



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA
FACULTAD DE MEDICINA

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO
EN TECNOLOGÍA MÉDICA ESPECIALIDAD DE RADIOLOGÍA**

TITULO:

Valores de la tasa de dosis del paciente al término de un PET/CT ESTÁNDAR con ^{18}F -FDG en un hospital nivel IV

Patient dose rate values at the end of a standard ^{18}F -FDG PET/CT in a level IV hospital

ALUMNO(S):

Barzola Ñuflo, Daysy Enith
López Lázaro, Ximena Alisson

ASESOR (ES):

Arana Vivar, José Luis
Castillo Portilla, Manuel Tomás
Hernández Flores, Gustavo Eduardo

LIMA-PERÚ

2021

JURADOS

NEYRA AGUILAR, FELIX ALEXANDER – Presidente

GUERRERO RAMIREZ, DELIA MARIA TERESA – Vocal

PASAPERA RAMIREZ, FRANCISCO – Secretario

ASESORES DE LA TESIS

LIC. TM. ARANA VIVAR, JOSÉ LUIS

DR. CASTILLO PORTILLA, MANUEL TOMAS

LIC. HERNÁNDEZ FLORES, GUSTAVO EDUARDO

DEDICATORIA

A nuestros padres por habernos forjado como las personas que somos hoy en día; muchos de nuestros logros se lo debemos a ellos. Por su constante motivación para alcanzar nuestros objetivos. ¡Muchas gracias!

AGRADECIMIENTOS

A los licenciados Eduardo Hernández Flores y Jaime Rosales Rimache, por su guía y paciencia durante la realización de este estudio.

DECLARACIÓN DE LOS AUTORES

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente proyecto de tesis, como requerimiento previo para la obtención del Título de Licenciado en Tecnología Médica especialidad de Radiología, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica de los autores.

TABLA DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	6
2.1.	Objetivo General	6
2.2.	Objetivos Específicos	6
III.	MATERIAL Y MÉTODO	7
3.1.	Diseño del estudio	7
3.2.	Población	8
3.3.	Muestra	8
3.4.	Procedimientos y técnicas	8
3.4.1.	Recolección de datos	9
3.5.	Plan de análisis	11
3.5.1.	Aspecto ético	11
3.5.2.	Análisis estadístico	11
IV.	RESULTADOS	13
V.	DISCUSIÓN	15
VI.	CONCLUSIÓN	18
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
VIII.	TABLAS Y GRÁFICOS	23

RESUMEN

ANTECEDENTES: La prueba diagnóstica estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG, generalmente es indicada a pacientes oncológicos. Consta de la administración intravenosa de ^{18}F -FDG, un radiofármaco con una energía de 511keV. Al término del estudio se realiza la medición de la tasa de dosis en los pacientes y posterior al acto los pacientes son dados de alta. No hay evidencia si la cantidad de tasa de dosis con la que los pacientes terminan sus estudios PET/CT pueda generar algún tipo de efecto (estocástico o determinístico) a las personas que interactúan con el paciente a la salida del servicio de medicina nuclear. **OBJETIVO:** Determinar de la tasa de dosis de pacientes al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Estudio observacional transversal que evaluó a una población de 138 pacientes adultos que reunieron los criterios de inclusión. Se obtuvo la tasa de dosis a 0.2; 0.5 y 1m, utilizando como instrumento una ficha de datos. **RESULTADOS:** Los niveles de la tasa de dosis emitida a 0.2, 0.5 y 1 metro, presentaron altas diferencias significativas ($p < 0.001$) con medianas de 43.5, 101.0 y 297.0 $\mu\text{Sv/h}$ respectivamente. **CONCLUSIONES:** Los valores de tasa de dosis obtenidos de los pacientes, reflejaron que algunos de ellos aún tenían una tasa de dosis elevada. Sin embargo, en su mayoría fueron niveles bajos de exposición a la radiación, siendo un daño no significativo o perjudicial.

PALABRAS CLAVES: ^{18}F -FDG, Exposición al público, Límite de Dosis, NBS, PET/CT, Tasa de Dosis. (Fuente: DeCs BIREME)

ABSTRACT

BACKGROUND: The standard ^{18}F -FDG PET/CT diagnostic test is normally indicated for cancer patients. Constant intravenous administration of ^{18}F -FDG, a radiopharmaceutical with an energy of 511keV. At the end of the study, the dose rate is measured in the patients and after the act, the patients are discharged. There is no evidence if the amount of dose rate with which patients complete their PET / CT studies can generate any kind of effect (stochastic or deterministic) to the people who interact with the patient when leaving the nuclear medicine service. **OBJECTIVE:**

To determine the patient dose rate at the end of a standard ^{18}F -FDG PET / CT study.

MATERIALS AND METHODS: Cross-sectional observational study that evaluated a population of 138 adult patients who met the inclusion criteria. The dose rate was obtained at 0.2; 0.5 and 1m, using a data sheet as an instrument. **RESULTS:**

The levels of the dose rate emitted at 0.2, 0.5 and 1 meter, presented high significant differences ($p < 0.001$) with medians of 43.5, 101.0 and 297.0 $\mu\text{Sv} / \text{h}$ respectively.

CONCLUSIONS: The dose rate values obtained, for the most part, presented low levels of radiation exposure, being a non-significant or harmful damage.

KEY WORDS: ^{18}F -FDG, Public Exposure, Dose Limit, NBS, PET / CT, Dose Rate.

(Fuente: MeSH)

I. INTRODUCCIÓN

La Tomografía por Emisión de Positrones (PET) es una técnica de diagnóstico por imagen de medicina nuclear cuyos inicios se sitúan desde la década de 1960.(1) A principios de la década de 2000, los primeros intentos de integrar un escáner PET y un escáner de Tomografía Computarizada (CT) daban sus primeros resultados satisfactorios(2), lográndose fusionar estos dos sistemas en un solo equipo llamado PET/CT. Un estudio PET/CT se realiza de manera casi simultánea, la PET ofrece una valoración de la captación del radiofármaco, mientras que con la Tomografía Computarizada se obtiene las referencias anatómicas, lo cual es un verdadero complemento en el diagnóstico del PET.(3)

La exploración con PET se realiza con isótopos radiactivos con un periodo de semidesintegración muy corto, que necesariamente se producen en un ciclotrón.(4) La principal indicación diagnóstica de la PET/CT es oncológica, por lo tanto, es necesario un radioisótopo que nos permita evaluar el estado metabólico de los tumores y de sus metástasis. El más utilizado es el Fluor-18, unido a una molécula de glucosa para obtener 18-Fluor-Desoxi-Glucosa (^{18}F -FDG) (FNR), usado como marcador metabólico de los tumores, por ende, tiene el mismo proceso de almacenarse en mayor cantidad en células que están en constante división celular, esto se debe a que existe un gran consumo de glucosa.(5) El ^{18}F -FDG posee un período de semidesintegración de 109.7 minutos además de una energía de los fotones gamma de 511keV (producto de la aniquilación entre el positrón y el

electrón), que implica menor dosis de radiación para el paciente y permite imágenes de alta resolución.(6)

La Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN) como ente regulador, exige medir la actividad en pacientes, pero no existe un criterio normativo para que el paciente se quede o se ha dado de alta.(7) En el Perú, no hay evidencia de un valor de tasa de dosis con la cual un paciente puede ser liberado después de un estudio PET/CT. En nuestro caso estos valores de tasa de dosis se basan en un protocolo de tratamiento con Iodo 131(I-131). Cabe recalcar que la energía gamma del Iodo es de 364keV, a diferencia del Flúor 18 que posee una energía gamma de 511keV, mucho mayor a la del Iodo.(8)

A pesar de que se le administra al paciente dosis pequeñas de ^{18}F -FDG, necesitamos saber si esta cantidad de radiación (equivalente de tasa de dosis ambiental), con la cual el paciente termina el estudio no genera algún tipo de riesgo (estocástico o determinístico) para aquellos con quienes esté en contacto, ya sea el personal de salud, cuidadores, familiares o público en general.(9)

De acuerdo a las Normas Básicas de Seguridad (NBS), los grupos críticos pertinentes de miembros del público, que sean atribuibles a las prácticas no deberán rebasar los siguientes límites:

a) una dosis efectiva de 1mSv en un año;

- b) en circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5mSv en un solo año, a condición de que la dosis promedio en cinco años consecutivos no exceda de 1mSv por año;
- c) una dosis equivalente al cristalino de 15mSv en un año;
- d) una dosis equivalente a la piel de 50mSv en un año.(10)

Morán (2016) señala que existe un mayor riesgo de irradiación cuando el paciente está en contacto con otras personas en lugares públicos como el transporte, cafetería y/o restaurantes, lugar de trabajo. En su estudio hace referencia sobre la importancia de la distancia y el tiempo de interacción entre el paciente y el público en determinadas situaciones luego de realizarse el alta Radiológica.(11)

Por su parte Alanezi (2014) presentó un estudio cuyo objetivo fue verificar la prevalencia de aquellos pacientes que excedieron el límite regulatorio de NRC medido en la sesión posterior a la toma de imágenes. Concluyendo que en promedio un tercio de la población de pacientes sometidos a PET/CT con FDG necesita tiempo adicional para permitir el decaimiento de la dosis para que el alta pueda cumplir con los límites reglamentarios.(12)

Aruna (2015) concluye que las dosis de PET/CT son más altas que en otros exámenes diagnóstico de radiología convencional. Lo que sugiere que se deben hacer todos los esfuerzos para justificar clínicamente y sopesar cuidadosamente las relaciones de riesgo-beneficio antes de cada estudio de cuerpo entero con PET/CT ^{18}F -FDG.(13)

Kook (2015) menciona que es importante estimar la dosis de radiación para los pacientes y los proveedores de atención médica después de un estudio de PET/CT con ^{18}F -FDG para garantizar la seguridad de la radiación.(14) Mustafá (2011) concluye que la protección radiológica será suficiente dentro de las 2 horas posteriores a la inyección de ^{18}F -FDG para obtener imágenes de PET/CT en la práctica diaria.(15)

Por otro lado, algunos estudios refieren que la tasa de dosis no es significativa y por ello no genera daños considerables al público expuesto. ByungWook (2018) indica que la estimación de la dosis efectiva de radiación (DE) para el personal médico, de pacientes que previamente se sometieron a ^{18}F -FDG PET/CT, indico niveles bajos de exposición a la radiación, que no excederían el límite de dosis anual de 1mSv del público en general, durante la práctica clínica.(16)

Es por ello que como futuros Tecnólogos Médicos en Radiología nos aseguremos de cumplir con los Principios Fundamentales de la Protección Radiológica:

- Justificación de las prácticas,
- Limitación de las dosis,
- Optimización de la protección y de la seguridad.

Limitaciones del estudio:

En nuestro estudio se consideró a cada paciente como una fuente puntual. Para la estimación de los factores de corrección geométrica, para una fuente volumétrica, se debió realizar con una fuente de ^{18}F -FDG como fuente abierta y realizar mediciones de dicha fuente en aire, como la caracterización de la respuesta angular. La falta de

esta fuente se debió a que para manipular fuentes abiertas se requiere tener una licencia individual otorgada a profesionales por la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN/IPEN).

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

- Determinar la tasa de dosis de pacientes al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG (estándar a 1 metro de distancia).

2.2.Objetivos Específicos

- Determinar la tasa de dosis emitida por el paciente a 0.2; 0.5 y 1 metro de distancia al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG.
- Identificar la tasa de dosis según el peso del paciente al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG.
- Establecer la relación que existe entre la tasa de dosis (asumiendo que 1 metro de distancia es lo estándar) y la patología indicada.

III. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. Diseño del estudio

El estudio fue de tipo observacional descriptivo, debido a que se midió la tasa de dosis en pacientes para tener el criterio de dar el alta radiológica al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG. Además fue un diseño no experimental de corte transversal, ya que se recolectaron datos de las mediciones de tasa de dosis, describiendo variables y analizando su incidencia e interrelación. **(Anexo A)**

La recolección de información se realizó durante 4 meses en el Servicio de Medicina Nuclear PET/CT. Se utilizó una ficha de recolección de datos para registrar la información del paciente, así como, las respectivas mediciones de tasa de dosis. **(Anexo B)**

El equipo con el que se realizó la medición de tasa de dosis, es un monitor de radiaciones tipo Geiger Müller modelo 44-2 (Ludlum, Alemania), que mide la Tasa de Dosis Equivalente Ambiental $\text{H}^*(10)$. Las unidades de medición, en base al certificado de calibración, es el Sievert por hora (Sv/h) o submúltiplos. **(Anexo C)**.

El protocolo de investigación fue revisado por el Comité Institucional de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (SIDISI: 103092) y por el Jefe del servicio de medicina nuclear PET/CT, del Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen. Luego de la aprobación, el estudio fue ejecutado teniendo en consideración las normas éticas.

Se empleó el programa Microsoft Excel para la elaboración de la base de datos del estudio. Los datos fueron analizados usando el programa Stata Corporation versión 15.0.

3.2.Población

La población evaluada comprende a pacientes que ingresaron al servicio de medicina nuclear para un estudio estándar de Tomografía por Emisión de Positrones-Tomografía Computarizada (PET/CT) con ^{18}F -FDG durante el periodo de noviembre de 2019 y febrero de 2020; el número de pacientes obtenidos fueron 151. Los criterios de inclusión comprenden a los pacientes que se realizaron estudio estándar de Tomografía por Emisión de Positrones-Tomografía Computarizada (PET/CT) con ^{18}F -FDG, además de cumplir con las características de la población.

3.3.Muestra

El tamaño de la muestra incluye 138 pacientes que se realizaron estudio estándar de Tomografía por Emisión de Positrones-Tomografía Computarizada (PET/CT) con ^{18}F -FDG en el servicio de medicina nuclear.

