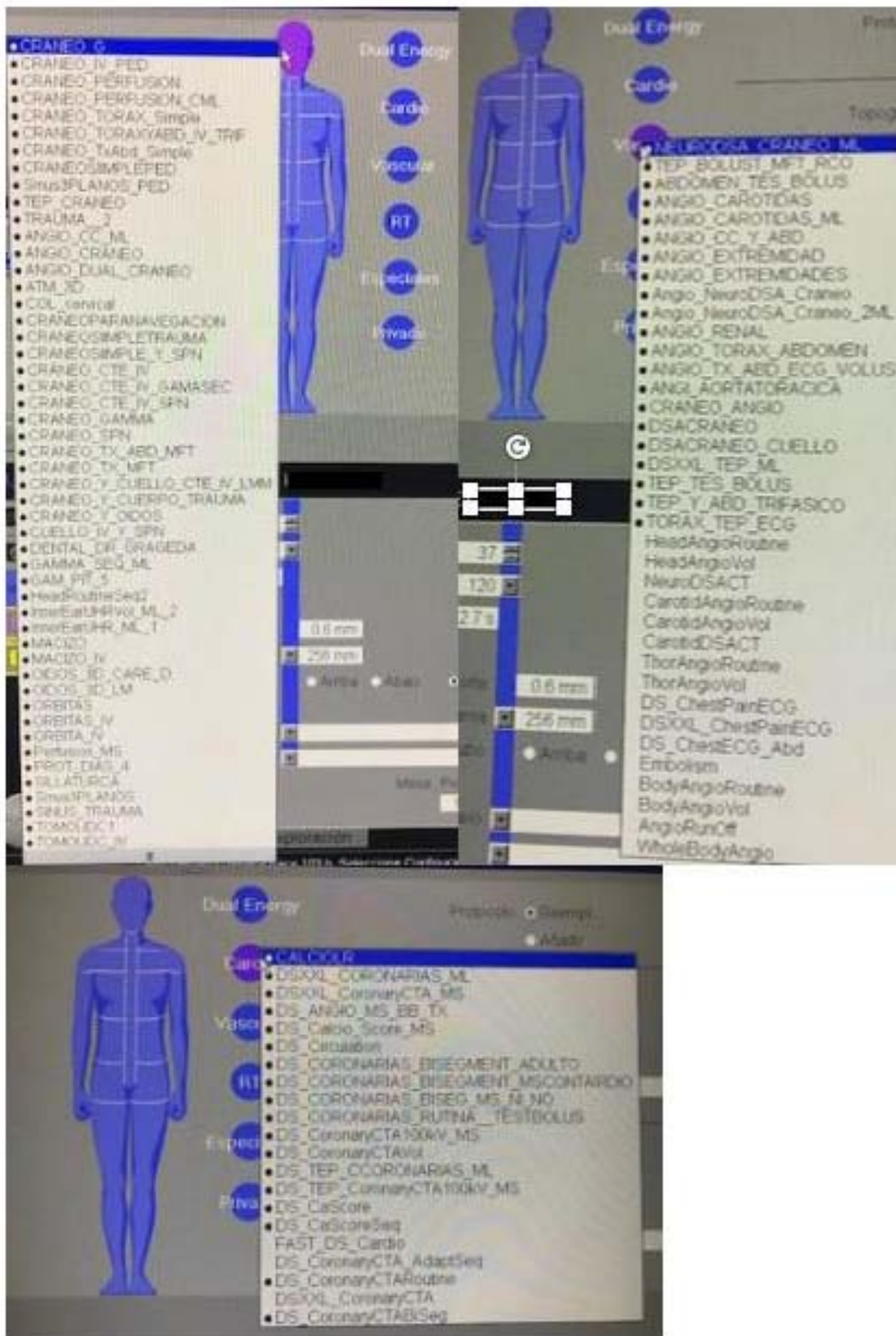


Figura 22. Menú de selección de protocolos del equipo de tomografía Somatom

Por ejemplo en el Hospital de Médica Sur, para realizar una tomografía de abdomen existen $4.467753108 \times 10^{11}$ (446 775 310 800) de combinaciones entre 19 operadores y 42 diferentes protocolos, disponibles en el menú de la región de abdomen. Considerando que en este número de combinaciones no estamos tomando en cuenta los protocolos que incluyen abdomen y que están en los otros menús del tomógrafo.

