



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL



CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI,
HOSPITAL DE CARDIOLOGÍA UMAE
UNIDAD PET-CT HOSPITAL MÉDICA SUR

**DEFINICIÓN DEL VOLUMEN TUMORAL GRUESO EN IMÁGENES DE PET-
CT VERSUS TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA**

TESIS DE POSGRADO
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE LA ESPECIALIDAD
EN MEDICINA NUCLEAR PRESENTA:

DRA. ADRIANA ELIZABETH FLORES GONZÁLEZ

Asesores:

Dr. Iván Fabricio Vega González

Subjefe de la unidad PET-CT, Hospital Médica Sur.

Dr. José Pascual Pérez Campos

Profesor titular del curso de especialización en Medicina Nuclear Centro Médico
Nacional Siglo XXI – UNAM.

Médico adscrito al Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Médica Sur.

AGOSTO 2007



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.

Colaboradores:

Dr. Ernesto Gómez González

Jefe de la unidad de Radio-oncología, Hospital Médica Sur.

Dr. Mario Enriquez Barrera

Medico adscrito al departamento de Radio-oncología, Hospital Médica Sur.

Fis. Med. Evangelina Figueroa Medina. Hospital Médica Sur.

Fis. Med. Gabriel Resendíz González Hospital Médica Sur.

Técnico Radiólogo Oswaldo de Jesús Morales Santillan Hospital Médica Sur.

DR. RUBEN ARGÜERO
DIRECTOR GENERAL
HOSPITAL DE CARDIOLOGÍA
CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

DR. ARMANDO MANSILLA OLIVARES
JEFE DE DIVISION DE DIVISION DE EDUCACIÓN MÉDICA E INVESTIGACIÓN
HOSPITAL DE CARDIOLOGÍA
CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

DR. IVAN FABRICIO VEGA GONZÁLEZ
ASESOR DE TESIS
SUBJEFE DE LA UNIDAD PET-CT
HOSPITAL MÉDICA SUR

DR. JOSE PASCUAL PEREZ CAMPOS
ASESOR DE TESIS
PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE ESPECIALIZACIÓN EN MEDICINA
NUCLEAR
HOSPITAL DE CARDIOLOGÍA
CENTRO MÉDICO NACIONAL SIGLO XXI
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL

A G R A D E C I M I E N T O S

Agradezco a mis padres por todo su esfuerzo, su amor y su apoyo incondicional. Los llevo siempre en mi corazón.

A mis hermanas y hermano, por ser mis amigos siempre, en especial a mi hermana mayor y su pequeña familia por su cariño.

A mi novio, por ser mi mejor amigo, por su paciencia y por todo lo que compartimos.

A todos mis amigos, por que me han brindado su amistad y su ayuda en los momentos difíciles.

A todos mis maestros, que han compartido su experiencia conmigo y que de una u otra forma han contribuido con mi formación, mil gracias.

A mis compañeros, por su amistad y por los buenos momentos.

A Dios, por permitirme llegar hasta aquí y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi vida.

Í N D I C E

1. Antecedentes.....	6
2. Justificación.....	9
3. Planteamiento del problema.....	11
4. Hipótesis.....	13
5. Objetivos.....	14
6. Material y métodos.....	15
7. Consideraciones éticas.....	16
8. Recursos para el estudio.....	18
9. Resultados.....	19
10. Discusión.....	24
11. Conclusiones.....	27
12. Anexos.....	29
13. Referencias bibliográficas.....	36

ANTECEDENTES

En décadas recientes las modalidades de imágenes en tres dimensiones como la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética (RM) y la tomografía por emisión de positrones (PET) han permitido la localización precisa del volumen tumoral grueso (en inglés gross tumor volume o GTV) de forma razonable en la mayoría de las neoplasias sensibles a la radiación, en los diversos sitios anatómicos. Sin embargo, la localización *precisa* de la extensión microscópica del tumor que circunda al GTV sigue siendo incierta. (1-4).

El concepto de un área de volumen blanco clínico (en inglés clinical target volume o CTV) que rodee el GTV, da un margen presumible para la invasión microscópica y es probablemente el mejor escenario para solucionar este problema.

Debido a los cambios posición del paciente cuando es citado en diferentes fechas a las sesiones radioterapia y que la posición de los órganos y neoplasias pueden cambiar, se ha propuesto un volumen todavía mayor que el CTV que circunda a este, llamado volumen blanco de planeación (en inglés planning target volume o PTV).

La precisión y la exactitud para dirigir radioterapia al GTV es crítica para determinar por ende el CTV y el PTV, con el fin de optimizar el radio terapéutico, y limitar la dosis de radiación a los tejidos sanos (5-10).

La incorporación del concepto de un volumen tumoral biológico (BTV) en 3 dimensiones, que puede obtenerse a través de imágenes funcionales, provee cierta información específica, molecular y fisiológica a cerca del tumor, que se puede incorporar en la planeación de la radioterapia mejorando la exactitud clínica de la misma y las dosis finales administradas (11).

La PET y mas recientemente la PET integrada a la tomografía computarizada (PET-CT), han sido descritas como herramientas muy útiles en radioterapia, sobre todo en la evaluación de la respuesta al tratamiento, pero además brindan información funcional de la neoplasia que puede potencialmente modificar la planeación del tratamiento, sin embargo, las series estudiadas hasta el momento no son concluyentes en cuanto a los beneficios de la planeación de la radioterapia basada en estos métodos de imagen (12).

El PET-CT es un sistema de diagnóstico por imagen en el que se integran las imágenes funcionales de PET y las morfológicas de TC. Lo anterior permite determinar cambios metabólicos dentro de un marco morfológico. Para el PET se requiere el uso de radiofármacos, de los cuales el más utilizado en el mundo es el Flúor-18- des-oxi-glucosa (FDG-F18) que es un análogo de la glucosa que es captado por la mayoría de las células tumorales, ya que estas presentan una alta tasa metabólica. El diagnóstico se establece determinando la concentración de este radiofármaco dentro de un órgano, tejido o grupo celular. Esta determinación puede ser visual, bajo el criterio del especialista que interpreta las imágenes o puede utilizarse un método semi-cuantitativo de medición llamado SUV (por sus siglas en inglés de valor de captación estándar), que da un valor de la concentración de esta glucosa marcada por gramo de tejido. El estudio PET-CT se adquiere como un rastreo de cuerpo completo (desde el cráneo hasta la mitad de los muslos, de forma habitual), pudiéndose realizar también en la camilla especial para simulación de la planeación RT. Las imágenes obtenidas se envían directamente al sistema de planeación de RT mediante una conexión en red intra-hospitalaria.

Se han utilizado varios métodos para definir el GTV bajo el criterio de captación de FDG-F18: 1) Interpretación visual de la imagen de PET, definiendo los contornos de la

lesión basados en la experiencia del médico nuclear, el más usado, 2) Un umbral máximo captación de 2.5 SUV, aunque todavía es muy discutido, 3) a partir de un SUV máximo inicial y central dentro del tumor, se incluye toda área que tenga valores de hasta un 40-50% de esta captación inicial y 4) algoritmos recientemente propuestos que involucran actividad de fondo (restar de la actividad metabólica tumoral la actividad metabólica normal de los tejidos anexos al tumor). Nestlé y cols. (2004), publicaron un estudio que compara la utilidad de estos parámetros en la definición de los volúmenes de radioterapia en pacientes con cáncer pulmonar, considerando significativa una variación mayor al 5% en el GTV en obtenido en imágenes de TC y PET, es decir variaciones menores a esta no alteran la planeación, los efectos o la respuesta a la RT (13).

Las aplicaciones más importantes de las imágenes de PET usadas para la planeación de la RT se reportan en pacientes con cáncer de pulmón, carcinomas de cabeza y cuello, carcinoma rectal, linfomas, carcinoma cervical y carcinoma esofágico (14).

Se estima un cambio de hasta un 30 a 40% de los planes de tratamiento en pacientes con cáncer, después de que se toman en cuenta los hallazgos observados en un rastreo con PET para la planeación de la RT (15,16).

Bradley y cols. reportaron los beneficios potenciales de la planeación de la RT tomando en cuenta las imágenes funcionales en pacientes con cáncer pulmonar de células no pequeñas (11). Scaforne et al., así como Koshy y cols., refirieron la factibilidad del uso de las imágenes de PET y CT fusionadas para la planeación de la radioterapia en pacientes con cáncer de cabeza y cuello, sin embargo, mencionan los inconvenientes que representan adquisiciones por separado de ambos estudios (17,18).

Algunos estudios recientes reportan las primeras experiencias con imágenes de PET-CT en pacientes con patologías seleccionadas, como el cáncer de pulmón que ha sido ya ampliamente descrito con PET y en cáncer esofágico en estudios prospectivos de series reducidas (19), aquí se refiere la mejora en la interpretación de las imágenes obtenidas con esta tecnología y la implementación de nuevos paquetes de software como DICOM (Digital Imaging in Communications in Medicine) que permiten exportar las imágenes a las unidades de RT directamente en un formato estándar (20).

JUSTIFICACIÓN

Es necesario demostrar los cambios derivados de la planeación de la radioterapia a partir de imágenes de PET-CT, que permitan establecer las diferencias en los volúmenes tumorales que serán tratados con radioterapia y así poderlos comparar con otras series previamente reportadas únicamente con imágenes PET. Por otra parte es imprescindible establecer el costo-beneficio de este método de planeación de RT.

En el Hospital de Oncología del Centro Médico Nacional Siglo XXI del IMSS se realizan un promedio de 8975 sesiones de radioterapia mensuales, y se reciben un promedio de 452 pacientes nuevos por mes, no se cuenta aún con la tecnología PET-CT en la institución, lo cual limita su uso en el paciente oncológico (21).