3.4.Procedimientos y técnicas

La preparación de un estudio PET/CT estándar inicia con la administración de ^{18}F -FDG vía intravenosa al paciente. Después de 60 minutos, en reposo, se espera que el radiofármaco se haya distribuido en todo el cuerpo, principalmente en las lesiones que existirán. Luego el paciente es dirigido a la sala de exploraciones donde es posicionado por el Tecnólogo Médico especialista en Radiología. El estudio comienza con un topograma (SCANVIEW) de cuerpo completo que sirve para

delimitar áreas a estudiar y para verificar el correcto posicionamiento del paciente; seguido de una Tomografía Computarizada (CT) que tiene como objetivo la corrección por atenuación, seguidamente se realiza una Tomografía por Emisión de Positrones (PET) y por último un inspirado de tórax (por protocolo de la institución). Este proceso se realiza en un tiempo promedio de 20 minutos ya que dependerá de la longitud del paciente. **(Gráfico 1)**

Al finalizar la prueba diagnóstica se procede a realizar la medición de tasa de dosis del paciente.

3.4.1. Recolección de datos

Antes de realizar las mediciones de la tasa de dosis, se recomienda que la zona de medición esté lejos de la puerta de la sala del equipo, ya que la radiación de fondo podría influir en las mediciones de manera significativa.(17)

1. Previo al inicio de las actividades del servicio, se midió la radiación de fondo (ambiental), cuyo umbral no sobrepasó el límite establecido. Se realizaron tres mediciones (con una diferencia de 10 segundos entre cada una) obteniendo un promedio. Se utilizó un monitor de radiaciones tipo Geiger Müller.
2. Luego, en la zona de medición se trazó tres líneas a 0.2; 0.5 y a 1m, además de una línea adicional que sirvió de referencia para la posición inicial del paciente.
3. Antes que se diera inicio a la preparación de los pacientes, para un estudio estándar PET/CT con ^{18}F -FDG, se les informó sobre nuestra investigación. Así mismo se entregó el consentimiento informado a aquellos que accedieron

participar, dejándoles notificado que al finalizar el estudio se procedería a realizar las mediciones.

4. Al término del examen de PET/CT con ^{18}F -FDG, se le indicó al paciente que se dirigiera a la zona de medición y se colocara sobre la línea referencial. Las mediciones se realizaron a la altura del centro del tórax (0.2; 0.5 y a 1 metro de distancia) en la parte anterior (frontal) del paciente, éste tuvo que estar necesariamente en bipedestación (de pie). En cada línea se realizó dos mediciones adicionales por cada 10 segundos, con la finalidad de obtener un promedio.
5. Finalmente, los valores obtenidos fueron registrados en la ficha de recolección de datos.

La distancia referencial fue de un metro desde el paciente (a la altura del tórax) debido a que se usa en la mayoría de ecuaciones de física nuclear. Por ejemplo, para calcular la tasa de dosis se multiplica la actividad por un factor gamma (depende del radionúclido utilizado), dividido entre la distancia al cuadrado. Los valores del factor gamma son dados a un metro de distancia. Entonces para manejarlo de mejor forma, lo conservamos a un metro de distancia, pero no necesariamente significa que se tenga que medir a un metro, se podría medir a menos o más distancia, pero esto será a conveniencia misma. Es por esta razón que decidimos realizar también medir la tasa de dosis a 0.2 y 0.5 metros.

Sin duda que es mejor medirlo a una distancia mayor para corregir la medición por geometría puntual a volumétrica, además de evitar sobreexposición a la

radiación producida por el propio paciente y por el espacio reducido del servicio.

(ANEXO D)

3.5. Plan de análisis

3.5.1. Aspecto ético

El estudio se basó en el análisis de datos previamente obtenidos y registrados en la base de datos. Éstos no se alteraron por conveniencia y fueron presentados íntegramente; sin ser divulgados. Se obtuvo la aprobación del Comité de Ética en Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y del Jefe del Servicio de Medicina Nuclear PET/CT.

Los datos obtenidos no contenían nombres ni otro dato personal; éstos sólo podían ser identificados con códigos. También se hizo uso de un consentimiento informado

(Anexo E)

3.5.2. Análisis estadístico

Los datos se almacenaron en una base de datos utilizando el programa Microsoft Excel y exportados a Stata Corporation Versión 15.0. Los datos fueron presentados de forma descriptiva en medidas de tendencia central y dispersión, dependiendo del análisis de curtosis, asimetría y evaluación de distribución normal y prueba probabilística de Shapiro Wilk. La tasa de dosis a los 0.2, 0.5 y 1m, fue presentada con sus intervalos de confianza al 95% y valores mínimo y máximo; además, según sexo, peso, talla, y tipo de patología.

La relación entre la tasa de dosis y el tipo de patología fue estimada mediante el coeficiente beta calculado en un modelo de regresión múltiple ajustada por variables confusoras (edad, sexo, peso, talla y dosis neta). Así mismo, se utilizaron gráficos de distribución en cajas para comparar la tasa de dosis según variables categóricas.

IV. RESULTADOS

Se evidenció que la población evaluada tuvo predominio femenino (70.3%), y edad promedio de 56.0 ± 15.4 años. El 44.93% presentó sobrepeso y 16.7% obesidad. La patología de mayor frecuencia entre los evaluados estuvo dentro del grupo de neoplasias gastrointestinales (17.4%). **Ver Tabla 1.**

La tasa de dosis en la población al término del estudio estándar PET/CT con ^{18}F FDG a 1 metro de distancia fue de 44.12 ± 9.55 (min.: 19.33, máx.:72.67) $\mu\text{Sv/h}$. **Ver Tabla 2.**

Los niveles de la tasa de dosis emitida a 3 distancias evaluadas (1, 0.5 y 0.2 m) presentaron altas diferencias significativas ($p < 0.001$), con medianas de 43.5, 101.0 y 297.0 $\mu\text{Sv/h}$, respectivamente (Gráfico 2). **Ver Tabla 3.**

Los niveles de tasa de dosis fueron estimados según el peso de los pacientes evaluados. Se observó un incremento proporcional de la tasa de dosis respecto al peso de los pacientes, con diferencias significativas en las tres distancias evaluadas. (Gráfico 3 y 4). También se apreció que mientras menor fuera la distancia de evaluación, el grado de correlación entre tasa de dosis y peso se incrementaba. **Ver Tabla 4.**

La relación entre tasa de dosis a un metro de distancia y las patologías identificadas, mostró que los linfomas tuvieron un valor significativo de 45.08 $\mu\text{Sv/h}$ con respecto al cáncer de mama que tuvo un 42.95 $\mu\text{Sv/h}$ a 1m de distancia. **Ver Tabla 5.**

La distribución de la actividad inyectada (mCi) del paciente antes de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG, mostró que la actividad máxima fue de 13.22mCi, la actividad mínima fue de 3.94 mCi y la mediana de 7.67mCi. (Gráfico 5) **Ver tabla 6.**

V. DISCUSIÓN

En el ámbito nacional no existe una referencia sobre el valor de tasa de dosis con la cual un paciente puede ser liberado después de un estudio PET/CT con ^{18}F -FDG. Esto sumado a la escasa cultura de protección radiológica, dan como resultado, una falta de información que nos permita conocer con exactitud la situación actual. La protección radiológica es un principio fundamental que el tecnólogo médico en radiología debe respetar, optimizar y fomentar tanto dentro como fuera de su centro de trabajo.