A continuación se ejemplifican algunos de los parámetros técnicos de los protocolos más utilizados para tomografía de abdomen, estos parámetros son variables que afectan la dosis de radiación ionizantes, y podemos observar no sólo la heterogeneidad entre protocolos, sino incluso en un mismo protocolo como estos parámetros varían entre fases en el caso de protocolos para estudios contrastados.

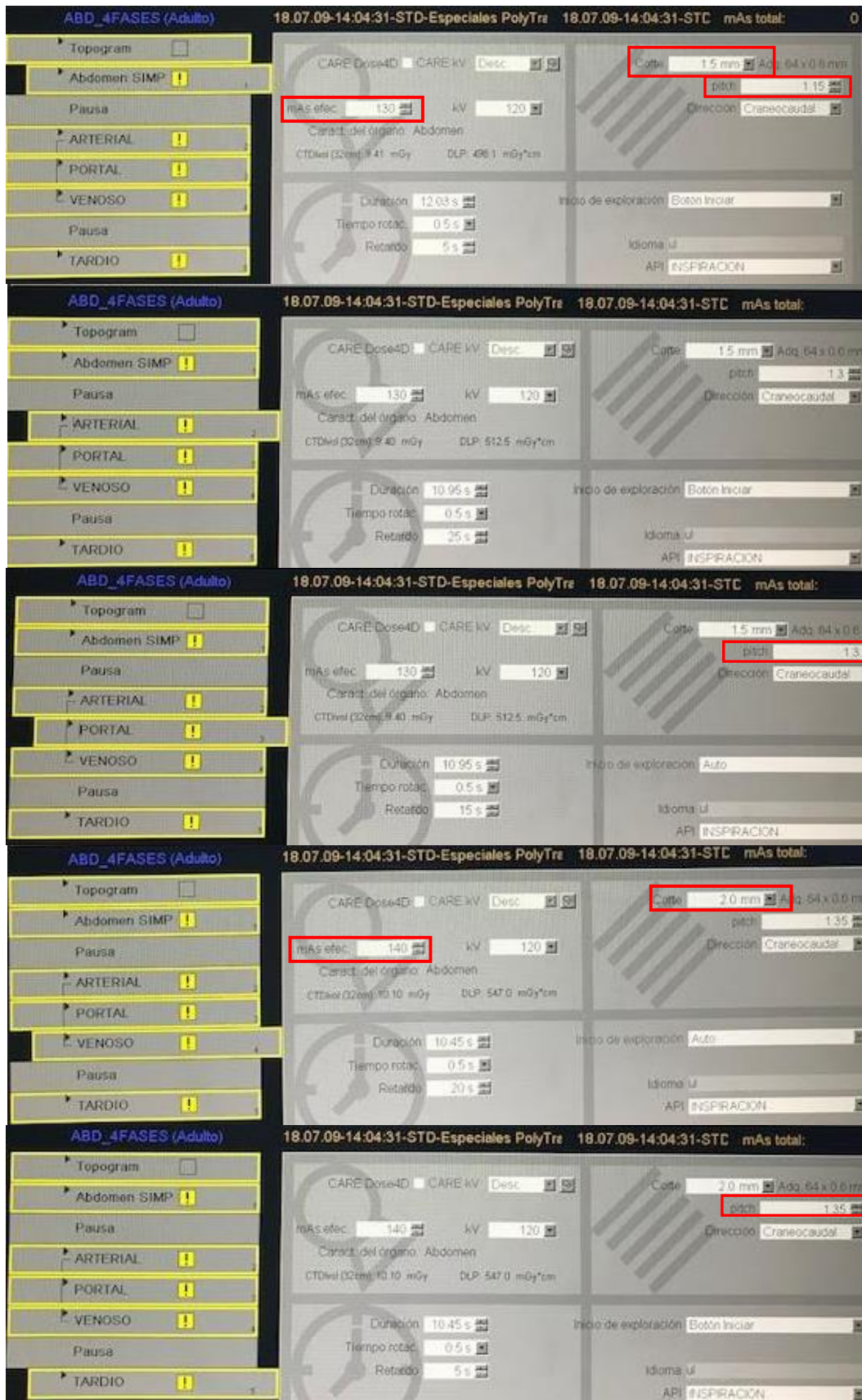


Figura 23. Protocolo: Abdomen 4 fases



Figura 24. Protocolo UROTAC 5 fases

La variabilidad de los factores técnicos impacta en las dosis de radiación. En seguida se ejemplifican diferentes pacientes con variabilidad de factores técnicos como el mAs y la colimación para el mismo estudio y se observa la diferencia de DLP obtenido, que está en relación directa con la dosis efectiva.

28-Dec-2017 12:16							
Sección:							
Médico examinador:							
Técnico:							
mAs total 4485		DLP total 590 mGycm					
Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol* mGy	DLP mGycm	TI s	cSL mm	
Posición del paciente H-SP							
Topograma	1	120	36 mA	0.14 L	10	7.8	0.6
TX.Y ABD.SIM	2	120	91 / 110	6.56 L	580	0.5	0.6

01-Nov-2017 12:53							
Sección:							
Médico examinador:							
Técnico:							
mAs total 27490		DLP total 3787 mGycm					
Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol* mGy	DLP mGycm	TI s	cSL mm	
Posición del paciente H-SP							
Topograma	1	120	36 mA	0.14 L	12	9.0	0.6
Torax-ABD SIM	2	120	199 / 110	14.41 L	1187	0.5	0.6
Tx-ABD ART.	3	120	218 / 110	15.77 L	1028	0.5	0.6
PORTAL	4	120	200 / 110	15.12 L	595	0.5	0.6
Tx-ABD VEN	5	120	160	11.47 L	945	0.5	0.6

10-Mar-2015 12:01							
Sección:							
Médico examinador:							
Técnico:							