Actualmente en el hospital Médica Sur se realizan un promedio de 900 sesiones de radioterapia por mes a 40 nuevos pacientes, esta planeación se basa en cortes de TC, y en la gran mayoría de ellos no se cuenta con un estudio PET-CT previo, sobre el cual basar la planeación de RT o que sirva para etapificar su enfermedad o para el seguimiento y la evaluación de la respuesta después de la RT (22). A la unidad PET-CT del hospital Médica Sur llegan aproximadamente 40 estudios oncológicos por mes de los cuales un alto porcentaje va a requerir RT o combinación con quimioterapia (QT) (23). De acuerdo a lo referido en la literatura la planeación de la radioterapia a partir de estudios de PET-CT puede:

- Reducir los volúmenes de RT y evitar el daño al tejido sano adyacente.
- Identificar sitios de actividad metabólica incrementada no evidenciados con otros métodos de imagen, ubicando al paciente en un estadio diferente de la

enfermedad; también es importante definir el costo-beneficio del estudio, ya referido ampliamente en la literatura.

- Permitir el establecer criterios para definir los volúmenes de radioterapia ya mencionados a partir de las imágenes de PET-CT. (24-26).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en México y tanto en el Hospital Médica Sur como en el CMN Siglo XXI, la planeación de la radioterapia se realiza de forma rutinaria a partir de imágenes morfológicas de TC en tres dimensiones; en Médica Sur se cuenta ya con la posibilidad de realizar la radioterapia de intensidad modulada (RTIM), sin embargo también se guía exclusivamente por los cambios morfológicos de la lesión en la TC (27,28).

Algunos de los principales problemas en la planeación convencional de la radioterapia con TC son su baja sensibilidad y especificidad para determinar la viabilidad tumoral, de la posible extensión local y nodal de la enfermedad (29).

Hoy es posible disponer de métodos de imagen que proporcionan información funcional y anatómica en un mismo estudio como es el caso del PET-CT; el en campo de la oncología se realiza comúnmente con ¹⁸F-FDG (por los motivos antes descritos), y de acuerdo a lo referido en la literatura, facilita la evaluación de la fisiología, la proliferación y el metabolismo del tumor, los cuales son parámetros esenciales en el resultado y seguimiento de la radioterapia.

Se ha reportado que la imagen funcional puede proveer información que influye directamente en el planeamiento de la RT; en primer lugar puede evidenciar sitios con metabolismo incrementado no detectados por estudios morfológicos de TC o RM; en segundo lugar se pueden detectar regiones adicionales que se encuentran fuera del volumen del tumor definido por TC o RM, o bien reducir la probabilidad de malignidad en regiones con características morfológicas mal definidas por estos métodos (ej. áreas de atelectasia), y en tercer lugar pueden identificarse sitios focales con actividad metabólica incrementada como sub-regiones del volumen tumoral ya definido por los estudios

morfológicos. Lo anterior evidencia la influencia potencial de la imagen funcional en la planeación de los volúmenes definidos para el tratamiento con RT; el uso de imágenes de PET-CT y la radioterapia en 4 dimensiones permitirá la reducción de los volúmenes finales, permitiendo incrementar la dosis en sitios viables del tumor y respetando tejidos sanos; la finalidad será mejorar el balance entre los efectos secundarios y las expectativas de curación con radioterapia (30).

HIPÓTESIS

La delineación del GTV en las de imágenes de PET-CT permite una mejor definición del volumen tumoral, comparado con el que se obtiene a partir de las imágenes de TC.

HIPOTESIS NULA

La delineación del GTV en las de imágenes de PET-CT no permite una mejor definición de este volumen, comparado con el que se obtiene a partir de las imágenes de TC.

OBJETIVO GENERAL

Determinar si la definición del GTV en la planeación de RT, a partir de imágenes de PET-CT, es más precisa, con respecto a la metodología de planeación convencional (con TC).

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se realizó un estudio retrospectivo, transversal, descriptivo y comparativo.

DEFINICIÓN DEL UNIVERSO

Pacientes referidos por patología oncológica de julio del 2005 a julio del 2007 para la realización de un estudio de PET-CT que fueron enviados con diagnóstico de carcinoma de pulmón.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

- Se incluyeron todos aquellos pacientes enviados a la unidad PET-CT del hospital Médica Sur con diagnóstico de patología tumoral pulmonar de julio del 2005 a julio del 2007, susceptibles de ser tratados con RT.

CRITERIOS DE NO INCLUSION

- Se excluyeron aquellos pacientes con diagnóstico de tumor primario desconocido o primarios sin clasificación histopatológica.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

- Estudios incompletos o con deficiencias en el control de calidad.

PROCEDIMIENTOS

Se realizó la delineación del volumen GTV de tratamiento de RT a partir de imágenes de PET-CT y en las imágenes de TC del mismo estudio.

Un médico experto en radioterapia determinó el GTV sobre las imágenes de TC, de la manera habitual.

Un especialista en medicina nuclear, sin experiencia en imágenes de TC, delineó el mismo GTV sobre las imágenes del PET. Estas mediciones fueron doble ciegas.

Otro especialista en medicina nuclear con experiencia en imágenes de TC, comparó el GTV delineado por el primer médico nuclear, pero sobre las imágenes de TC, sin ver el delineamiento hecho por el radio oncólogo y excluyendo los sitios de captación fisiológica de la FDG-F18. La idea de esta valoración fue darle exactitud anatómica a las alteraciones metabólicas, como si se tratase de una delineación hecha sobre PET-CT.

Se utilizó el sistema de planeación de tratamiento Eclipse (® Varian, versión 6.5).

Se utilizaron las imágenes del archivo de la unidad de PET-CT del hospital Médica Sur, previa autorización de las direcciones de radioterapia y PET-CT.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó análisis de los datos obtenidos calculándose medidas de tendencia central ya que el estudio es retrospectivo y descriptivo. Analizándose en porcentajes las variaciones encontradas en los volúmenes con los diferentes métodos.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

Se solicitó autorización para consultar los expedientes en el archivo de la unidad PET-CT del Hospital Médica Sur. En todo momento se mantuvo la confidencialidad de los datos personales del paciente.

RECURSOS PARA EL ESTUDIO

Recursos humanos:

- Un especialista de Medicina Nuclear y PET-CT.
- Un especialista de Medicina Nuclear y PET.
- Un especialista en Oncología y Radioterapia.
- Dos físicos médicos especialistas en planeación de radioterapia.
- Un técnico radiólogo de la unidad PET-CT.

Recursos materiales:

Equipos:

- Las computadoras del equipo de PET-CT Multicorte Biograph Sensation 16 SIEMIENS®, para recargar las imágenes del archivo de los pacientes y luego enviarlos a las computadoras de RT.
- Sistema de planeación de tratamiento Eclipse (® Varian, versión 6.5).

Computadoras:

- Una computadora de escritorio.
- Una computadora portátil.

Papelería:

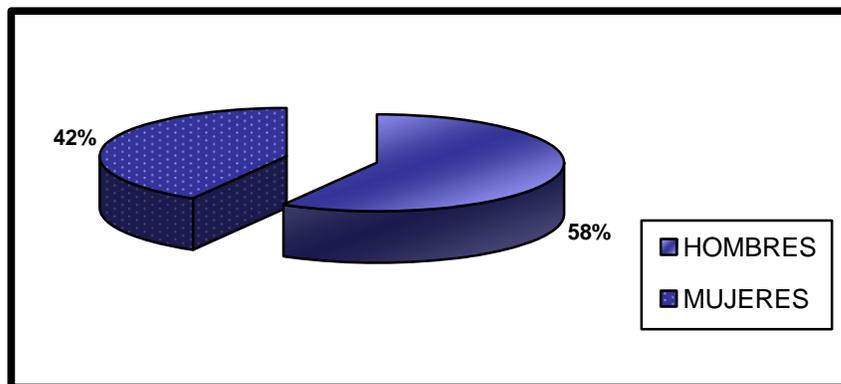
- Hojas.
- Lápices y bolígrafos.
- Carpetas.

Recursos financieros:

- Gastos para transporte.

RESULTADOS

Se incluyeron un total de 24 lesiones en 24 pacientes con diagnóstico de cáncer de pulmón, de los cuales 14 (58%) fueron hombres y 10 (42 %) mujeres, con un rango de edad de 49 a 84 años en las mujeres (media de 55.7 años) y de 39 a 78 años en los hombres (media de 57.35 años). (Gráfica 1).



Gráfica 1. Género de los pacientes.

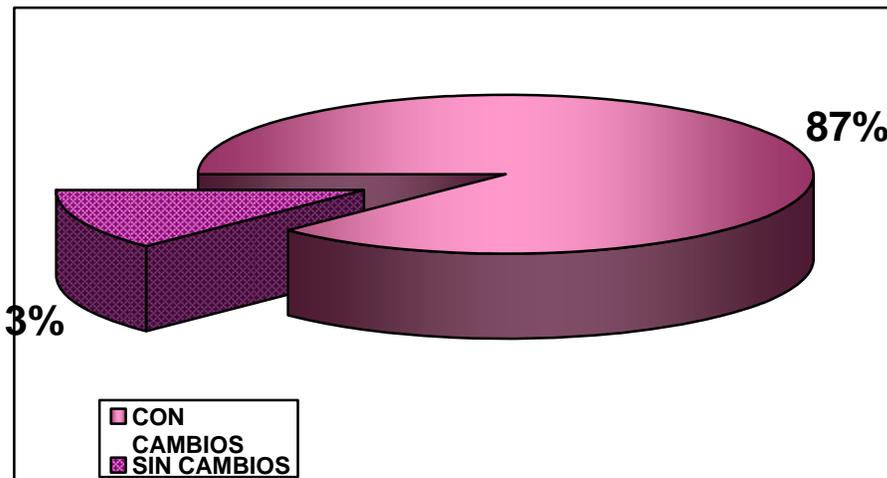
Todos los pacientes tenían diagnóstico de tumor pulmonar de células no pequeñas, 11 tumores epidermoides (45.8 %), 8 adenocarcinomas (33.4 %) y 5 carcinomas de células grandes (20.8 %).