En la Unidad PET (Tomografía por Emisión de Positrones) del servicio de medicina nuclear del hospital nivel IV, existe un protocolo de alta radiológica para pacientes hospitalizados sometidos a tratamiento ablativo con I-131. Dentro del procedimiento se mencionan varios puntos a tomar en cuenta como verificación de datos del paciente, correcta calibración y condición del equipo de monitoreo. Luego se realiza la medición de la tasa de dosis a tres metros de distancia a la altura del centro del tórax, teniendo como valor límite según la norma IR.002.2012 ($<1100\text{MBq}$) e ICRP N° 63 ($<30\mu\text{Sv/h}$ que es equivalente a valores $<600\text{MBq}$). Cuando el paciente se encuentre con una tasa de exposición de acuerdo a los límites establecidos, se le da las indicaciones del alta (protección radiológica) de manera verbal como escrita que deberá seguir cuando se retire del hospital en un lapsus de dos semanas.

Este protocolo sirve de referencia a los tecnólogos médicos del servicio de medicina nuclear Unidad PET/CT al momento de dar el alta al paciente una vez finalizado el estudio.

Nuestros hallazgos sugieren que la población de pacientes necesitará tiempo adicional para permitir la disminución de la dosis, de modo, que el alta pueda cumplir con los límites reglamentarios (1mSv al año) establecidos por la NBS, asegurándose que no exista una sobreexposición del público.

No obstante, nuestros hallazgos no son comparables con los observados en el estudio desarrollado por **Mithun S.** y colaboradores, debido a que estudiaron la reducción de la exposición a la radiación de pacientes y profesionales mediante la reducción de la actividad administrada de ^{18}F -FDG (**9**). La comparación de nuestros resultados se ve limitada por la medición de la tasa de dosis únicamente al finalizar el estudio PET/CT sin alterar la actividad administrada. El estudio deja en evidencia que la reducción de la actividad de ^{18}F -FDG no compromete la calidad de imagen al aumentar el tiempo de adquisición de la imagen. Para minimizar la exposición a la radiación de los cuidadores y proveedores de atención médica, así como de los pacientes, se requerirían más estudios sobre el protocolo optimizado de imágenes de PET/CT y pautas de comportamiento.

En la investigación realizada por **Moran V**, sus hallazgos se asemejan al nuestro debido a que midieron la tasa de dosis en tres distancias (0.1, 0.5 y 1m) después de la administración del radiofármaco, antes de la adquisición de imágenes y al término del estudio, siendo este último escenario igual al nuestro. Se observó que durante la incorporación del radiofármaco, una persona que se quede con otro paciente inyectado en la misma sala de espera puede recibir hasta 0.59mSv en equivalente de exposición ambiental. Si el paciente tenía una cita médica o iba a un

restaurante/cafetería, los miembros del público podían recibir 23, 43 y 22 μ Sv en equivalente de exposición ambiental, respectivamente. Una vez finalizado el procedimiento, estas equivalencias de dosis ambiental se reducen en un factor 3 **(11)**.

De acuerdo a los resultados del estudio de **Aruna K.**, en comparación a nuestro estudio, no evalúan las mismas dimensiones, ya que su estudio calculó el tiempo de residencia del radiofármaco (^{18}F -FDG) en diferentes órganos del cuerpo. Sin embargo, se encontró que las dosis estimadas de PET/CT eran más altas que muchas otras exploraciones radiológicas de diagnóstico convencionales, lo que sugiere que se deben hacer todos los esfuerzos para justificar clínicamente y sopesar cuidadosamente las relaciones riesgo-beneficio antes de cada exploración PET/CT con ^{18}F -FDG **(13)**.

Durante el análisis de la tasa de dosis obtenida se tuvieron en cuenta diferentes escenarios y tiempo de exposición en la que un paciente está en contacto con el público. Esto es dependiente de la actividad administrada, por lo que una reducción de la misma dependerá del tiempo que el paciente este aislado al termino del estudio PET/CT **(12, 14, 15, 16)**.

Para establecer un nivel de referencia de límite de dosis para una PET/CT ^{18}F -FDG, se necesitará un estudio comparativo con los demás servicios del país que tengan un servicio de medicina nuclear PET/CT.

VI. CONCLUSIÓN

Se determinó la equivalente de tasa de dosis ambiental $H^*(10)$ de los pacientes al término de un estudio PET/CT con ^{18}F -FDG a 1, 0.5 y 0.2 m. El 100% de los valores indicaron niveles bajos de exposición a la radiación, que no excedieron el límite de dosis anual de 1mSv del público en general. Siendo los valores máximos encontrados 72.67, 218.3 y 596.3 $\mu\text{Sv/h}$ respectivamente. Representando un daño no significativo o perjudicial en su mayoría. Sin embargo, a pesar de no ser dosis altas se debe tomar en consideración el tiempo de contacto con estos pacientes, ya que a mayor tiempo mayor será la dosis recibida al público.

Se identificó la tasa de dosis según el peso del paciente. Los resultados demostraron un incremento proporcional de la tasa de dosis respecto al peso de los pacientes. Siendo el peso una variable a considerar en el estudio.

Se comparó la tasa de dosis y la patología de los pacientes, no estableciéndose ninguna relación entre ambas variables. No hubo una variación significativa en los resultados.

En resumen, las instituciones que cuenten con servicios de medicina nuclear PET/CT, deberían implementar en su protocolo una ruta de salida exclusivamente para estos pacientes, con el fin de evitar el contacto con el público. Además, se debe alentar a los pacientes a utilizar el transporte privado en lugar del público; y que eviten acudir a lugares concurridos (restaurantes, cafetería, etc.). Generando así una buena cultura de protección radiológica.

Finalmente, a pesar de las limitaciones que presentó el estudio, esperamos que sirva como referencia a futuras investigaciones y que sea el inicio de un gran proyecto en conjunto con nuestros colegas.

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Roldan-Valadez E, Vega-González I, Valdivieso-Cárdenas G, Rumoroso-García A, Morales-Santillán O, Osorio-Cardiel L. Basic concepts on ^{18}F -FDG PET/CT: Definitions and normal variants. *Gaceta médica de México*. 2008;144:137-46.
2. Kishimoto G, Murakami K, Con SA, Yamasaki E, Domeki Y, Tsubaki M, et al. Seguimiento posterior a la cirugía curativa para el cáncer colorrectal: impacto de la tomografía por emisión de positrones - tomografía computarizada (PET/TC). *Revista de Gastroenterología del Perú*. 2010;30:328-33.
3. López-Durán FA, Zamora-Romo E, Alonso-Morales JL, Mendoza-Vásquez G. Tomografía por Emisión de Positrones: Los Nuevos Paradigmas. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 2007;10(1):26-35.
4. Martínez-Villaseñor D, Gerson-Cwilich R. La tomografía por emisión de positrones (PET/CT). Utilidad en oncología. *Cirugía y Cirujanos*. 2006;74(4):295-304.
5. Elgazzar AH. *Basis of ^{18}F -FDG Positron Emission Tomography Imaging* 2ed. Verlag Berlin Heidelberg. New York.: Springer; 2006.
6. Chain CY, Illanes L. *Radiofármacos en medicina nuclear*. 1 ed. La Plata 2015.
7. *Requisitos de Protección Radiológica y Seguridad en Medicina Nuclear*, IR.002.2012 (2012).
8. CSN, SEPR, SEFM. Criterios de alta de pacientes y medidas para la protección radiológica del público después de tratamientos metabólicos con I-131. *Foro sobre Protección Radiológica en el Medio Sanitario; España* 2011.

