



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

TRABAJO FIN DE GRADO

TÍTULO:

**“USO DE IMAGEN MÉDICA EN DIAGNÓSTICO
HUMANO”**

Autor: María Pizarro

DNI: 02750972B

Tutor: Ignacio Rodríguez Ramírez de Arellano

Convocatoria: Julio 2020

Agradecimientos:

En primer lugar, agradecer al profesor Rodríguez Ramírez de Arellano, por guiarme y enseñarme en este último trabajo.

A mi madre, por animarme a estudiar la carrera de farmacia, a la cual ella dedicó su vida y por inculcarme los valores gracias a los cuales estoy hoy aquí.

A mi familia; en especial a mi abuelo por enseñarme la importancia del esfuerzo y del trabajo.

También agradezco a todos los que, han contribuido tanto a mi formación, como al crecimiento personal tan característico de esta etapa de la vida: compañeros, profesores y sobre todo amigos.

ÍNDICE

1. Resumen.....	4
2. Introducción y antecedentes.....	5
A. ¿Qué es el PET/TAC? Evolución de PET/TAC.....	5
B. Fusión de imágenes.....	6
C. Radiofármacos y Marcadores reactivos.....	7
• Fluorodesoxiglucosa(18F-FDG).....	8
D. ¿Qué información proporciona el PET/TAC en oncología?.....	10
• Búsqueda del tumor y determinación de su malignidad.....	10
• Determinación del estadio tumoral.....	11
• Determinación temprana del éxito del tratamiento.....	11
• Seguridad después de la operación del tumor.....	12
• Empleo conjunto en la Planificación de Radioterapia.....	12
3. Objetivos.....	13
4. Material y métodos.....	13
5. Resultados.....	13
A. Beneficios y limitaciones en el diagnóstico del cáncer.....	13
• Beneficios.....	13
• Limitaciones.....	14
• La gran limitación del PET/TAC.....	14
B. Repercusión económica.....	16
C. Aplicaciones del PET/TAC.....	16
6. Discusión.....	17
7. Conclusiones.....	19
8. Bibliografía.....	20

1. RESUMEN

El PET/TAC es una prueba diagnóstica por imagen que unifica el PET y el TAC en un solo equipo para poder obtener imágenes morfológicas y metabólicas conjuntamente.

El cáncer es su aplicación de mayor importancia, tanto en la detección como en la evolución de la enfermedad.

Se necesita un contraste o radiofármaco, la mayoría de las veces este radiofármaco es la Fluorodesoxiglucosa (18F-FDG), ya que, para poder observar la actividad de una célula tumoral se necesita un elemento que vaya a poder diferenciar esta célula de las células normales. Se usa la glucosa porque las células tumorales necesitan un mayor aporte que las células sanas. El radiofármaco libera positrones que van a poder ser detectados por el equipo. Este radiofármaco no es muy estable y su semivida es bastante corta, por lo cual debe formularse poco tiempo antes de realizar la prueba.

El PET/TAC en oncología tiene diferentes aplicaciones, en primer lugar, búsqueda de tumores ante la sospecha de que estos puedan estar y detección de su malignidad, determinación de su estadio, determinación de la efectividad temprana del tratamiento, seguridad después de la operación del tumor, empleo en la planificación de la radioterapia.

Es la técnica que mejor valora la respuesta al tratamiento¹ y ayuda a predecir el pronóstico de la enfermedad¹. Tiene una alta sensibilidad y especificidad, del 85% y 92% respectivamente¹. Y en estos momentos es la técnica que ofrece mejores datos de tiempo, coste y confortabilidad².

Sin embargo, es una técnica de elevado coste, no exenta de radiaciones por lo cual si un paciente pediátrico o anciano debiese someterse a varias pruebas PET/TAC sería más conveniente optar por otra prueba.

Palabras clave: PET/TAC, aplicaciones, oncología, diagnóstico, imagen, Fludeoxiglucosa (18F-FDG).

ABSTRACT

PET/CT is a diagnostic imaging test that unifies PET and CT in a single equipment in order to obtain morphological and metabolic images together. Cancer is its most important application, both in the detection and in the evolution of the disease.

A contrast or radiopharmaceutical is needed, most of the time this radiopharmaceutical is Fludeoxyglucose (18F-FDG), because, in order to be able to observe the activity of a tumor cell you need an element that will be able to differentiate this cell from normal cells. Glucose is used because tumor cells need a greater contribution than healthy cells. The radiopharmaceutical releases positrons that can be detected by the equipment. This radiopharmaceutical is not very stable and its half-life is quite short, so it should be formulated shortly before testing.