Se calcularon los volúmenes GTV en cm^3 en las 24 lesiones sobre las imágenes de TC y se compararon con aquellos cálculos realizados por PET-CT (aquellas que fueron el resultado de la determinación de GTV sobre PET, con la corrección hecha por el segundo especialista de medicina nuclear con experiencia en imágenes de TC).

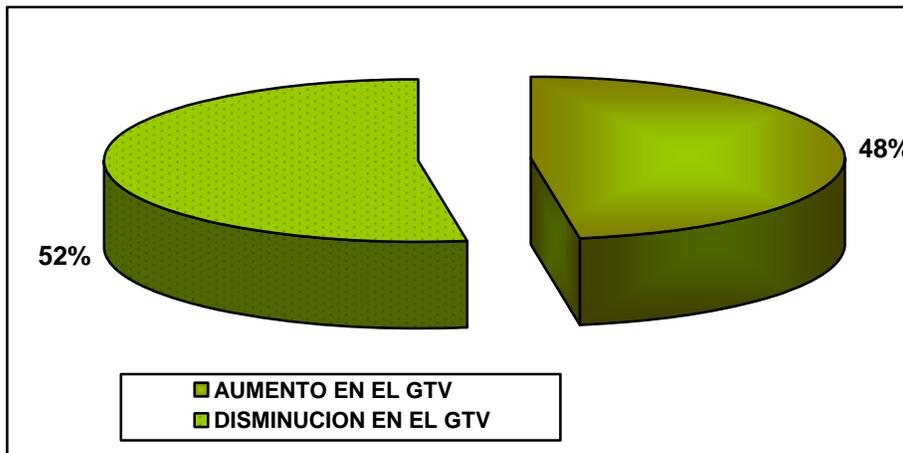
Se observó una variación del GTV en el 100% de los casos, que fue significativa (con una diferencia de volumen mayor al 5%), en 21 casos (87.5%) de los 24 incluidos (Gráfica 2). En 10 de ellos (47.6%) aumentó el GTV y en 11 (52.4 %) disminuyó. (Gráficas 3 y 4).

En los casos en los que se observó aumento el GTV con PET-CT los porcentajes de incremento variaron de un 8 a un 221 %, mientras que los casos en los que se observó disminución los porcentajes variaron de 9 a 64 %. (Gráficas 5 y 6).

En los pacientes en los que el GTV aumento en la imagen de PET-CT con respecto a TC, se debió a que se demostró actividad metabólica aumentada más allá de los límites de los cambios morfológicos definidos en TC, probablemente debida a diseminación linfangítica, la cual no es valorable del todo por TC.



GRAFICA 2. Pacientes en los cuales se observaron cambios en la definición del GTV con imágenes PET-CT respecto a imágenes de TAC.



GRAFICA 3. Distribución de los pacientes en los que se observaron cambios en el GTV.

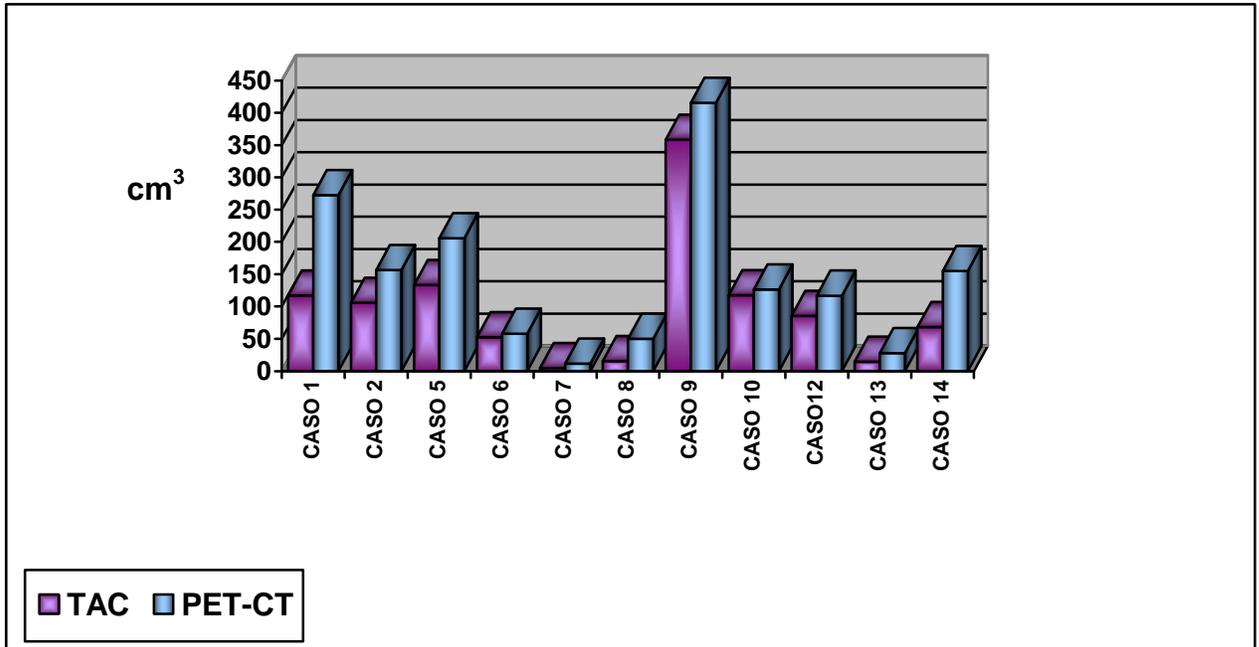
Tabla 1. Volúmenes GVT en cm³.

CASO	Volumen TAC. (cm ³)	Volumen PET-CT. (cm ³)	Variación en %	Comentario
1.	116.79	272.35	+133	Mejor delimitación del tumor *
2.	105.99	156.35	+148	Mejor delimitación del tumor *, compromiso de Columna vertebral no identificado en TAC
3.	275.70	249.79	- 9	Mejor delimitación del tumor **
4.	143.57	125.16	- 13	Mejor delimitación del tumor**
5.	132.99	205.65	+ 55	Mejor delimitación del tumor*
6.	52.27	56.97	+ 9	Mejor delimitación del tumor
7.	4.8	11.39	+137	Mejor delimitación del tumor*
8.	15.56	50.10	+ 221	Mejor delimitación del tumor*
9.	358.39	415.21	+ 16	Mejor delimitación del tumor*
10.	117.22	126.22	+ 8	Mejor delimitación del tumor
11.	148.47	84.52	- 43	Mejor delimitación del tumor**
12.	85.48	116.65	+ 36	Mejor delimitación del tumor*
13.	14.38	27.74	+ 93	Mejor delimitación del tumor*
14.	68.17	154.89	+ 127	Mejor delimitación del tumor*
15.	94.21	48.2	- 49	Mejor delimitación del tumor*
16.	851.11	308.75	- 64	Mejor delimitación del tumor (mejor diferenciación entre tumor y atelectasia)
17.	151.82	105.63	- 30	Mejor delimitación del tumor**
18.	78.27	53.56	- 31	Mejor delimitación del tumor**
19.	109.65	67.02	- 39	Mejor delimitación del tumor**
20.	175.72	173.02	NA (- 1.5)	Sin cambios
21.	31.66	19.04	- 39	Mejor delimitación del tumor
22.	60.68	57.72	NA (- 4.8)	Sin cambios
23.	222.59	214.03	NA (- 3.8)	Sin cambios
24.	39.51	33.37	- 15	Mejor delimitación del tumor**

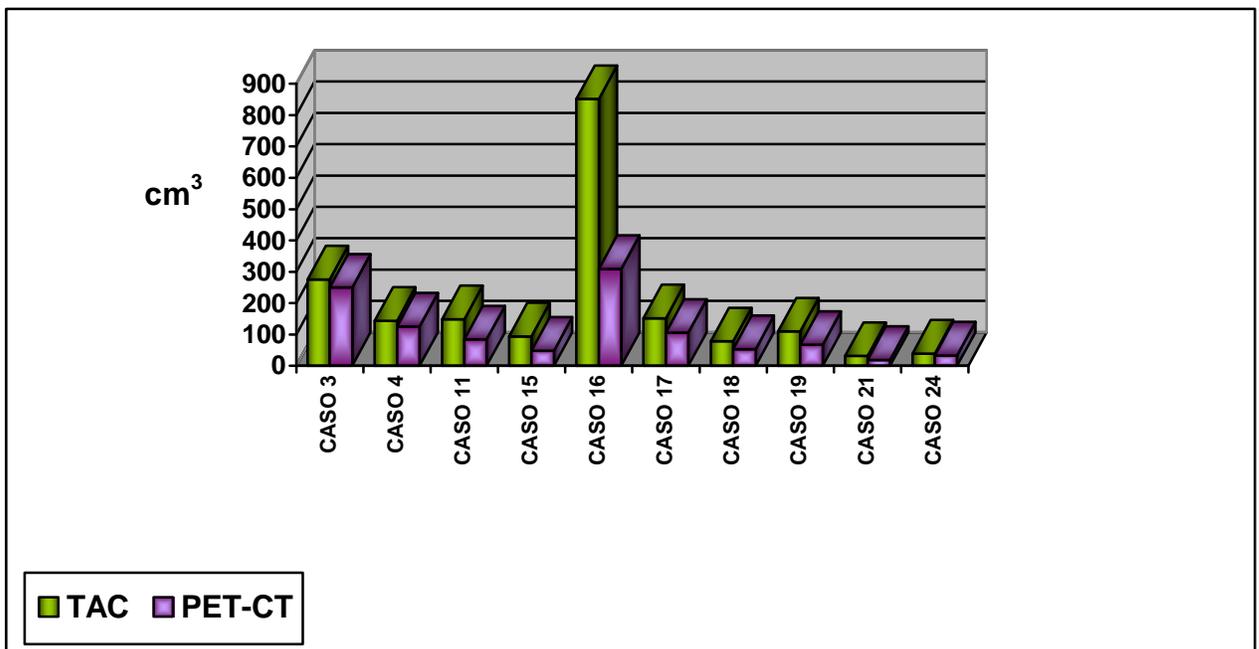
* Incremento por mayor actividad metabólica en el tejido periférico.