9. Mithun S, Jha AK, Puranik AD, Monteiro P, Shah S, Agarwal A, et al. Reduction of Radiation Exposure to Patients and Professionals by Reducing the Administered Activity of ^{18}F -Fluorodeoxyglucose in a Positron-emission Tomography/Computed Tomography Study. *Indian J Nucl Med.* 2018;33(1):6-9.
10. Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la seguridad de las Fuentes de Radiación, (1997).
11. Morán V, Prieto E, García-García B, Barbés B, Ribelles MJ, Richter JÁ, et al. Dosis de radiación producida por los pacientes durante la incorporación del radiofármaco en las pruebas diagnósticas de medicina nuclear. *Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular.* 2016;35(3):175-85.
12. Alanezi E, Ahmed T, Bayomy T, Khalil M. Patient release criteria of FDG PET/CT scanning: A local institutional derived limits. *Journal of Nuclear Medicine.* 2014;55(supplement 1):2077.
13. Kaushik A, Jaimini A, Tripathi M, D'Souza M, Sharma R, Mondal A, et al. Estimation of radiation dose to patients from (^{18}F) FDG whole body PET/CT investigations using dynamic PET scan protocol. *Indian J Med Res.* 2015;142(6):721-31.
14. Chun IK. Quantification of radiation exposure to patients and surrounding people after oncologic PET/CT imaging with ^{18}F -FDG. *Journal of Nuclear Medicine.* 2015;56(supplement 3):476.
15. Demir M, Demir B, Sayman H, Sager S, Sabbir Ahmed A, Uslu İ. Radiation protection for accompanying person and radiation workers in PET/CT. *Radiation Protection Dosimetry.* 2010;147(4):528-32.

16. Choi B, Ha S, Sung C, Lee SH, Kim H, Oh J, et al. Estimation of effective radiation dose to medical personnel, based on dose rates in patients who have undergone ¹⁸F-FDG PET/CT scans. Journal of Nuclear Medicine. 2018;59(supplement 1):522.
17. INC LM. Technical Manual: Model 2241-3RK Response Kit. Serial Number 238342. Texas2011.

VIII. TABLAS Y GRÁFICOS

Tabla 1. Características descriptivas de la población de estudio.

Variable	Media ± DE	Min	Max
Sexo*			
Varón	41 (29.7)	--	--
Mujer	97 (70.3)	--	--
Edad	56.02 (15.4)	18	87
Peso	64.16	42.5	98
Talla	156.62	139	180
IMC			
Normopeso (IMC<25)	38.41	--	--
Sobrepeso(IMC25-29.99)	44.93	--	--
Obesidad (IMC>29.99)	16.67	--	--
Patología*			
Gastrointestinal	24 (17.4%)	--	--
Linfomas	23 (16.7%)	--	--
Cáncer de mamas	22 (15.9%)	--	--
Ginecológicos	18 (13%)	--	--
Otros	51 (37%)	--	--

*Frecuencias absolutas y relativas

Tabla 2. Niveles de tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) de pacientes al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG (estándar a 1 metro).

Variable	Media	DE	EE	CI95	Min	Max
Dosis a 1 m	44.12	9.55	0.81	42.51 - 45.73	19.33	72.67

Tabla 3. Niveles de tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) emitida por el paciente a 0.2; 0.5 y 1m de distancia al término de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG.

Variable	Mediana	RIC	EE	CI95	Min	Max
Dosis a 1 m	43.5	11.7	0.81	42.51 - 45.73	19.33	72.67
*Dosis a 0.5 m	101.0	31.3	2.23	97.06-105.86	40.0	218.3
Dosis a 0.2 m	297.0	119.0	6.66	290.43-316.77	120.7	596.3

*Distribución no normal evaluada por la prueba de Shapiro Wilk ($p=0.00089$)

Tabla 4. Niveles de tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$) según peso del paciente al término de un estudio estándar de PET/CT con $^{18}\text{F-FDG}$.

	Mediana (RIC), $\mu\text{Sv/h}$		
	Dosis a 0.2	Dosis a 0.5	Dosis a 1.0
Menor a 58 kg	258.7 (95.7)	89.7(25.7)	38(9.7)
Entre 58-64 kg	292.7 (112.2)	97(32.8)	41.8(10.5)
Entre 65 y 71 kg	353.2 (11.5)	108(28.5)	49(8)
Mayor a 71 kg	328(100.2)	113.7(25.2)	49.8(13.3)
*p-valor	0.001	0.001	0.001
**R2	0.383	0.513	0.593

*Estimado en la prueba de Kruskal-Wallis **R2: coeficiente de correlación de Spearman (dosis vs peso)

Tabla 5. Relación entre tasa de dosis a 1 m y patologías identificadas.

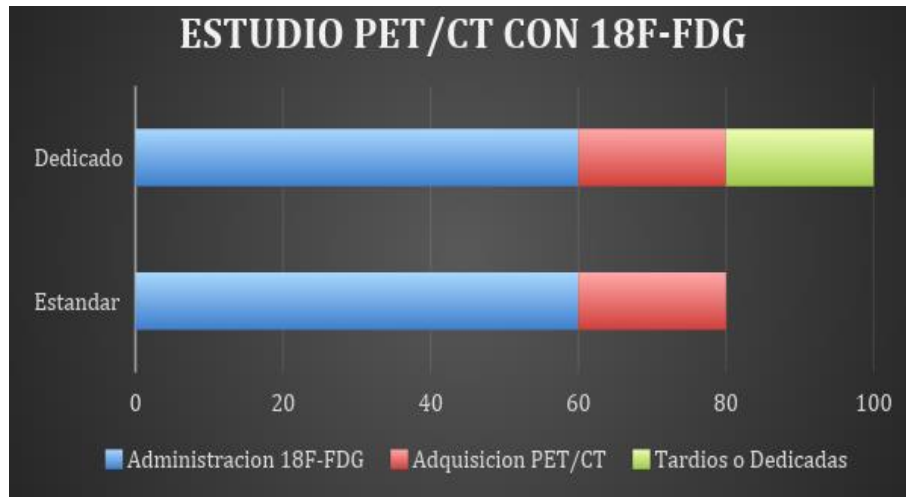
Patología	Tasa de dosis ($\mu\text{Sv/h}$)					
	0.2 metros		0.5 metros		1.0 metro	
	Promedio	DE	Promedio	DE	Promedio	DE
Gastrointestinal	284.93	75.97	99.88	24.62	43.52	9.24
Linfomas	306.42	94.45	101.26	22.13	45.08	10.37
Cáncer de mamas	298.43	72.43	98.14	24.10	42.95	8.46
Otros	315.16	75.96	104.88	30.06	44.88	10.24
*p-valor	0.511		0.281		0.593	

*Obtenido de ANOVA Oneway (análisis de varianza de una vía)

Tabla 6. Distribución de Actividad Inyectada (mCi) a pacientes antes de un estudio estándar de PET/CT con $^{18}\text{F-FDG}$.