The PET/CT in oncology has different applications, in the first place, finding tumors because of the suspicion that they may be and detecting their malignancy, determining their stage, determining the early effectiveness of treatment, safety after tumor operation, use in radiation therapy planning.

It is the technique that best assesses the response to treatment¹ and helps predict the prognosis of the disease¹. It has a high sensitivity and specificity of 85% and 92% respectively¹.

And at the moment it is the technique that offers better data of time, cost and comfort². However, it is a high-cost technique, not exempt from radiation, so if a paediatric patient or elderly patient should undergo several PET/CT tests it would be more appropriate to opt for another test

Keywords: PET/CT, applications, oncology, diagnostic, image, Fludeoxyglucose (18F-FDG)

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A. ¿Qué es el PET/TAC? Evolución del PET/TAC

PET significa Tomografía por Emisión de Positrones y es una técnica de medicina nuclear en la cual se emplean radiofármacos marcados con emisores de positrones que permiten obtener imágenes bioquímico-metabólicas del cuerpo humano, tiene la capacidad de detectar el cáncer por medio de mecanismos basados en las alteraciones moleculares de los procesos neoplásicos. El trazador más utilizado en oncología es un análogo de la glucosa marcado con flúor: Fluorodesoziglicosa (18F-FDG). De esta forma, el PET detecta la retención tumoral de FDG, debido al mayor índice glucolítico de las células cancerosas.³

El PET/TAC permite obtener imágenes multimodales que combinan información anatómica y metabólica y permiten realizar un diagnóstico más seguro de un tumor o de las metástasis locales o la distancia en un órgano o tejido. El PET/TAC se emplea fundamentalmente en Oncología (85-90 %), Neurología, Cardiología, Inflamación e Infección, aunque actualmente también es empleado en diferentes patologías médicas y quirúrgicas.⁴

El PET/TAC (Tomografía de Emisión de Positrones + Tomografía Axial Computarizada) es un instrumento híbrido integrado por un equipo nuclear formador de imágenes gammagráficas, mediante la detección de 2 fotones gamma de 511 keV (PET) que se producen como resultado del proceso de aniquilación positrón-electrón y un equipo de tomografía axial computarizada (TAC) que permite obtener simultáneamente imágenes metabólicas (PET) y anatómicas de la región del organismo bajo estudio. Estas imágenes ya fusionadas muestran el sitio anatómico exacto de la lesión y su viabilidad metabólica con un nivel de resolución espacial mucho más elevado (del orden de hasta 4.6 milímetros) que las imágenes gammagráficas convencionales obtenidas mediante Cámara Gamma (9-14).⁴

En oncología, el PET/TAC tiene una importancia vital, pues la caracterización de las lesiones estructurales, que acompañan a la enfermedad tumoral, constituye uno de los avances más importantes en su diagnóstico y seguimiento. En la actualidad, existen varios radio-trazadores positrónicos con los que se pueden determinar algunos de los procesos fisiológicos que caracterizan a los tumores malignos, como el flujo sanguíneo, e metabolismo oxidativo, la actividad glicolítica, el transporte de aminoácidos o la síntesis proteica.⁵



Figura 1- Equipo PET/TAC

B. Fusión de imágenes

Como he mencionado anteriormente la técnica PET/TAC consiste en fusionar dos técnicas diferentes para obtener imágenes más precisas, por lo cual obtendríamos por una parte las imágenes correspondientes al PET y por otra las imágenes correspondientes al TAC, la fusión de imágenes de distinta naturaleza es posible a varios niveles:

- Visual, de las imágenes de PET y TAC por separado.⁶
- Por software. Los estudios se adquieren de forma independiente en tomógrafos PET y TAC diferentes. Posteriormente se tratan mediante software para dar una única imagen de superposición de ambas.⁶
- Por hardware. En realidad, no existe una verdadera fusión por hardware, sino un dispositivo híbrido que combina ambas tecnologías dispuestas en línea.⁶

La fusión de las imágenes PET con las imágenes anatómicas, como las del TAC, se pueden alcanzar utilizando programas específicos de corrección. Sin embargo, cuando se fusionan las imágenes PET con las imágenes TAC obtenidas en tomógrafos separados aparecen diversos problemas⁷:

- Las imágenes deben ser recuperadas de los archivos para proceder al corrección.⁷
- Al haber sido adquiridos en diferentes equipos los perfiles de las camillas pueden ser distintos y en consecuencia la posición de los órganos varía.⁷
- Al medir un tiempo variable entre la relación de los estudios puede haber movimiento interno involuntario de los órganos, así como una progresión de la enfermedad.⁷
- Al utilizar un algoritmo (programa) para el corrección, se imponen limitaciones en la precisión de este, siendo ésta mejor al utilizar el equipo combinado PET/TAC (que además no requiere manipulación posterior de las imágenes).⁷
- Es más molesto para el paciente, ya que es sometido a dos exploraciones en dos equipos en lugar de un solo proceso.⁷

Una buena solución a estos inconvenientes es la adquisición de los estudios metabólico y anatómico en el mismo tomógrafo en el que se combinen los componentes de los equipos PET y TAC en un mismo estativo. Con esta combinación, los estudios se adquieren de modo secuencial.⁷

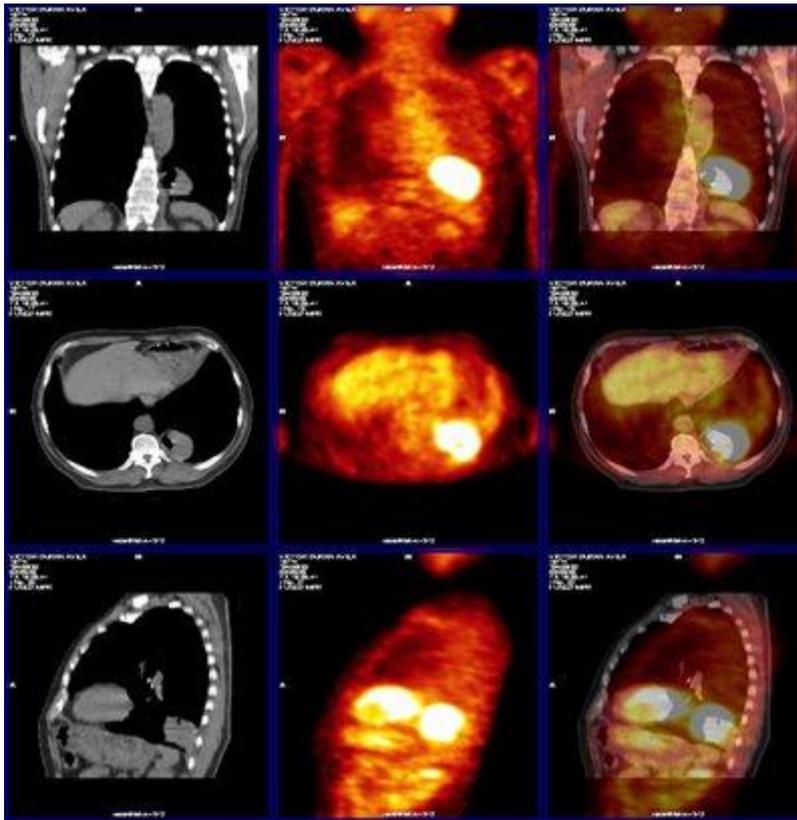


Figura 2- Comparación entre las imágenes tomadas por un equipo TAC, un equipo PET y un equipo PET/TAC de izquierda a derecha

En el estudio PET/TAC se realiza primero el topograma (determinación del área a ser rastreada), después se adquiere el TAC cuya duración en un equipo multicorte puede ser de 15 segundos y enseguida se realiza el rastreo PET que puede tardar entre 12 a 40 minutos y depende del peso, estatura del paciente y del equipo.⁸

C. Radiofármacos y Marcadores radiactivos

La tomografía de emisión de positrones es una técnica no invasiva de diagnóstico por imagen en la que se utilizan radiotrazadores marcados que son administrados al sujeto de análisis. La abundancia de los isótopos emisores de positrones de uso más frecuente (^{18}F , ^{11}C) en las moléculas biológicas o en los fármacos.⁹

Debido al reducido período de semidesintegración de los radionucleidos empleados para marcar los radiofármacos utilizados, estos deben producirse mediante un ciclotrón situado junto al laboratorio de radiofarmacia. Para los radiofármacos marcados con radionucleidos tales como carbono-11, nitrógeno-13 u oxígeno-15, la radiosíntesis debe llevarse a cabo «a pie de tomógrafo»; sin embargo, los radiofármacos fluorados, y en particular la Fludesoxiglucosa (^{18}F -FDG) pueden sintetizarse en una Unidad de Radiofarmacia y ser distribuidos regionalmente a centros equipados con una cámara PET o una gammacámara de coincidencia.⁹