** Se excluyó el tejido que no presentaba actividad metabólica sugestiva de actividad tumoral.

NA: no aplica.



Gráfica 5. Casos en los que aumentó el GTV en imágenes de PET-CT con respecto a la TC.



Gráfica 5. Casos en los que aumentó el GTV en imágenes de PET-CT con respecto a la TC.

En los casos en los que se observó disminución del GTV, se debió primero a que mediante TC se incluyeron todos aquellos tejidos anexos con aparente alteración morfológica sospechosa, segundo a que en algunos casos se incluyo tejido sano y en tercer lugar se incluyo tejido con alteraciones leves tales como atelectasias o hiperdensidades vistas en TC pero sin la presencia de tumor.

En el caso del paciente número 16, la delimitación del tumor se dificultó en la imagen de TC debido a que el tumor se asociaba a una gran zona de atelectasia que no permitió la localización precisa de los bordes del tumor

DISCUSIÓN

Actualmente la planeación de la radioterapia conformal en 3 dimensiones se realiza en base a las imágenes de la tomografía computada, delineando los volúmenes de planeación en base a las alteraciones morfológicas que causa el tumor. En los últimos años se ha estudiado el uso de las imágenes funcionales del PET y su valor para la definición de los volúmenes de tratamiento. Sin embargo una de las principales limitaciones para el uso de estas imágenes en la planeación de la RT ha sido la dificultad de localización anatómica de las lesiones y también la poca disponibilidad de equipos PET o sistemas de computadoras que permitan hacer la planeación de RT basada en este método. Con la aparición de los equipos híbridos PET-CT ha incrementado la exactitud diagnóstica tumoral en cuanto a diseminación local, regional o a distancia, aparte de las bondades ya conocidas por el método PET, en la evaluación de la respuesta al tratamiento. Otra de sus aplicaciones recientemente estudiada, es en la planeación de la RT, sobre todo en la definición del GTV, buscando mayor precisión al definir el volumen y teniendo como objetivo mantener la toxicidad producida por la radiación dentro de niveles aceptables, con la disminución de la irradiación a tejidos sanos circundantes (31).

Por otra parte la utilidad del estudio PET-CT en el paciente con cáncer de pulmón de células no pequeñas (CPCNP) ha sido ampliamente referida (32), ya que permite la evaluación tanto del tumor, su diseminación local y la presencia de metástasis, modificando el manejo del paciente. La gran exactitud diagnóstica del estudio y la necesidad de contar con un método que delimite de manera más exacta la lesión tumoral para la planeación de la RT, ha permitido que la imagen funcional sea cada vez más utilizada en este ámbito (33).

Los estudios demuestran que no hay concordancia entre la delimitación del GTV realizada con TC vs. PET-CT en el CPCNP, entre el 25 % al 100 % de los casos (34). En nuestro estudio no concordaron estos métodos en un 87.5 % (n=21) de los casos.

Brianzoni y cols., realizaron un estudio en cual incluyeron 24 pacientes con cáncer de pulmón, cabeza y cuello y linfoma, reportando diferencias significativas en un 44% de los casos (34), por su parte, Erdi et al., en un estudio de 11 pacientes con diagnóstico de CPCNP reportaron un 100% de variación al comparar la delineación del GTV en imágenes de TC e imágenes de fusión PET-CT (35).

Los principales factores relacionados con esta no concordancia, referidos en la literatura, son aquellas lesiones asociadas al tumor que son indistinguibles en la imagen morfológica (TC), como es el caso de las atelectasias, zonas circundantes al tumor que aunque muestran ya niveles de SUV sugestivos de actividad tumoral no presentan todavía cambios morfológicos macroscópicos, así como la diseminación linfática a los ganglios regionales no evidente en la tomografía.

En algunos de nuestros casos se observó una variación muy importante en la delimitación del tumor, por los factores mencionados anteriormente; en el caso no.2, el delineamiento del GTV basado en TC no incluyó el compromiso óseo por extensión del tumor a la columna dorsal, ya que precisamente no habían cambios morfológicos evidentes en la TC, y por el contrario estos cambios fueron identificados por PET-CT; otros ejemplos son los casos 8 y 14, sobre todo en el número 8 en donde la TC tampoco identificó la diseminación linfangítica tumoral dentro del propio pulmón y que se determinó fácilmente con PET-CT.

En el caso no. 16 la diferencia en los volúmenes tumorales fue de 64%, siendo mayor para el GTV basado en TC; al realizar un análisis de las imágenes se descubrió que la TC incluyó dentro del volumen tumoral una gran atelectasia, que fue bien identificada por PET-CT; el caso no. 14 fue una situación similar, pero la atelectasia asociada se delinea en TC, en lo que correspondía a base del tumor metabólicamente activo en las imágenes de PET-CT.

Nuestros resultados coinciden con lo referido por algunos autores en la literatura, donde se menciona que los casos en los que se observa aumento del GTV se debe principalmente a la identificación de áreas con actividad metabólica incrementada adyacentes al tumor que no muestran cambios en la TC, y en los casos que se ha observado disminución, el tejido periférico al tumor no rebasaba el nivel metabólico para considerarse como lesión tumoral (36).

Existen todavía algunos problemas que impiden el uso habitual del PET-CT en la planeación de la RT, dentro de los cuales se han mencionado los artificios de movimiento que se producen durante la adquisición del estudio PET, debido a los movimientos de respiración; esto podría solucionarse con la adquisición de un estudio gatillado a nivel del tórax, sin embargo no todos los equipos cuentan con este software; otros problemas, como la falta de un método estándar para la delimitación del GTV en la imagen funcional, aunque ya ha sido estudiado, sigue siendo controvertido. Un factor importante también es la falta de familiaridad de los especialistas en oncología y radioterapia con las imágenes funcionales, como ya se ha valorado en algunos otros estudios. (37, 38).

CONCLUSIONES

El uso de las imágenes de PET-CT en la definición del GTV podría ser considerado como el estándar de oro para este propósito, debido a que brinda información funcional y morfológica del tumor permitiendo una mejor evaluación de los volúmenes del mismo, como fue demostrado en este estudio, con la posibilidad de reducir fuentes de error y también la variabilidad interobservador.

La aplicación de esta tecnología permitiría que la planeación de la radioterapia sea cada vez más precisa y más eficaz, disminuyendo el grado de toxicidad a órganos vecinos.

Como se observó en este estudio, el PET-CT permite delinear con mayor precisión el GTV en pacientes con CPCNP, ya que integra el estado metabólico del tumor; se demostró como en algunos casos la planeación de la RT, tomando en cuenta solamente las alteraciones morfológicas observadas en la TC subestima el tejido tumoral que se incluirá dentro del campo de tratamiento y como consecuencia se corre el riesgo de no irradiar todo el tumor; y por otro lado puede sobreestimarse el GTV incluyendo tejidos normales o con alteraciones pero sin actividad tumoral, aumentando la irradiación a los tejidos sanos y eventualmente los costos de los tratamientos.

Este es un estudio inicial, en un segundo término se analizará un mayor número de casos, valorados por más de dos expertos de cada especialidad (por separado) para disminuir sesgos y se incluirían otros tumores.

Como es sabido en el terreno del tratamiento con radioterapia influyen múltiples aspectos éticos y de seguridad radiológica que limitan la aplicación indiscriminada de estos métodos a todos los pacientes.