mAs total 31835		DLP total 6536 mGycm					
Scan	kV	mAs / ref.	CTDIvol* mGy	DLP mGycm	TI s	cSL mm	
Posición del paciente H-SP							
Topograma	1	120	37 mA	0.14 L	13	9.6	0.6
CRANEO SIM	2	120	330	44.21 S	1030	1.0	0.6
TX Y ABD	3	120	220	14.48 L	1115	0.5	1.2
TX Y ABD	4	120	220	14.48 L	1115	0.5	1.2
TX Y ABD	5	120	220	14.48 L	1119	0.5	1.2
CRANEO SIM	6	120	330	44.38 S	1034	1.0	0.6
TARDIO	7	120	220	14.48 L	1110	0.5	1.2

Figura 25. Protocolo de diferentes pacientes con tomografías de "tórax y abdomen"

Tomografía Tórax y Abdomen	Paciente 1	Paciente 2	Paciente 3
<i>DLP – mGycm</i>	580	1187	1115
DE (DLP*k)- mSv	8.7	17.805	16.725
<i>Porcentaje en relación al estudio con menor DE</i>	100%	205%	192%
Comparación reportes internacionales de DE (8 mSv)	109%	223%	209%

De estos mismo estudios se presentan las 3 imágenes correspondientes en un mismo corte, donde la diferencia entre imágenes a simple apreciación podría corresponder con la granulación de la imagen. Sin embargo la obtención de la segunda imagen corresponde al 205% más de dosis efectiva que la del primer paciente.

Si se considera que los estudios de tomografía de cada paciente cumplen con el criterio ALARA, independientemente de esto la variabilidad entre los operadores y protocolos de estudio de tomografía, son factores que pueden aumentar o disminuir la dosis efectiva de los pacientes.

Así como la variabilidad de las múltiples fases con las que se programan los estudios, pues es importante revisar la utilidad de cada fase en relación al diagnóstico clínico presuntivo para una optimización de las dosis de radiación y diagnósticos por imagen.

En la siguiente imagen se demuestra la variabilidad de fases en los protocolos para un mismo estudio.