Variable	Mediana	DE	RIC	CI 95	Min	Max
Actividad Inyectada	7.67	1.56	1.98	10.26	3.94	13.22

Gráfico 1. Comparación de un estudio estándar y dedicado de PET/CT con ^{18}F -FDG



Fuente: Pacientes que se hicieron un estudio PET-CT con ^{18}F -FDG entre 2019-2020.

Gráfico 2: Diagrama de cajas de la distribución de las tasas de dosis a 0.2, 0.5 y 1 m.

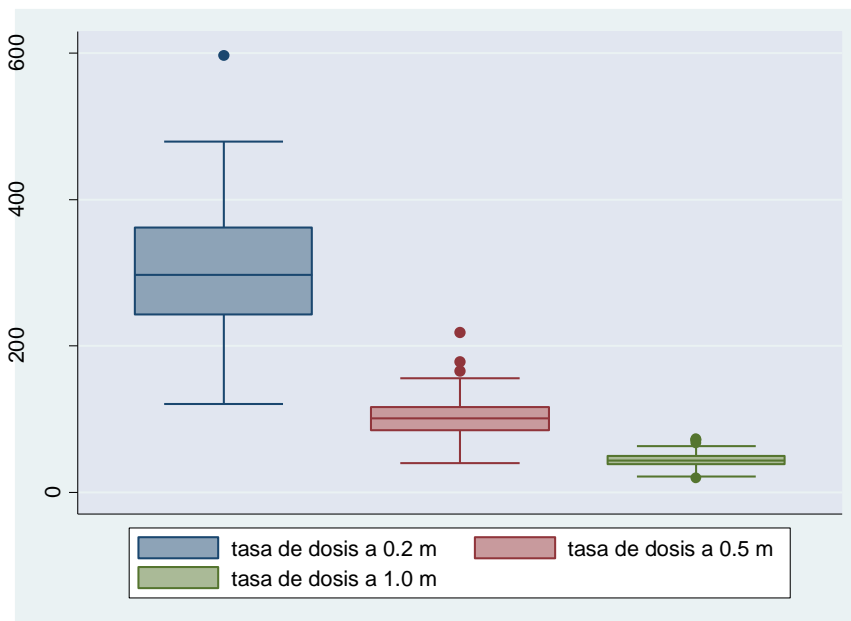


Gráfico 3: Diagrama de cajas de la distribución de la tasa de dosis según el peso del paciente.

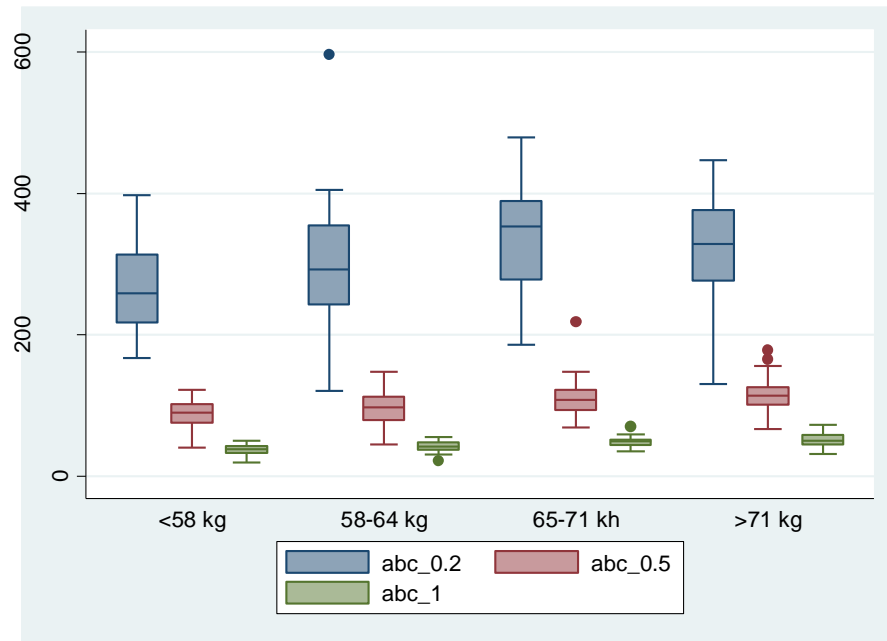
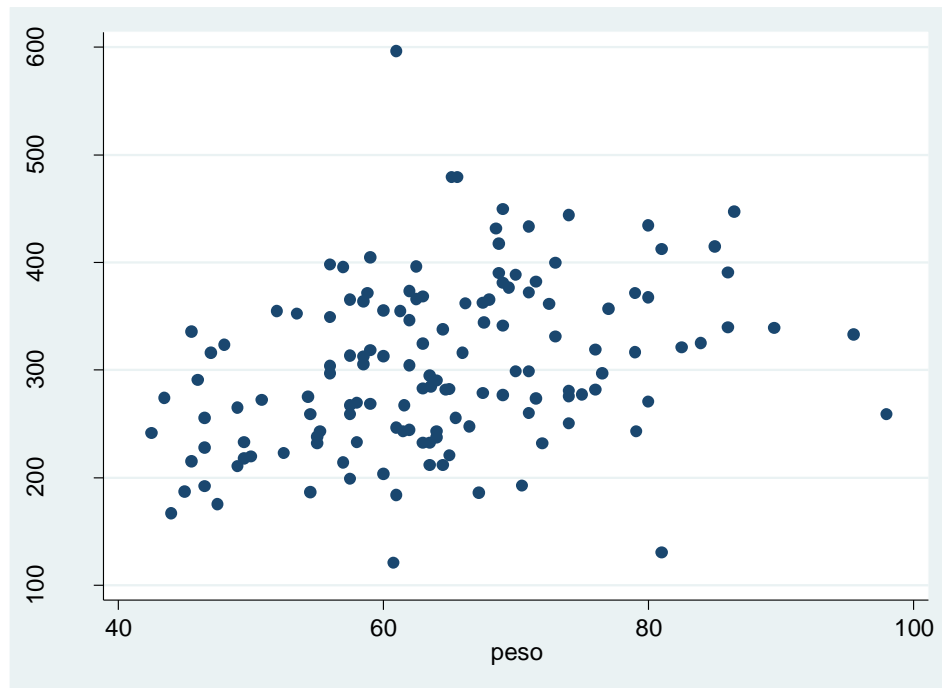
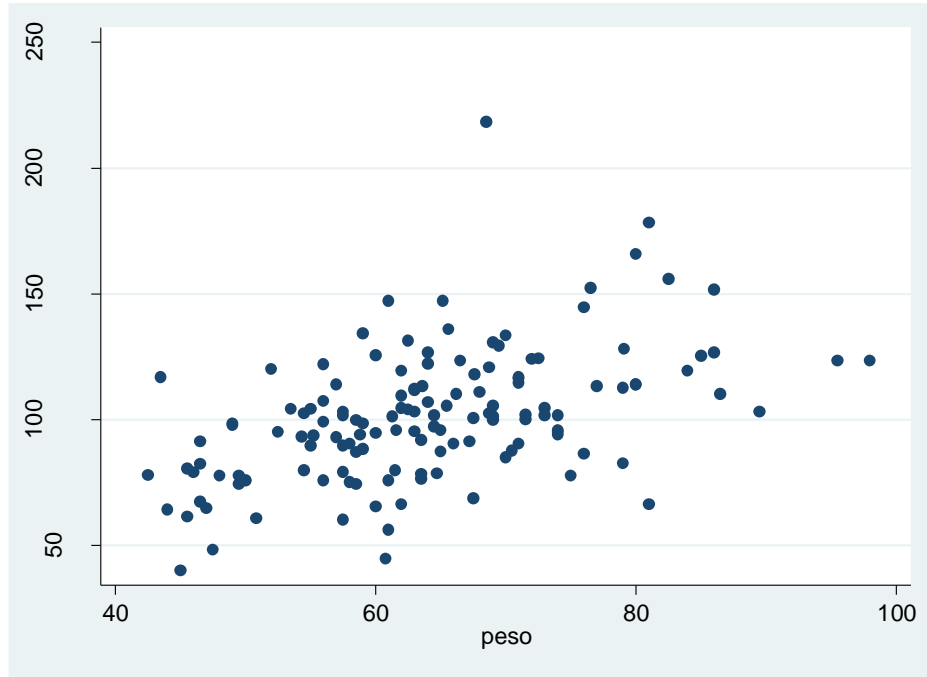