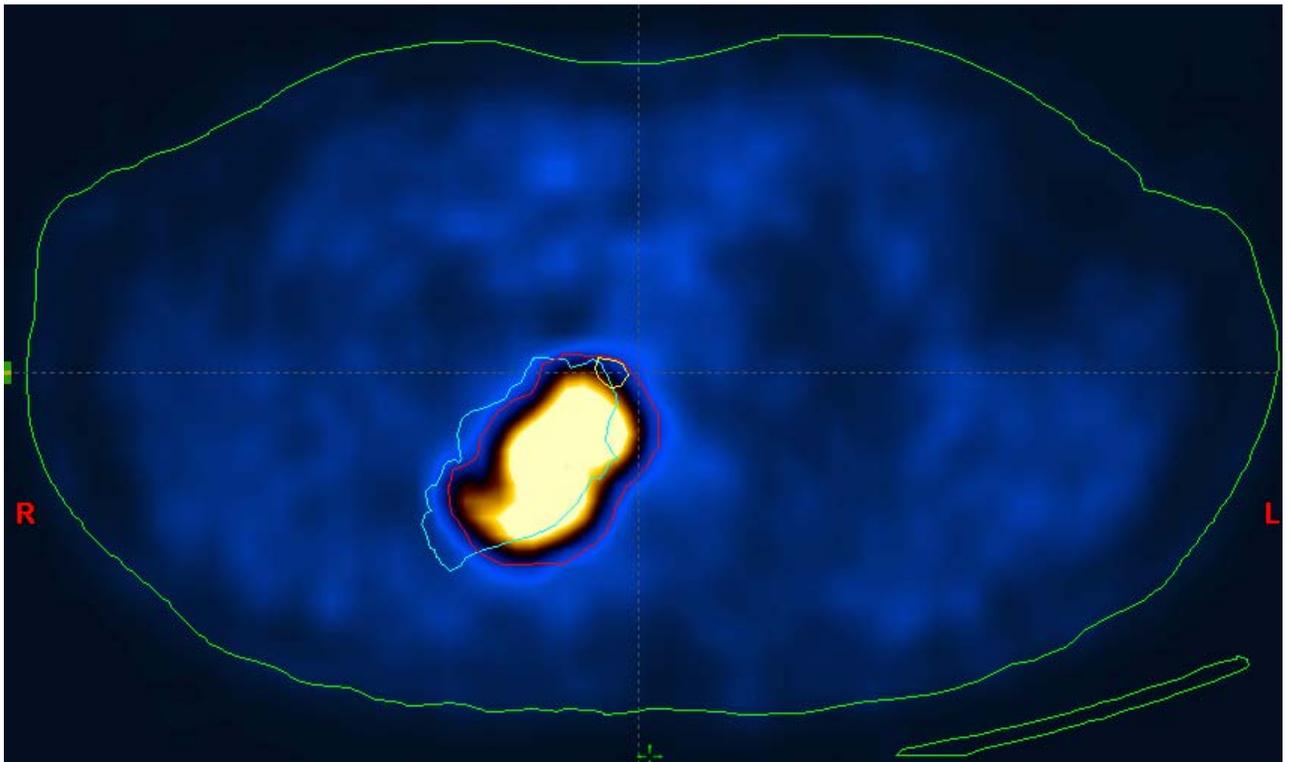
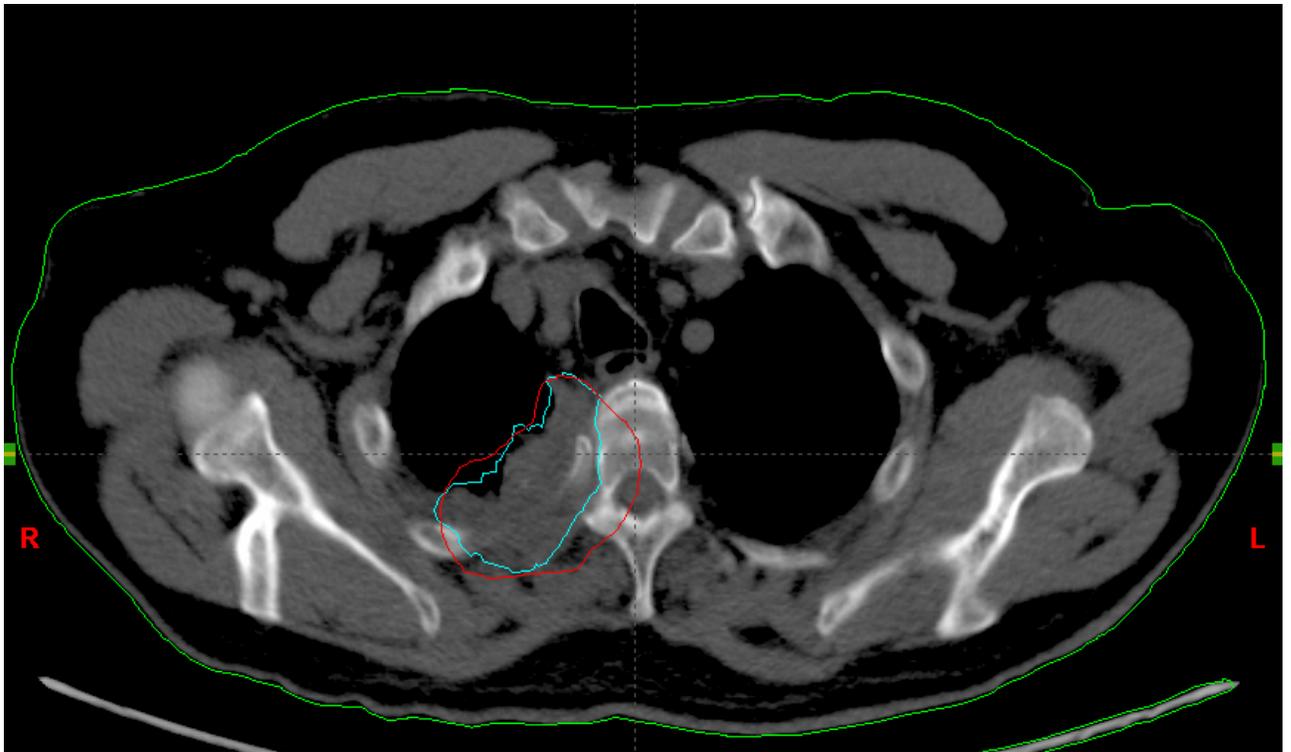
En México no existe la experiencia de la planeación de la RT con PET-CT, desafortunadamente esta tecnología apenas inicia en los hospitales del sector salud, ya que la mayoría de los equipos PET-CT se encuentran en hospitales privados.

La utilidad del estudio PET-CT en pacientes con patología oncológica esta bien documentada, en el diagnostico, el estadiaje y el seguimiento de los pacientes, sin embargo su papel puede ir más allá al realizar la planeación de RT sobre esta técnica.

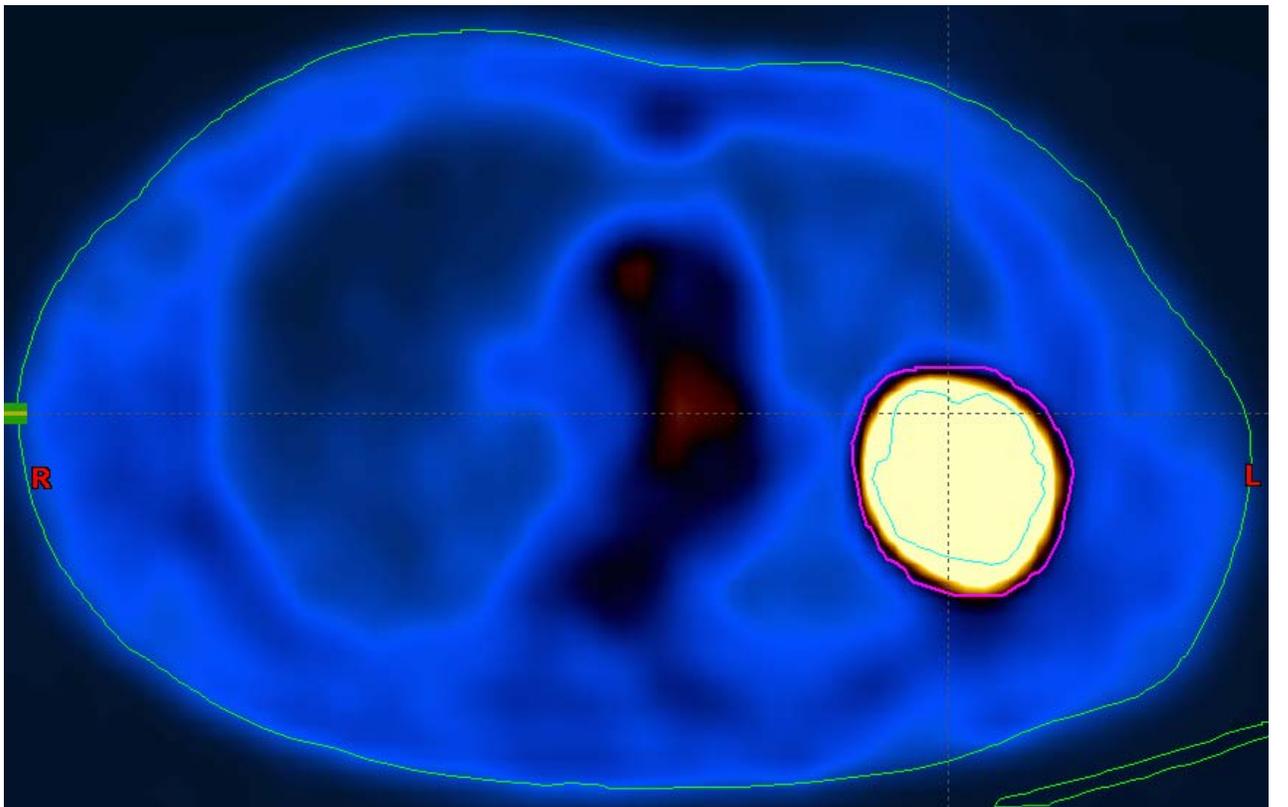
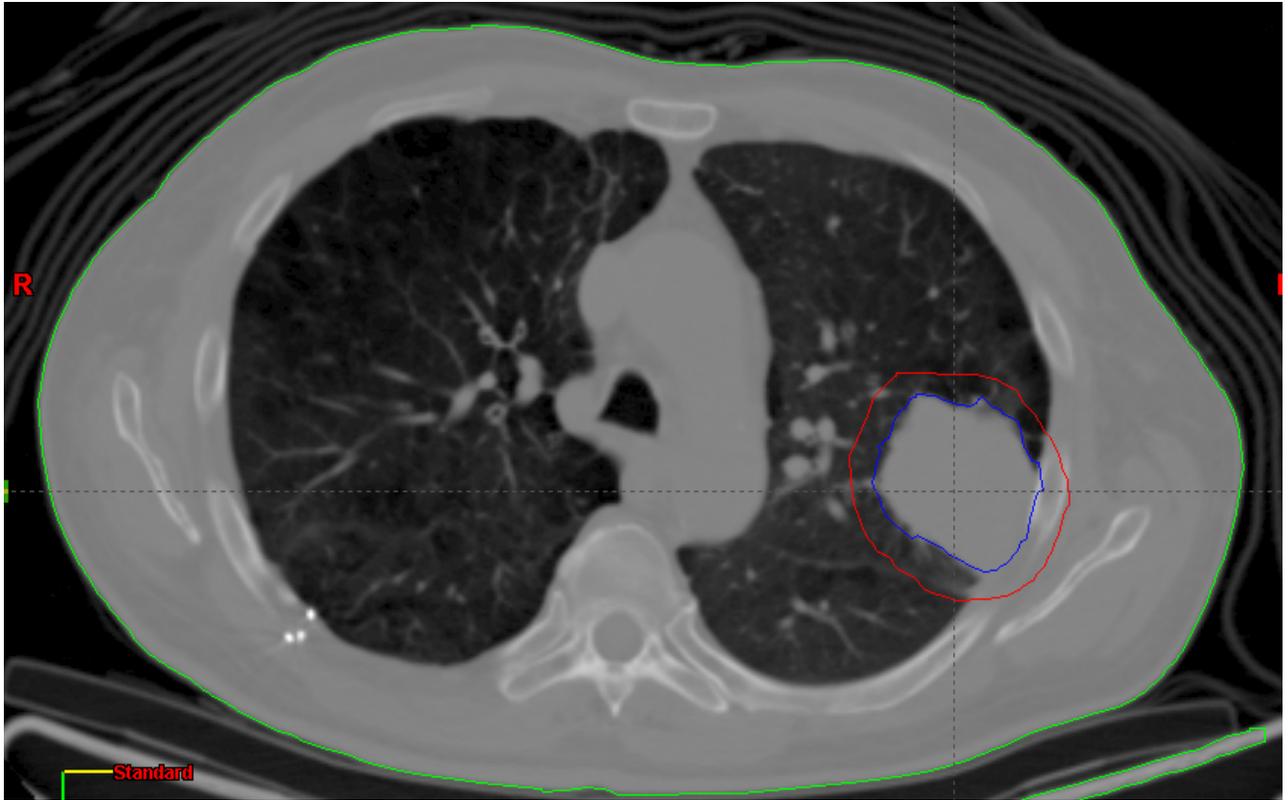
Por último, es importante recalcar la necesidad de la integración de un equipo multidisciplinario que vincule de manera más directa a los especialistas en oncología y radioterapia con los especialistas en medicina nuclear y radiología, con la finalidad de que la tecnología vigente sea bien aplicada y se sienten las bases para continuar la investigación en este ámbito.