Figura 26. Diferentes protocolos para realizar Angiotomografías renales y Urotomografías

En el caso de los pacientes entre los 25 y 35 años de edad, que han recibido en el Hospital de Médica Sur estas dosis efectivas que superan a la dosis de los sobrevivientes de las bombas atómicas, habría que preguntarse que posibilidad tienen de regresar por el mismo u otro

padecimiento en 50 – 40 años que por estadística tienen de expectativa de vida, y sumar las mismas o mayores dosis efectivas de radiación. Ya que para fines de riesgos biológicos, la dosis efectiva es sumatoria.

16. CONCLUSIONES

1. En el Hospital de Médica Sur, existen pacientes que en un año han recibido una dosis efectiva equivalente a la recibida por los astronautas en el viaje interplanetario: Tierra – Marte – Tierra.
2. El uso de de la tomografía como método diagnóstico por imagen ha incrementado su uso de manera exponencial, lo que ha llevado a mayores dosis de radiación ionizante a las que son sometidos hoy en día los pacientes. En el Hospital de Médica Sur, entre le año de 2015 y 2016 existe un aumento del 14% de la dosis efectiva promedio de los 50 pacientes con más número de tomografías de cada período. Sin embargo la energía no se crea ni se destruye, y a toda acción le corresponde una reacción, considerando que la radiación ionizante tiene efectos biológicos y que la dosis efectiva es acumulativa a través de los años, debemos de crear una conciencia de uso razonable de la tomografía, al apegar la práctica clínica - radiológica y la correcta operación del tomógrafo al criterio ALARA, así como mantener una buena comunicación entre médicos clínicos, radiólogos y técnicos radiólogos.
3. Los estudios de tomografía más solicitados en el Hospital de Médica Sur, corresponden a la exploración de los órganos más radio sensibles, a su vez lo estudios que por consecuencia suman más dosis efectiva en los pacientes.
4. Las dosis efectivas promedio de los 150 pacientes con más número de tomografías en los años 2015, 2016 y 2017 están por arriba de las dosis recibidas por los sobrevivientes de las bombas atómicas.
5. Del análisis de las 150 dosis efectivas, el 51% están por arriba de las dosis de los sobrevivientes de las bombas atómicas, de estas el 55%

corresponden a dosis similares al viaje interplanetario de Tierra – Marte y a su vez de estas el 10% a Tierra – Marte – Tierra.

Considerando que un astronauta percibe las dosis de una manera constante, “homogénea” en el tiempo y a cuerpo completo, mientras más de la mitad de los pacientes analizados en el período de un año, suman el total de sus dosis efectivas en períodos de 1 a 3 meses promedio que tiene de duración su estancia hospitalaria.

6. El uso responsable de la radiación ionizante involucra al médico clínico quien solicita el estudio, así como la autonomía del paciente, técnicos y médicos radiólogos, debiendo de establecerse una adecuada comunicación en beneficio del paciente.
7. La aplicación de protocolos de tomografía de forma indiscriminada a todos los pacientes sin ser valorados de forma individualizada por su padecimiento o el motivo médico de envío al servicio de radiología, podría ser motivo de dosis efectivas mayores, debido a un promedio de 6 fases (tomografías) por protocolo en cada visita.
8. La tendencia del número de tomografías durante 2015, 2016 y 2017 y su distribución en la población por edad y género, así como los estudios de tomografía más solicitados, los pacientes con mayor número de tomografías y sus dosis efectivas mantienen un comportamiento similar entre sí, lo que sugiere que en el servicio de tomografía no se modifican las conductas de operabilidad y/o actualización teórico-técnica, que podría observarse en una retroalimentación o autocrítica en cambios que beneficien al paciente con menores dosis de radiación y al grupo médico con estudios de imagen de mayor calidad diagnóstica.
9. La variabilidad entre operadores, cantidad de protocolos y parámetros técnicos entre protocolos o en un mismo protocolo son variables, que impactan directamente en la dosis efectiva de los pacientes.

10. El desconocimiento de la teoría y técnica de la tomografía hace susceptible a sus operadores y servicio de radiología en general a cometer errores, que pueden tener una repercusión en tener dosis de radiación ionizante mayores en pacientes, sin un beneficio significativo en la calidad de la imagen, o en caso contrario imágenes de poco valor diagnóstico.

17. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Amato, E., Salamone, I., Naso, S., Bottari, A., Gaeta, M., & Blandino, A. (2013). Can Contrast Media Increase Organ Doses in CT Examinations? A Clinical Study. *American Journal of Roentgenology*, 200(6), 1288–1293. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.8958>
- Barrett, H. H., Myers, K. J., Hoeschen, C., Kupinski, M. A., & Little, M. P. (2015). Task-based measures of image quality and their relation to radiation dose and patient risk. *Physics in Medicine and Biology*, 60(2), R1–R75. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/60/2/R1>
- Berrington de Gonzalez, A., & Kleinerman, R. A. (2015). CT Scanning: Is the Contrast Material Enhancing the Radiation Dose and Cancer Risk as Well as the Image? *Radiology*, 275(3), 627–629. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015150605>
- Boerma, M. (2015). Space radiation and cardiovascular disease risk. *World Journal of Cardiology*, 7(12), 882. <https://doi.org/10.4330/wjc.v7.i12.882>
- Boone, J. M., Brink, J. A., Edyvean, S., Huda, W., Leitz, W., McCollough, C. H., & McNitt-Gray, M. F. (2012). 4. Overview of Existing CT-Dosimetry Methods. *Journal of the ICRU*, 12(1), 35–45. <https://doi.org/10.1093/jicru/nds004>
- Chancellor, J. C., Blue, R. S., Cengel, K. A., Auñón-Chancellor, S. M., Rubins, K. H., Katzgraber, H. G., & Kennedy, A. R. (2018). Limitations in predicting the space radiation health risk for exploration astronauts. *Npj Microgravity*, 4(1), 8. <https://doi.org/10.1038/s41526-018-0043-2>
- Chancellor, J. C., Guetersloh, S., Cengel, K., Ford, J., & Katzgraber, H. G. (2017). Emulation of the space radiation environment for materials testing and radiobiological experiments. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1706.02727>
- Chancellor, J., Scott, G., & Sutton, J. (2014). Space Radiation: The Number One Risk to Astronaut Health beyond Low Earth Orbit. *Life*, 4(3), 491–510. <https://doi.org/10.3390/life4030491>
- Charles W. Lloyd, P. . (n.d.). *Space Radiation*. (M. A. N. H. R. P. E. Scott Townsend, and Communications Radiation iBook Project Coordinator, Katherine K. Reeves, A. & I. Conversion, J. F. and A. P. M. Melissa Saffold Fitzpatrick, J. F. and A. G. D. Jack Mulvaney, & L. A. & D. Bob Sauls, XP4D, Eds.). NASA Human Research Program. Retrieved from https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/space_radiation_ebook.pdf

- Christner, J. A., Kofler, J. M., & McCollough, C. H. (2010). Estimating Effective Dose for CT Using Dose–Length Product Compared With Using Organ Doses: Consequences of Adopting International Commission on Radiological Protection Publication 103 or Dual-Energy Scanning. *American Journal of Roentgenology*, 194(4), 881–889. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.3462>
- Collins, L., & Willi Kalender, A. (n.d.). Managing Patient Dose in Multi-Detector Computed Tomography (MDCT). Retrieved from http://www.icrp.org/docs/ICRP-MDCT-for_web_cons_32_219_06.pdf
- Costello, J. E., Cecava, N. D., Tucker, J. E., & Bau, J. L. (2013). CT Radiation Dose: Current Controversies and Dose Reduction Strategies. *American Journal of Roentgenology*, 201(6), 1283–1290. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9720>
- Cucinotta, F. A., & Durante, M. (2006). Cancer risk from exposure to galactic cosmic rays: implications for space exploration by human beings. *The Lancet Oncology*, 7(5), 431–435. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(06\)70695-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(06)70695-7)
- Cucinotta, F. A., Kim, M.-H. Y., Willingham, V., & George, K. A. (2008). Physical and Biological Organ Dosimetry Analysis for International Space Station Astronauts. *Radiation Research*, 170(1), 127–138. <https://doi.org/10.1667/RR1330.1>
- Dachev, T. P. (2013). Profile of the ionizing radiation exposure between the Earth surface and free space. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 102, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2013.05.015>
- Galeon, Dom; Houser, K. (2017). Elon Musk Sets September as a Target for the Next Mission to Mars Update. Retrieved May 10, 2018, from <https://futurism.com/elon-musk-sets-september-as-a-target-for-the-next-mission-to-mars-update/>
- Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (n.d.). *Radiobiology for the radiologist*. Retrieved from <https://docslide.us/documents/radiobiology-for-the-radiologist-7e-2012-pdf-unitedvrg.html>
- Hendee, W. R., Becker, G. J., Borgstede, J. P., Bosma, J., Casarella, W. J., Erickson, B. A., ... Wallner, P. E. (2010). Addressing Overutilization in Medical Imaging. *Radiology*, 257(1), 240–245. <https://doi.org/10.1148/radiol.10100063>
- Huda, W., Magill, D., & He, W. (2011). CT effective dose per dose length product using ICRP 103 weighting factors. *Medical Physics*, 38(3), 1261–1265. <https://doi.org/10.1118/1.3544350>
- Huda, W., & Mettler, F. A. (2011). Volume CT Dose Index and Dose-Length Product Displayed during CT: What Good Are They? *Radiology*, 258(1),