Gráfico 4: Diagrama de dispersión de la tasa de dosis según el peso del paciente.

A. 0.2 m



B. 0.5 m



C. 1m

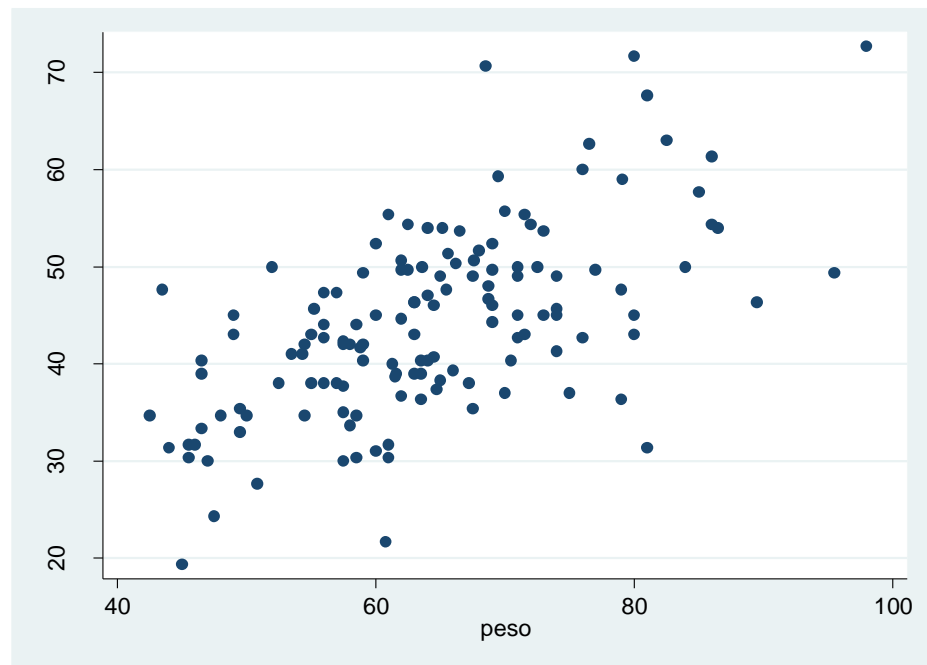
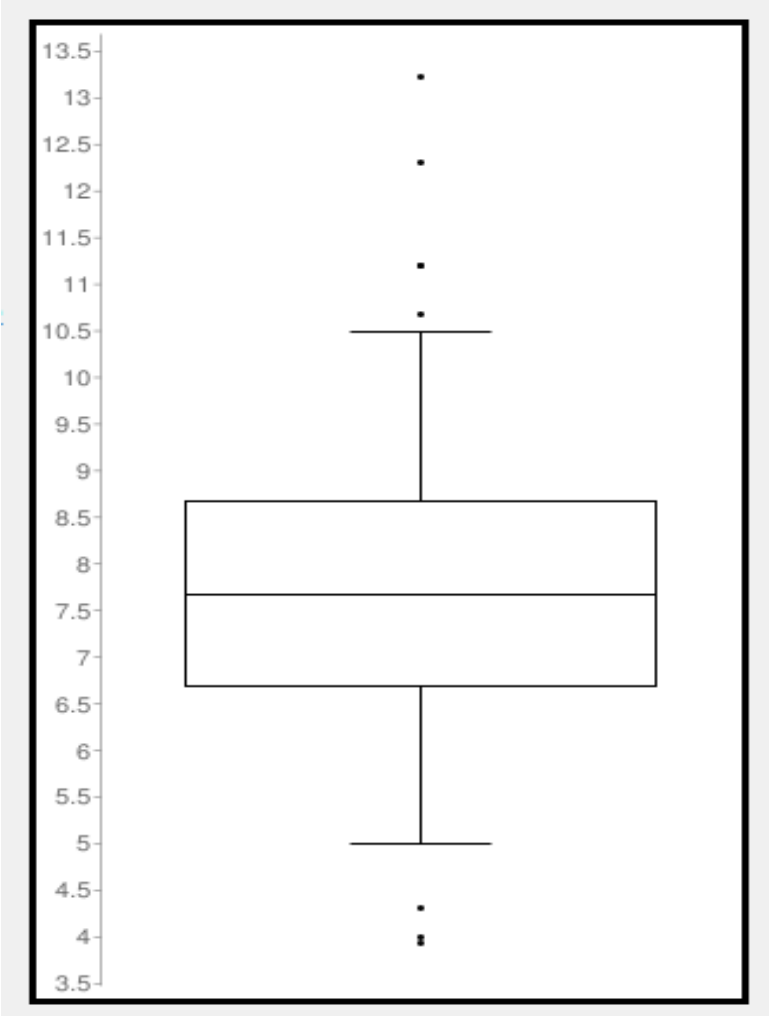


Grafico 5: Diagrama de cajas de la actividad administrada al paciente antes de un estudio estándar de PET/CT con ^{18}F -FDG.



ANEXOS

ANEXO A. Operacionalidad de Variables.