ANEXOS

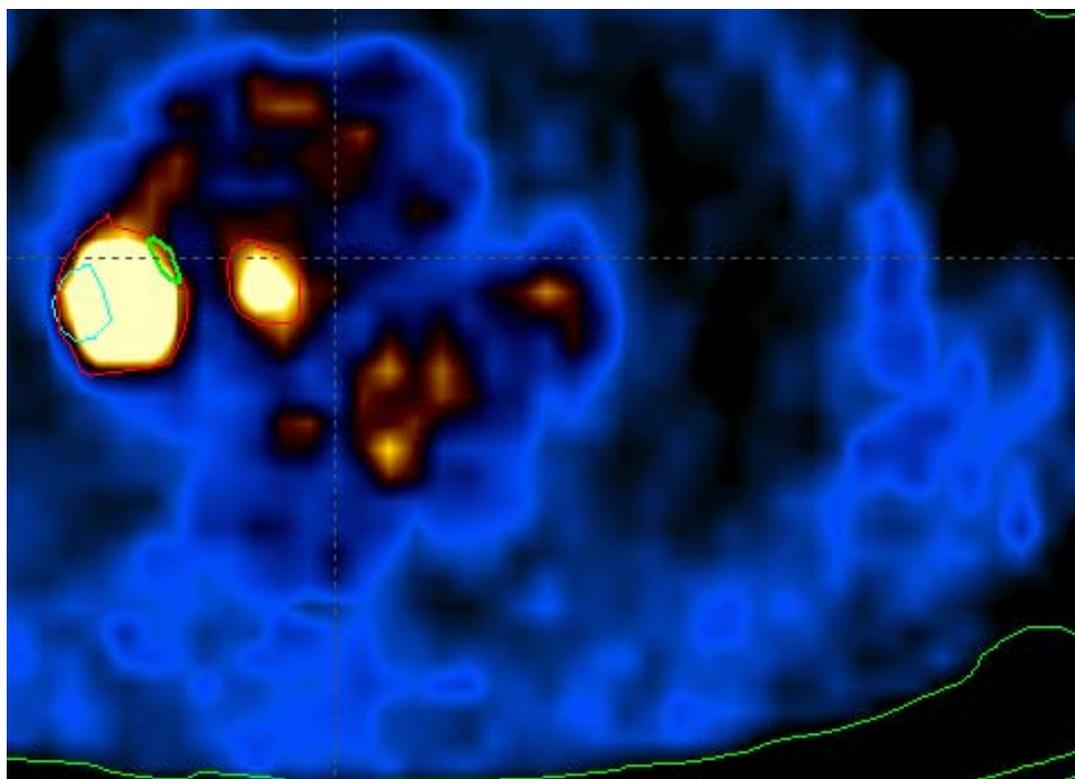
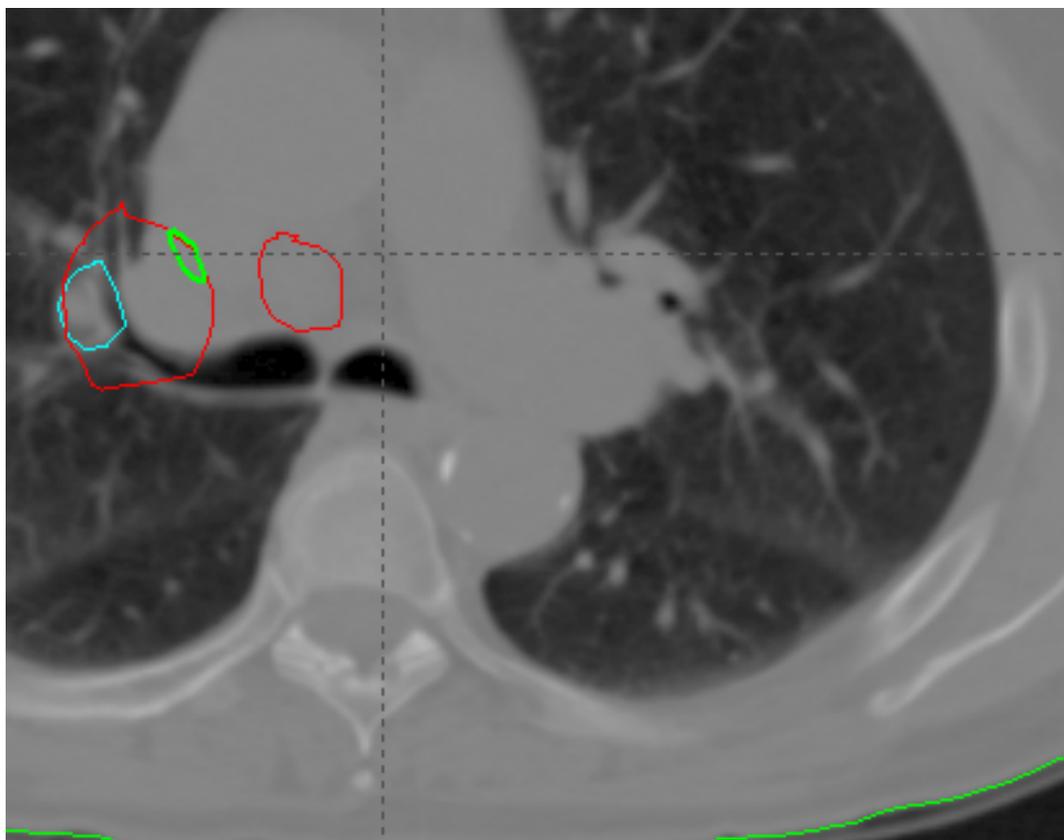
Imágenes caso No. 2.