- 236–242. <https://doi.org/10.1148/radiol.10100297>
- Huff, J. L. (2014). NASA Technical Reports Server (NTRS) 20140005866: Space Radiation and Risks to Human Health : NASA Technical Reports Server (NTRS) : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive. Retrieved May 10, 2018, from https://archive.org/details/NASA_NTRS_Archive_20140005866
- Maldjian, P. D., & Goldman, A. R. (2013). Reducing Radiation Dose in Body CT: A Primer on Dose Metrics and Key CT Technical Parameters. *American Journal of Roentgenology*, 200(4), 741–747. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9768>
- McCullough, C. H., Christner, J. A., & Kofler, J. M. (2010). How Effective Is Effective Dose as a Predictor of Radiation Risk? *American Journal of Roentgenology*, 194(4), 890–896. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.4179>
- McCullough, C. H., Leng, S., Yu, L., Cody, D. D., Boone, J. M., & McNitt-Gray, M. F. (2011). CT Dose Index and Patient Dose: They Are *Not* the Same Thing. *Radiology*, 259(2), 311–316. <https://doi.org/10.1148/radiol.11101800>
- MEDICAL PHYSICS: The Effect of Contrast Medium on Radiation Dose in CT: Part II Sahbaee et al. (2017). *Radiology.Rsna.Org n Radiology*, 283(3—June). <https://doi.org/10.1148/radiol.2017152852>
- Mettler, F. A., Bhargavan, M., Faulkner, K., Gilley, D. B., Gray, J. E., Ibbott, G. S., ... Yoshizumi, T. T. (2009). Radiologic and Nuclear Medicine Studies in the United States and Worldwide: Frequency, Radiation Dose, and Comparison with Other Radiation Sources—1950–2007. *Radiology*, 253(2), 520–531. <https://doi.org/10.1148/radiol.2532082010>
- Miller, D., & Schauer, D. (2015). The ALARA principle in medical imaging. *AAPM Newsletter*, 40, 38–40.
- NASA, N. A. and S. A. (n.d.). 2020 Mission Plans | Mars Exploration Program - NASA Mars. Retrieved May 10, 2018, from <https://mars.nasa.gov/programmissions/missions/future/mars2020/>
- Rehani, M. M., & Berris, T. (2012). International Atomic Energy Agency study with referring physicians on patient radiation exposure and its tracking: a prospective survey using a web-based questionnaire Design: A prospective survey using a web-based. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-001425>
- Schimmerling, W., Cucinotta, F. A., & Wilson, J. W. (2003). Radiation risk and human space exploration. *Advances in Space Research*, 31(1), 27–34. [https://doi.org/10.1016/S0273-1177\(02\)00653-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1177(02)00653-1)
- Shapiro, J. (2002). *Radiation protection : a guide for scientists, regulators, and physicians*. Harvard University Press. Retrieved from <https://www.readcube.com/library/f2f4cc14-7e02-4592-802f->