Hasta la fecha, el radiofármaco más utilizado en la tecnología PET ha sido la 2-[^{18}F]-fluoro-2-Deoxi-D-glucosa (FDG), un análogo de la glucosa natural marcada con Flúor-18, radionúclido

emisor de positrones con un período de semidesintegración radioactiva de 109 minutos, tiempo en el que la actividad se reduce a la mitad.⁵

- Fluorodesoxiglucosa (18F-FDG)

18F-FDG, una molécula análoga de la glucosa usada como marcador metabólico que ingresa a las células, tumorales o no, a través de los diferentes receptores de membrana, sigue la misma vía metabólica de la glucosa y es fosforilada por la hexoquinasa, en presencia de la glucosa 6-fosfatasa, convirtiéndola en 18F-FDG-6 fosfato, pero a partir de este punto no continúa esta vía y es acumulada intracelularmente con mayor concentración en las células tumorales. Esta diferencia de concentraciones dada por el mayor consumo de glucosa y menor cantidad de glucosa 6-fosfatasa son la base del diagnóstico.⁸

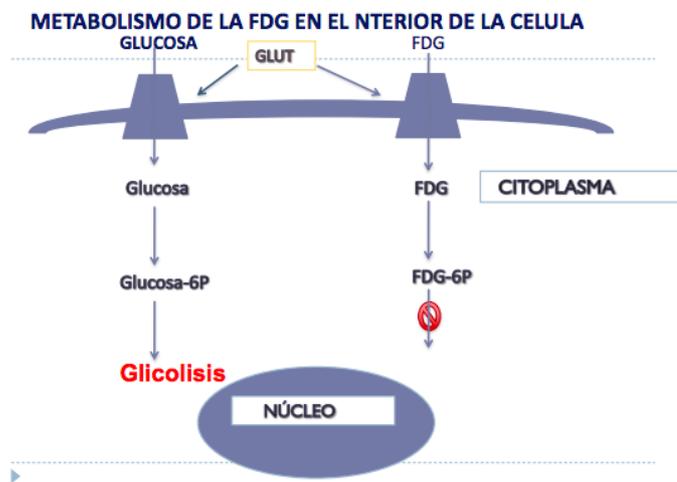


Figura 3- Comparación entre el ingreso en la célula y las rutas metabólicas de la glucosa y la 18F-FDG

El proceso por el cual se obtiene el radiofármaco es el siguiente; El núcleo de un átomo está formado por protones y neutrones que se mantienen fuertemente unidos por acción de la fuerza fuerte, de atracción entre nucleones (protones y neutrones). En los núcleos estables la dimensión de la fuerza fuerte supera a la de repulsión entre las cargas positivas de los protones. Si el núcleo tiene exceso de protones o neutrones, su configuración es inestable y tiende a cambiar su número de protones o neutrones para alcanzar una configuración más estable. Este proceso es denominado transformación, desintegración o decaimiento radiactivo y se caracteriza por la emisión de una partícula cargada.¹⁰

Los átomos que presentan núcleos con configuraciones inestables se denominan radionucleidos o radioisótopos. Es así como llegamos a explicar lo que es un radioisótopo.¹⁰

En la tomografía por emisión de positrones un radioisótopo emisor β^+ de corto período es incorporado a una molécula metabólicamente activa, para formar un radiotrazador que es inyectado al paciente. En su aplicación más común, se utiliza como radiotrazador fluorodesoxiglucosa (18F-FDG) en el cual el flúor de dicha molécula es 18F producido en un ciclotrón y de esta forma se obtiene una molécula metabólicamente activa que emite positrones, es decir, es gracias al ciclotrón se obtiene el radioisótopo, en este caso del flúor, que se incorporará a una molécula activa metabólicamente.¹⁰

Este radiotrazador se concentrará en aquellas zonas de mayor actividad metabólica o consumo de energía, como por ejemplo tumores. Es por esto, que la principal aplicación de PET es el diagnóstico y el seguimiento de distintos tipos de cáncer.¹⁰