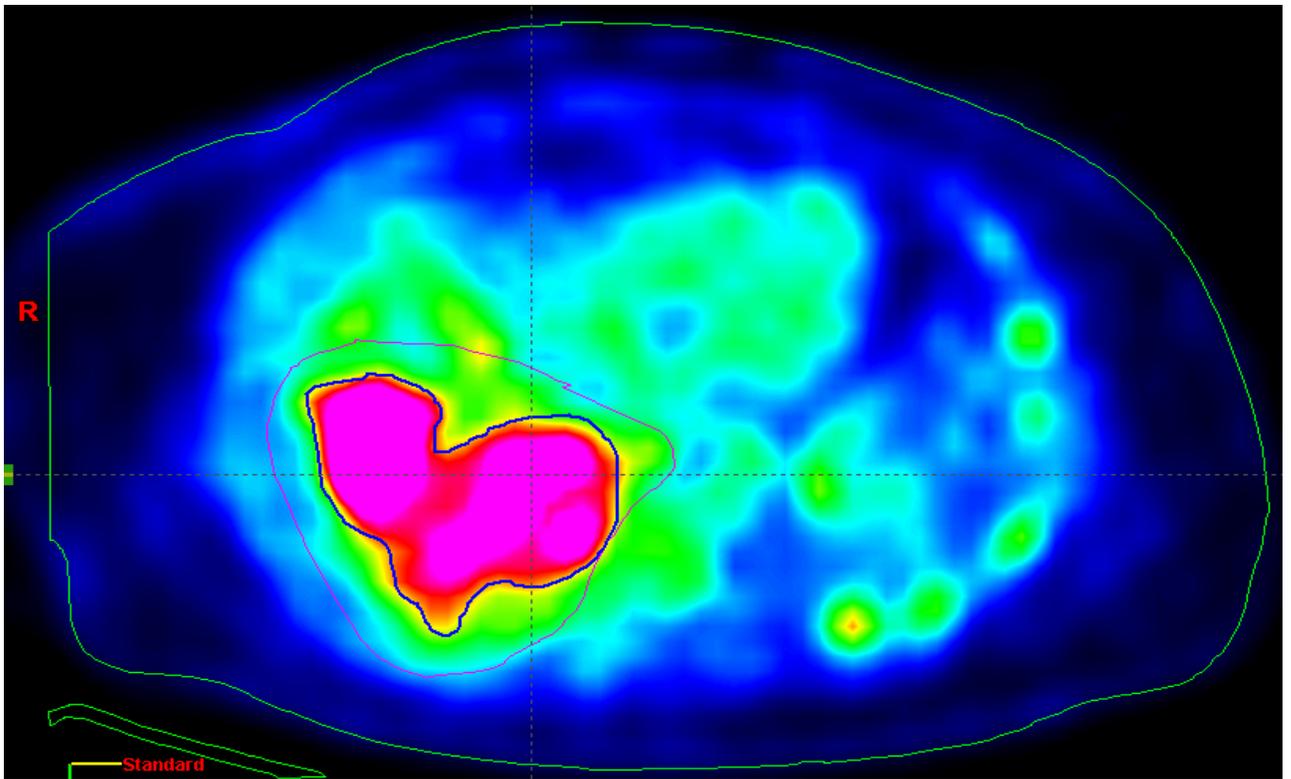
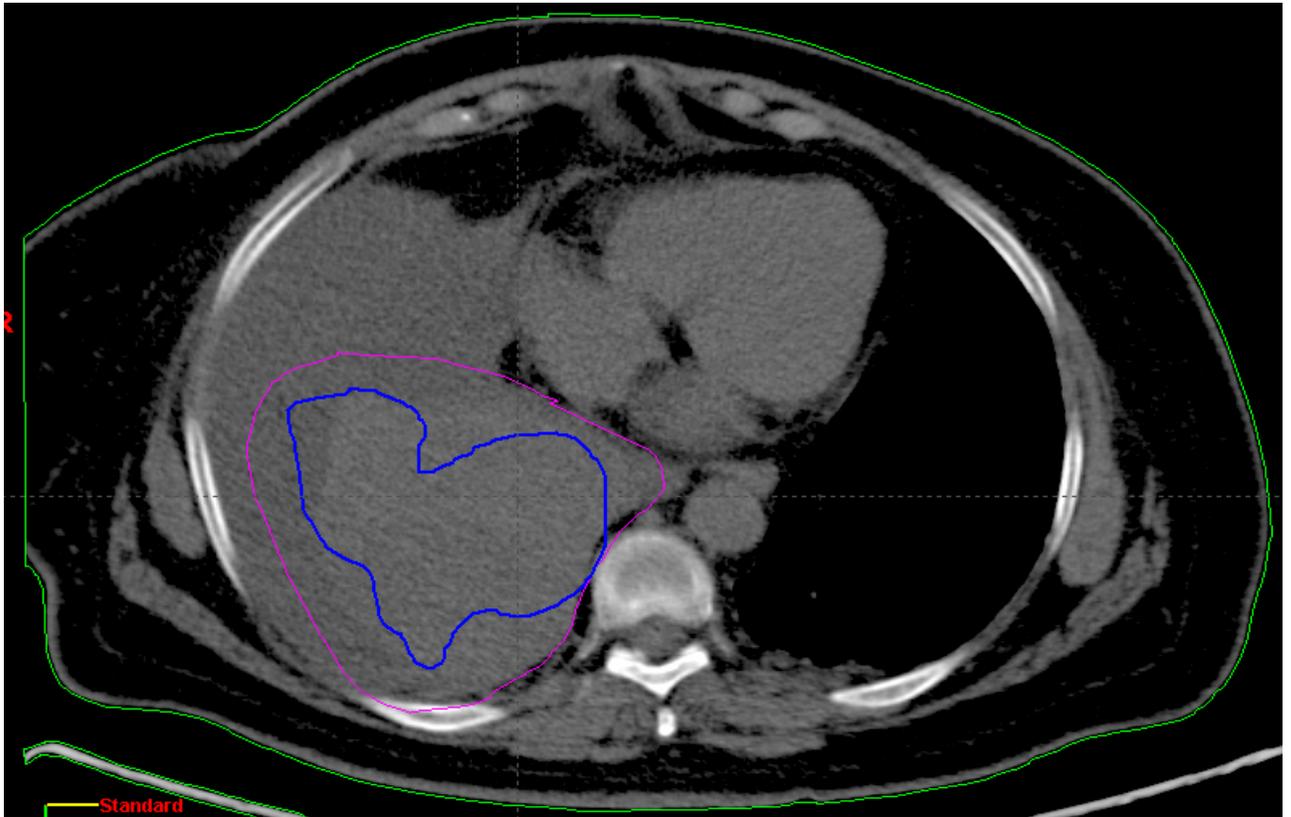
GTV en imágenes PET-CT en color rojo.
GTV en imágenes de TC en color azul.
Imágenes caso No. 14.



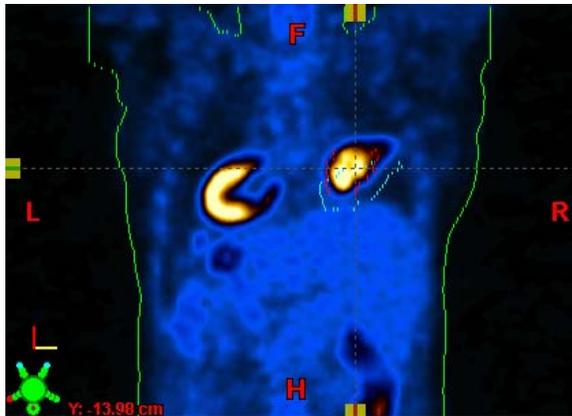
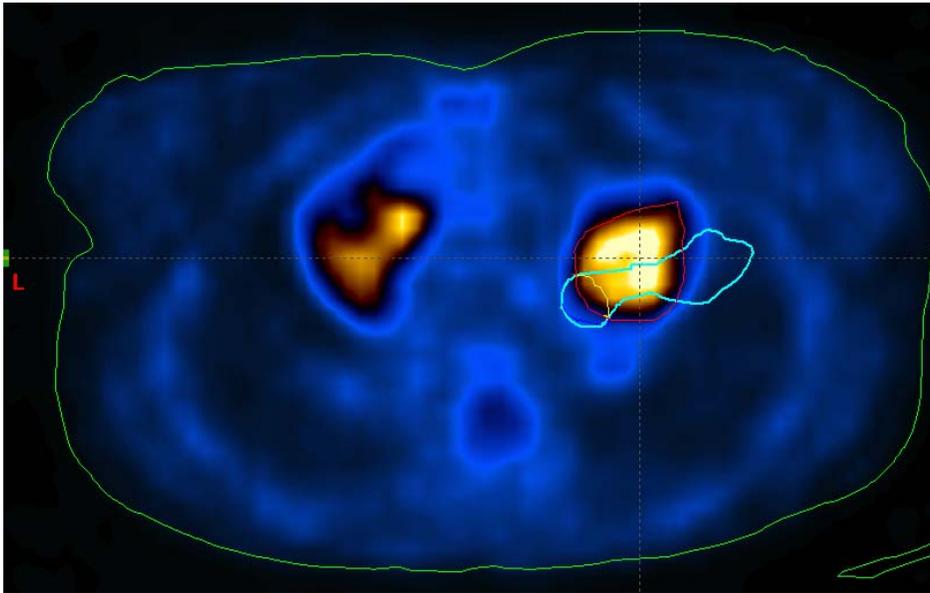
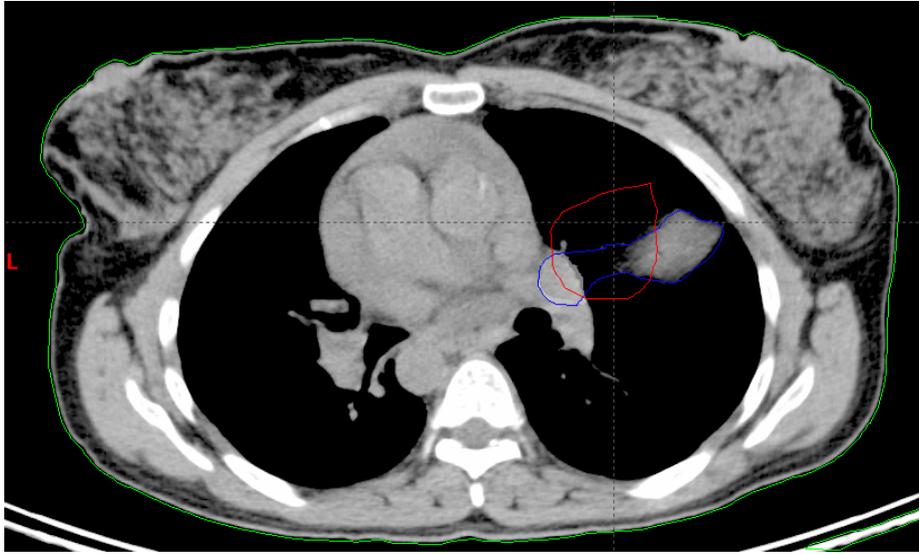
GTV en imágenes PET-CT en color rojo.
GTV en imágenes de TC en color azul.
Imágenes caso No. 8.