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DEFINICION	INDICADORES	ESCALA
Actividad neta inyectada	Cuantitativa y continua	Es la resta de la actividad inyectada y la actividad remanente que queda en la jeringa.	Se mide en milicurios (mCi).	De razón
Distancia	Cuantitativa y continua	Las mediciones serán a 0.2; 0.5 y 1m de distancia del paciente.	Se mide en metros (m).	De razón
Edad	Cuantitativa y continua	Influye en la variabilidad de la cantidad de dosis, se considerarán a pacientes adultos a partir de los 18 años de edad.	Se expresa en años.	De razón
Patología	Cualitativa y nominal	Es propia del paciente e influye de manera directa en la tasa de dosis.	Gastrointestinal Linfomas Cáncer de mamas Otros	Nominal
Peso	Cuantitativa y continua	Influye de manera directa en la variabilidad de la actividad, así como en cantidad de la tasa de dosis.	Se expresa en kilogramos (Kg).	De razón
Sexo	Cualitativa y nominal	Se elegirá de manera aleatoria (femenino o masculino).	Femenino Masculino	Nominal

Talla	Cuantitativa y continua	Influye de manera directa en la variabilidad de la actividad, así como en cantidad de la tasa de dosis.	Se expresa en centímetros (cm).	De razón
Tasa de dosis	Cuantitativa y continua	Es la radiación que produce el paciente al término de la prueba diagnóstica.	Se mide en micro Sieverts por hora ($\mu\text{Sv/h}$).	De razón
Tiempo de estudio	Cuantitativa y continua	Dependerá del tipo de estudio de cada paciente.	Se mide en horas (h).	De razón

ANEXO C: Certificado de calibración del monitor de radiación tipo Geiger Müller.

		ALEPH Group & Asociados S.A.C. www.alephsac.com informes@alephsac.com Telefax. 628-7782			
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 033-2018 ALEPH/GR/LSCD Autorización de Servicios: S0576.E4 (Otorgada por el Instituto Peruano de Energía Nuclear)					
PRODUCIDO POR : Gerencia de Radiaciones / LSCD ALEPH GROUP & ASOCIADOS S.A.C.					
1. CLIENTE : Seguro Social de Salud-EsSalud RAS Almenara Av. Grau N° 800 La Victoria, Lima, Lima, Perú	Este certificado sólo puede ser diluando completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización por escrito de ALEPH SAC.				
2. REFERENCIA : O. Pedido N° 111-3822					
3. EQUIPO : Monitor de radiación Marca monitor: Ludlum Measurements, Inc / Marca sonda: Ludlum Measurements, Inc Modelo monitor: 2241-3 / Modelo sonda: 44-2 Serie monitor: 299198 / Serie sonda: PR331322	El resultado de este certificado es válido sólo para el equipo calibrado, refiriéndose al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad.				
4. MÉTODO : ISO 4037, aplicado al PROC-LSCD-009 "Calibración dosimétrica de monitores de radiación de área portátiles"					
5. ESPECIFICACIONES :					
Patrón de referencia : Cámara de ionización, Marca: PTW; Modelo: TN32002; Serie: 000568; Certificado de calibración N°: T163053, con fecha 09-Dec-16 (K&S Associates, Inc.); Trazable al NIST.					
Calidad de radiación : S-Cs (ISO 4037)					
Condiciones ambientales : Temp (°C): 20,2; Presión (hPa): 1007; HR(%): 51	El certificado sin sello ni firma, carece de valor.				
Geometría de calibración : Superficie del detector ubicada en forma perpendicular al eje del haz de radiación					
Punto de referencia : Centro geométrico del volumen sensible del detector					
Fecha de recepción : 1-Mar-2018					
Fecha de calibración : 2-Mar-2018	La incertidumbre (U) se determinó con un factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%.				
6. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN					
VCV de la tasa de dosis equivalente ambiental H'(10) (µSv/h)	Lectura del monitor			Factor de Calibración (FC)	U (%)
	Antes del ajuste	Después del ajuste	Unidad		
	20,0	15	22		
50,0	38	45	µSv/h	1,11	4,3%
VCV = Valor convencionalmente verdadero = Lectura del monitor x FC Promedio FC = 1,01					
Lima, 03 de marzo del 2018					
 Dr. Rolando Paucar Jáuregui Gerente de Radiaciones ALEPH Group & Asociados S.A.C.					
Av. Rafael Escardó 164, Urb. Maranga, San Miguel, Lima - Perú. Telef.: (01) 628-7778 / (01) 628-7752 / 997580543 Consulta técnica: 997580541 E-mail: informes@alephsac.com Web: www.alephsac.com					
Página 1 de 1		CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° 033-2018 ALEPH/GR/LSCD			

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
N° 035-2018 ALEPH/GR/LSCD
Autorización de Servicios: S0576.E4
(Otorgada por el Instituto Peruano de Energía Nuclear)

- PRODUCIDO POR** : Gerencia de Radiaciones / LSCD
ALEPH GROUP & ASOCIADOS S.A.C.
- 1. CLIENTE** : Seguro Social de Salud-EsSalud RAS Almenara
Av. Grau N° 800
La Victoria, Lima, Lima, Perú
- 2. REFERENCIA** : O. Pedido N° 111-3822
- 3. EQUIPO** : Monitor de radiación
Marca monitor: Ludlum Measurements, Inc / Marca sonda:
Ludlum Measurements, Inc
Modelo monitor: 2241-3 / Modelo sonda: 133-7
Serie monitor: 299198 / Serie sonda: PR322507
- 4. MÉTODO** : ISO 4037, aplicado al PROC-LSCD-009 "Calibración dosimétrica de monitores de radiación de área portátiles"
- 5. ESPECIFICACIONES** :
- Patrón de referencia** : Cámara de ionización, Marca: PTW; Modelo: TN32002;
Serie: 000588; Certificado de calibración N°: T163053, con
fecha 09-Dec-16 (K&S Associates, Inc.); Trazable al NIST.
- Calidad de radiación** : S-Cs (ISO 4037)
- Condiciones ambientales** : Temp (°C): 20,2; Presión (hPa): 1007; HR(%): 50
- Geometría de calibración** : Superficie del detector ubicada en forma perpendicular al
eje del haz de radiación
- Punto de referencia** : Centro geométrico del volumen sensible del detector
- Fecha de recepción** : 1-Mar-2018
- Fecha de calibración** : 2-Mar-2018

Este certificado sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización por escrito de ALEPH SAC.

El resultado de este certificado es válido sólo para el equipo calibrado, refiriéndose al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad.

El certificado sin sello ni firma, carece de valor.

La incertidumbre (U) se determinó con un factor de cobertura K=2, para un nivel de confianza de 95%.

6. RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

VCV de la tasa de dosis equivalente ambiental H*(10) (µSv/h)	Lectura del monitor			Factor de Calibración (FC)	U (%)
	Antes del ajuste	Después del ajuste	Unidad		
250,0	261	244	µSv/h	1,02	6,5%
500,0	548	506	µSv/h	0,99	6,8%
5000,0	5,81	5,41	mSv/h	0,92	5,1%
30000,0	33,6	31,1	mSv/h	0,97	5,2%

VCV = Valor convencionalmente verdadero = Lectura del monitor x FC
Promedio FC = 0,98

Lima, 03 de marzo del 2018.


Dr. Rolando Paucar Jauregui
 Gerente de Radiaciones
 Aleph Group & Asociados S.A.C.

Av. Rafael Escardo 154, Urb. Miraflores, San Miguel, Lima - Perú.

Telef.: (01) 628-7778 / (01) 628-7752 / 997580543 Consulta técnica: 997580543 E-mail: informes@alephsac.com Web: www.alephsac.com

ANEXO D: Imágenes de la medición de la tasa de dosis (prueba piloto).