En el cuerpo del paciente, el radiotrazador emite un positrón con cierta energía cinética, que se va perdiendo mediante interacciones con los electrones de los átomos del tejido del paciente. Cuando la partícula perdió casi la totalidad de su energía, se combina espontáneamente con un electrón y se produce la aniquilación de ambas partículas. El electrón y el positrón liberan la energía de sus masas en reposo formando dos rayos gamma de 511 keV que se emiten en direcciones opuestas. Estos dos fotones gamma, al ser suficientemente energéticos, tienen muy buenas probabilidades de atravesar el cuerpo del paciente. Si ambos fotones se detectan y localizan espacialmente con detectores que se encuentran alrededor del paciente, se obtiene una línea que cruza su cuerpo. Como la aniquilación ocurre muy cerca de la posición donde se emitió el positrón, se sabe que a lo largo de esa línea se encontraba la molécula del radiotrazador.¹⁰

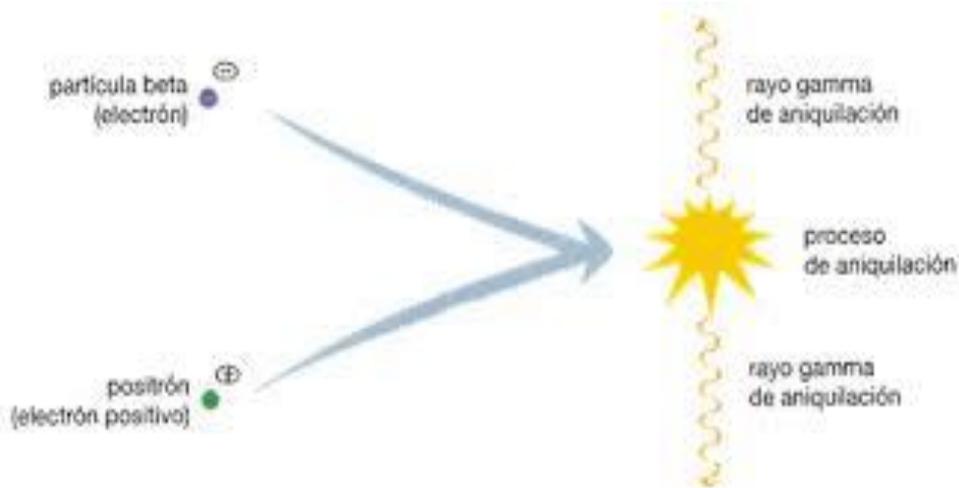


Figura 4- Proceso de aniquilación y liberación de energía en forma de rayos gamma

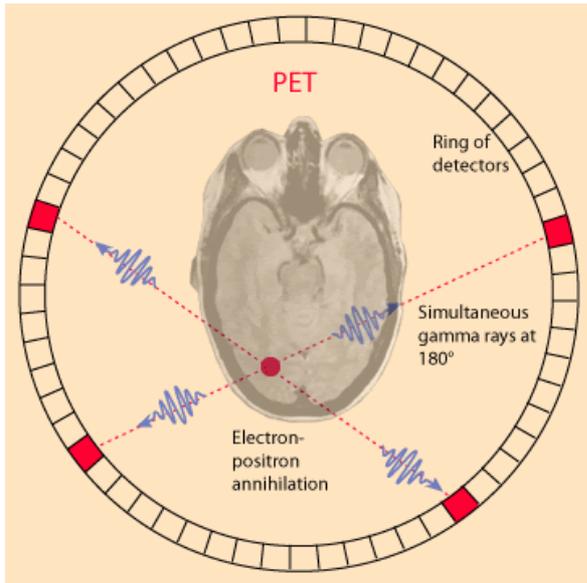


Figura 5- Detección del rayo gamma por el tomógrafo PET

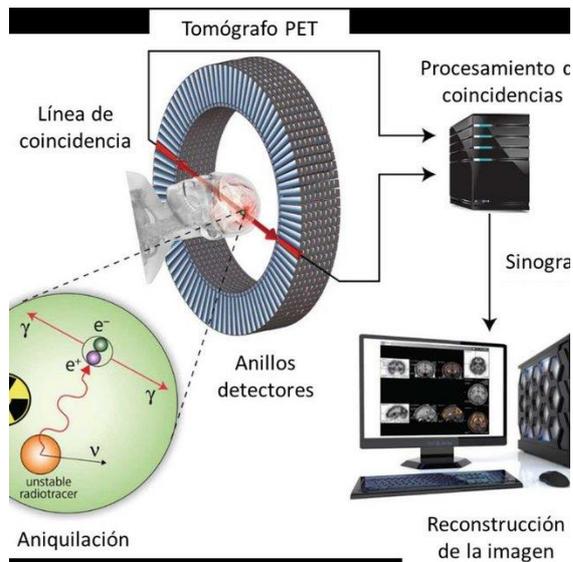


Figura 6- Esquema del proceso de formación de imágenes, desde que ocurre la aniquilación hasta que se reconstruye la imagen por el sistema informático.