GTV en imágenes PET-CT en color rojo.
GTV en imágenes de TC en color azul.
Imágenes caso No. 16.



GTV en imágenes PET-CT en color azul.
GTV en imágenes de TC en color rosa.
Imágenes caso No. 15.



GTV en imágenes PET-CT en color rojo.
GTV en imágenes de TC en color azul.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bujenovic, MD. The Role of Positron Emission Tomography in Radiation Treatment Planning Steven Semin Nucl Med 34:293-299 © 2004 Elsevier Inc. All rights reserved.
2. Dwight E. Heron et al. Hybrid PET-CT simulation for radiation treatment planning in head-and-neck cancers: A brief technical report. The Journal of Radiation Oncology Biology Physics Volume 60, Issue 5, Pages 1419-1424 (01 December 2004)
3. Frank Ciernik et al. Radiation treatment planning with an integrated positron emission and computer tomography (PET/CT): a feasibility study. L. The Journal of Radiation Oncology Biology Physics. Volume 57, Issue 3, Pages 853-863 (01 November 2003)
4. Hani Ashamalla y cols. The contribution of integrated PET/CT to the evolving definition of treatment volumes in radiation treatment planning in lung cancer. Volume 63, Issue 4, Pages 1016-1023 (15 November 2005).
5. P H Jarritt, PhD, FIPEM¹, K J Carson, PhD, A R Hounsell, PhD and D Visvikis, PhD The role of PET/CT scanning in radiotherapy planning British Journal of Radiology (2006) 79, S27-S35 © 2006 [British Institute of Radiology](#) doi:10.1259/bjr/35628509
6. C. Messa [Weckesser M](#), [Konemann S](#), [Brinkmann M](#), [Willich N](#), [Schober O](#). PET/CT and radiotherapy. PET/CT in radiotherapy [Radiologe](#). 2004 Nov;44(11):1096-10
7. Li T, Schreibmann E, Thorndyke B, Tillman G, Boyer A, Koong A, Goodman K, Xing L. Radiation dose reduction in four-dimensional computed tomography 2005 Dec;32(12):3650-60.
8. Sadato N, Tsuchida T, Nakaumra S, Waki A, Uematsu H, Takahashi N, Hayashi N, Yonekura Y, Ishii Y. Non-invasive estimation of the net influx constant using the standardized uptake value for quantification of FDG uptake of tumours. Eur J Nucl Med. 1998 Jun;25(6):559-64.
9. P. Oehr, H.-J. Biersack, R.E. Coleman (2003) PET and PET-CT in Oncology. Springer, pp 303-308.
10. Hall EJ, Cox JD Physical and biologic basis of radiation therapy. In: Cox JD (ed) Moss' radiation oncology. Mosby-Year Book, St Louis, pp 3-66.(1994)
11. Jeffrey D. Bradley, MD; Carlos A. Perez, MD; Farrokh Dehdashti, MD; and Barry A. Siegel, MD Implementing Biologic Target Volumes in Radiation Treatment Planning for Non-Small Cell Lung Cancer J Nucl Med 2004; 45:96S-101S.
12. C. Messa; N. Di Muzio; M. Picchio; M. C. Gilardi; et al. PET/CT and radiotherapy The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging; Mar 2006; 50,1;Proquest Medical library Pag.4.
13. Ursula Nestle; Stephanie Kremp; Andrea Schaefer-Schuler; Christiane Sebastian et al. Comparison of Different Methods for Delineation of ¹⁸F-FDG PET-Positive Tissue for Target Volume Definition in Radiotherapy of patients with Non-small Cell Lung Cancer The Journal of Nuclear Medicine; Aug 2005; 46, 8; ProQuest Medical Library pg. 1342-48.
14. Nishioka T, Shiga T, Shirato H, Tsukamoto E, Tsuchiya K, Kato T, Ohmori K, Yamazaki A, Aoyama H, Hashimoto S, Chang TC, fusion between 18FDG-PET and MRI/CT for radiotherapy planning of oropharyngeal and nasopharyngeal carcinomas. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2002 Jul 15;53(4):1051-7.

15. [Rizzo G](#), [Castiglioni I](#), [Arienti R](#), [Cattaneo GM](#), [Landoni C](#), [Artioli D](#), [Gilardi MC](#), [Messa C](#), [Reni M](#), [Ceresoli GL](#), [Fazio F](#). Automatic registration of PET and CT studies for clinical use in thoracic and abdominal conformal radiotherapy. *Q J Nucl Med Mol Imaging*. 2005 Sep;49(3):267-79.
16. Gearhart SL, Frassica D, Rosen R, Choti M, Schulick R, Wahl R Improved Staging With Pretreatment Positron Emission Tomography/Computed Tomography in Low Rectal Cancer. *Ann Surg Oncol*. 2006 Jan 30.
17. Christopher Scarfone; William C Lavelly; Anthony J Cmelak; Dominique Delbeke. Prospective Feasibility Trial of Radiotherapy Target Definition for Head and Neck Cancer Using 3-dimensional PET and CT Imaging.; *The Journal of Nuclear Medicine*; Apr 2004; 45, 4; ProQuest Medical Library pg. 543
18. Mary Koshy and cols. 18^F-FDG PET fusion in radiotherapy treatment planning for head and Neck Cancer. *Head & Neck Vol. 27, Issue 6, Pag. 494-502*.
19. Kiffer JD et al (1998) The contribution of 18F-fluoro-2-deoxy-glucose positron emission tomographic imaging to radiotherapy planning in lung cancer. *Lung Cancer 19:167-177*
20. Munley MT et al, Multimodality Nuclear Medicine Imaging in three dimensional radiation treatment planning for lung cancer. *Lung Cáncer 1999; 23:105-114*.
21. Hospital de Oncología Centro Médico Nacional Siglo XXI. Informe Mensual del Departamento de Radioterapia correspondiente al mes de julio del 2007.
22. Unidad de radioterapia del Hospital Médica Sur. México D.F. Centro Oncológico "Diana Laura Riojas de Colosio" del Hospital Médica Sur. México D.F.
23. Unidad de PET-CT del Hospital Médica Sur. México D.F.
24. Malyapa RS et al Physiologic FDG-PET three-dimensional brachytherapy treatment planning for cervical cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys 54:1140-1146,2002*.
25. Wechalekar K, Sharma B, Cook G. PET/CT in oncology--a major advance. *Clin Radiol*. 2005 Nov;60(11):1143-55.
26. Brun E et al (1997) Early prediction of treatment outcome in head and neck cancer with 2-18FDG PET. *Acta Oncologica 36:741-747*.
27. Hans Svensson and Torgil R. Moller for the SBU Survey Group*Developments in Radiotherapy *Acta Oncologica Vol. 42, No. 5/6, pp. 430_/442, 2003*.
28. [Weckesser M](#), [Konemann S](#), [Brinkmann M](#), [Willich N](#), [Schober O](#). PET/CT in radiotherapy [Radiologe](#). 2004 Nov;44(11):1096-10.
29. Arnold C. Paulino et al. Comparison of CT- and FDG-PET-defined gross tumor volume in intensity-modulated radiotherapy for head-and-neck cancer *Volume 61, Issue 5, Pages 1385-1392 (01 April 2005)*.
30. Arnold C. Paulino, Wade L. Thorstad, and Timothy Fox. Role of Fusion in Radiotherapy Treatment Planning Seminars in Nuclear Medicine, Vol XXXIII, No 3 (July), 2003: pp 238-243
31. Kenneth J Biehl; Feng-Ming Kong; Farrokh Dehdashti; Jian-Yue Jin; et al. 18^F-FDG PET Definition of Gross Tumor Volume for Radiotherapy of Non-small Cell Lung Cancer is a single Standardized Uptake Value threshold Approach Appropriate? *The Journal of Nuclear Medicine*; Nov 2006; 47, 11; ProQuest Medical Library pg. 1808-12.
32. Verboom et al., Cost-effectiveness of FDG-PET in staging non-small cell lung cancer: the PLUS study. *Eur J Nucl Med Mol Imaging (2003) 30:1444-1449*.
33. Suresh Senan, Dirk De Ruyscher. Critical review of PET-CT for radiotherapy planning in lung cancer. *Critical Reviews in Oncology Hematology*. 2005.05.001. Pags.1-7.

34. Ernesto Brianzoni¹, Gloria Rossi, Sergio Ancidei, Alfonso Berbellini, Francesca Capocchetti¹, Carla Cidda¹, Paola D'Avenia, Sara Fattori, Gian Carlo Montini, Gianluca Valentini¹, Alfredo Proietti. Radiotherapy planning: PET/CT scanner performances in the definition of gross tumour volume and clinical target volume. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* (2005) 32:1392–1399. DOI 10.1007/s00259-005-1845-5.
35. Erdi YE et al Radiotherapy treatment planning for patients with non-small cell lung cancer using positron emission tomography (PET). *Radiother Oncol* 62:51-60,2002.
36. Fazio F. PET/CT In Tumor Response Assesment and Radiotherapy Planning: Effectiviness and limits. Annual Congress of The European Association of Nuclear Medicine. Sep. 2004. Pag-49-50.
37. Nehmeh SA et al. Effect of respiratory gating of quantifying PET images in lung cancer. *Jour. Nucl. Med.* 2002; 43 (7): 876-881.
38. Giraud P. conformal radiotherapy for lung cancer: different delineation in gross tumor volume (GTV) by radiologist and radiation oncologist. *Radiotherapy Oncology* 2002;62:27-36.