f7a6d416d50d:AA762584-0BDA-33B5-C6AA-137CFF608926

- Shope, T. B., Gagne, R. M., & Johnson, G. C. (1981a). A method for describing the doses delivered by transmission x-ray computed tomography. *Medical Physics*, 8(4), 488–495. <https://doi.org/10.1118/1.594995>
- Shope, T. B., Gagne, R. M., & Johnson, G. C. (1981b). A method for describing the doses delivered by transmission x-ray computed tomography. *Medical Physics*, 8(4), 488–495. <https://doi.org/10.1118/1.594995>
- Shrimpton, P. C., & Hillier, M. C. (2003). NRPB-W67 Doses from Computed Tomography (CT) Examinations in the UK – 2003 Review. Retrieved from http://www.biophysicsite.com/Documents/NRPB_W67/NRPB_W67.pdf
- SPACE EXPLORATION TECHNOLOGIES CORP. (2017). Mars | SpaceX. Retrieved May 10, 2018, from <http://www.spacex.com/mars>
- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. (2012). UNSCEAR assessments of the Chernobyl accident. Retrieved May 10, 2018, from <http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>
- Vock, P; Graciano, P; Padovani, R. (2013). *CT Medical Exposures and CT Risk/Benefit Estimation*. Retrieved from www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2015/10/Edition_3_-_October_2013.pdf
- Zeitlin, C., Hassler, D. M., Cucinotta, F. A., Ehresmann, B., Wimmer-Schweingruber, R. F., Brinza, D. E., ... Reitz, G. (2013). Measurements of Energetic Particle Radiation in Transit to Mars on the Mars Science Laboratory. *Science*, 340(6136), 1080–1084. <https://doi.org/10.1126/science.1235989>

18. ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA	5
ECUACIÓN 2. TEORÍA DE LA RELATIVIDAD	5
ECUACIÓN 3. DOSIS EFECTIVA, DE	9
ECUACIÓN 4. ÍNDICE DE DOSIS EN TOMOGRAFÍA COMPUTADA, CTDI	11
ECUACIÓN 5. TOTAL DE ENERGÍA	13
ECUACIÓN 6. DOSE LENGTH PRODUCT	13
ECUACIÓN 7. DOSIS EFECTIVA	14

19. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMISIÓN EUROPEA 2000, FACTOR "K"	14
TABLA 2. DEFINICIÓN DE VARIABLES.	24
TABLA 3. DOSIS EFECTIVAS IGUAL O MAYORES A LA DOSIS DE LOS SOBREVIVIENTES DE LAS BOMBAS ATÓMICAS	41
TABLA 4. DOSIS EFECTIVAS IGUAL O MAYORES A LA DOSIS DEL VIAJE INTERPLANETARIO TIERRA - MARTE	41
TABLA 5. DOSIS EFECTIVAS IGUAL O MAYORES A LA DOSIS DEL VIAJE INTERPLANETARIO TIERRA - MARTE - TIERRA	41
TABLA 6. DESCRIPCIÓN DE LAS DOSIS EFECTIVAS, NÚMERO Y DESCRIPCIÓN DE LAS TOMOGRAFÍAS EN LOS PRIMEROS 10 PACIENTES DE CADA PERÍODO.	42
TABLA 7. PACIENTES CON MAYOR DOSIS EFECTIVA EN 2015	47

20. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MODELO MATEMÁTICO DE LOS RANGOS DE RASTREO DE TOMOGRAFÍA UTILIZADO POR "NRPB (NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD) - SIMULACIONES DE MONTE CARLO. SHRIMPTON PC, JONES DG, HILLIER MC, WALL BF, LE HERON JC, FAULKNER K; U.K. HEALTH PROTECTION AGENCY. REPORT NRPB-R29 (1991): SURVEY OF CT PRACTICE IN THE U.K. PART II. DOSIMETRIC ASPECTS. CHILTON, UNITED KINGDOM: NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD) (CHRISTNER ET AL., 2010).....	15
FIGURA 2. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON TOMOGRAFÍAS EN LOS PERÍODOS 2015, 2016 Y 2017 EN EL HOSPITAL DE MÉDICA SUR.	27
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DEL TOTAL DE TOMOGRAFÍAS EN HOMBRES Y MUJERES CON DOS O MÁS ESTUDIOS DURANTE LOS TRES PERÍODOS.	28
FIGURA 4. TOTAL DE ESTUDIOS EN PACIENTES CON DOS O MÁS TOMOGRAFÍAS SEGÚN EL GÉNERO EN EL PERÍODO 2015.....	29
FIGURA 5. TOTAL DE ESTUDIOS EN PACIENTES CON DOS O MÁS TOMOGRAFÍAS SEGÚN EL GÉNERO EN EL PERÍODO 2016.....	30
FIGURA 6. TOTAL DE ESTUDIOS EN PACIENTES CON DOS O MÁS TOMOGRAFÍAS SEGÚN EL GÉNERO EN EL PERÍODO 2017.....	30
FIGURA 7. TOMOGRAFÍAS DE PACIENTES CON DOS O MÁS ESTUDIOS EN EL PERÍODO DE 2015.....	31
FIGURA 8. TOMOGRAFÍAS DE PACIENTES CON DOS O MÁS ESTUDIOS EN EL PERÍODO DE 2016.....	32
FIGURA 9. TOMOGRAFÍAS DE PACIENTES CON DOS O MÁS ESTUDIOS EN EL PERÍODO DE 2017.....	33
FIGURA 10. RELACIÓN DEL NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS Y LA DOSIS EFECTIVA DE LOS PACIENTES CON MAYOR NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS EN 2015.....	34
FIGURA 11. RELACIÓN DEL NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS Y LA DOSIS EFECTIVA DE LOS PACIENTES CON MAYOR NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS EN 2016.....	35
FIGURA 12. RELACIÓN DEL NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS Y LA DOSIS EFECTIVA DE LOS PACIENTES CON MAYOR NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS EN 2017.....	36
FIGURA 13. DOSIS EFECTIVAS MÁXIMAS DE LOS 50 PACIENTES CON MÁS NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS, DISTRIBUIDOS POR EDAD EN EL PERÍODO DE 2015.....	37
FIGURA 14. DOSIS EFECTIVAS MÁXIMAS DE LOS 50 PACIENTES CON MÁS NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS, DISTRIBUIDOS POR EDAD EN EL PERÍODO DE 2016.....	38
FIGURA 15. DOSIS EFECTIVAS MÁXIMAS DE LOS 50 PACIENTES CON MÁS NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS, DISTRIBUIDOS POR EDAD EN EL PERÍODO DE 2017.....	39
FIGURA 16. DOSIS EFECTIVAS DE LOS 50 PACIENTES CON MÁS NÚMERO DE TOMOGRAFÍAS DE CADA PERÍODO.....	40
FIGURA 17. PACIENTES CON DOSIS EFECTIVAS EN ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA QUE SUPERARON LAS DOSIS DE LOS SOBREVIVIENTES DE LAS BOMBAS ATÓMICAS Y VIAJES INTERPLANETARIOS TIERRA - MARTE Y TIERRA - MARTE - TIERRA.....	41
FIGURA 18. ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA Y SU PORCENTAJE EN LAS DOSIS EFECTIVAS DE LOS 10 PACIENTES CON MAS RADIACIÓN EN 2015.....	43
FIGURA 19. ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA Y SU PORCENTAJE EN LAS DOSIS EFECTIVAS DE LOS 10 PACIENTES CON MAS RADIACIÓN EN 2016.....	44
FIGURA 20. ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA Y SU PORCENTAJE EN LAS DOSIS EFECTIVAS DE LOS 10 PACIENTES CON MAS RADIACIÓN EN 2017.....	45
FIGURA 21. MENÚ DE SELECCIÓN DE PROTOCOLOS DEL EQUIPO DE TOMOGRAFÍA SOMATOM.....	49
FIGURA 22. MENÚ DE SELECCIÓN DE PROTOCOLOS DEL EQUIPO DE TOMOGRAFÍA SOMATOM.....	50
FIGURA 23. PROTOCOLO: ABDOMEN 4 FASES.....	52
FIGURA 24. PROTOCOLO UROTAC 5 FASES.....	53
FIGURA 25. PROTOCOLO DE DIFERENTES PACIENTES CON TOMOGRAFÍAS DE "TÓRAX Y ABDOMEN"	54
FIGURA 26. DIFERENTES PROTOCOLOS PARA REALIZAR ANGIOTOMOGRAFÍAS RENALES Y UROTOMOGRAFÍAS.....	56