D. ¿Qué información proporciona el PET/TAC en oncología?

El PET/TAC se emplea en diferentes fases de la enfermedad oncológica y en su tratamiento.⁴

Antes del tratamiento el PET/TAC se emplea en la búsqueda del tumor, sobre todo en su caracterización y estadiamiento. En el tratamiento del cáncer (Quimio/Radioterapia/Bioterapia, etc) nos permite conocer el éxito del tratamiento durante o inmediatamente después de terminar el mismo. El seguimiento el PET/TAC nos permite un rápido reconocimiento de una recidiva tumoral o metástasis a distancia.⁴

Estos campos de aplicación los explicaremos más exactamente en los acápites de:⁴

- Búsqueda del Tumor y determinación de su Malignidad ⁴
- Determinación del Estadio Tumoral ⁴
- Determinación temprana del éxito del tratamiento ⁴
- Seguridad después de la operación del tumor ⁴
- Empleo conjunto en la Planificación de Radioterapia ⁴

- **Búsqueda y determinación del tumor**

No en todas, pero sí en un gran grupo de enfermedades oncológicas, el PET/TAC nos brinda en la búsqueda del tumor valiosos datos adicionales, ya que el mismo visualiza la función celular. Esto es así en los siguientes casos: ⁴

- En los tumores en la región de la cabeza y el cuello, frecuentemente es muy difícil localizar el tumor primario, aun cuando ya hay ganglios linfáticos metastásicos.⁴
- En el caso de lesiones nodulares no bien definidas del pulmón, el PET/CT puede diferenciar entre benignidad y malignidad. Los pacientes con elevado riesgo operatorio de tener un PET/TAC negativo se evitan una operación innecesaria.⁴
- En el caso de marcadores tumorales elevados, el PET/TAC puede localizar el sitio del tumor.⁴

- **Determinación del estadio tumoral**

Para tener un óptimo resultado en el tratamiento de un paciente con cáncer es esencial conocer en qué estadio de la enfermedad se encuentra. El PET/TAC brinda, debido al valor funcional del mismo en relación con los otros medios de imágenes (Rx, TAC, RMN), valiosas ventajas. Inclusive metástasis muy pequeñas pueden ser detectadas con esta técnica nuclear.⁴

El PET/TAC se emplea exitosamente en los siguientes tipos tumorales:⁴

- Carcinomas Pulmonares en diferentes tipos histológicos⁴
- Tumores de cabeza y cuello⁴
- Linfomas Malignos⁴
- Cáncer de Esófago y Estómago⁴
- Determinados tipos de cáncer de tiroides⁴
- Tumores neuroendocrinos⁴
- Tumores ginecológicos⁴
- Tumores de Colon-Recto⁴
- Tumores del Tracto Urogenital⁴
- Carcinoma de Prostata⁴
- Melanoma⁴

- **Determinación temprana del éxito del tratamiento**

Es muy importante conocer tempranamente el resultado de un tratamiento, ya sea de Quimio o Radioterapia realizado a un paciente.⁴

La efectividad de un tratamiento citostático combinado varía de un paciente y de un tumor a otro. Debido a los severos efectos colaterales de este tratamiento, se desea conocer lo antes posible si se ha logrado o no el efecto deseado. El PET/TAC puede revelar en un estadio temprano el éxito o no del tratamiento realizado. Inclusive durante el tratamiento citostático, después del segundo o tercer ciclo del mismo se puede hacer lo que se conoce como **interin-PET** y conocer si el tratamiento que se está llevando a cabo es efectivo o no. Esto permite, entonces, hacer una corrección en los medicamentos que se están empleando, lo cual es beneficioso al paciente y permite ahorrar recursos.⁴

Especialmente es empleado en la determinación temprana del éxito del tratamiento Quimio/Radioterapia en los siguientes tipos de cáncer: ⁴

- Linfoma Maligno⁴
 - Metástasis de tumores de colon-recto ⁴
 - Carcinoma de mama ⁴
 - Carcinomas Pulmonares en diferentes tipos histológicos ⁴
 - Tumores del Esófago y Estómago ⁴
 - Tumores de próstata ⁴
 - Tumores de Cabeza y Cuello ⁴
- Seguridad después de la operación del tumor

Cuando un tumor primario ha sido operado en su totalidad o luego de un tratamiento de Quimioterapia o Radioterapia no es visible en los estudios imagenológicos, es de gran valor conocer si existe o no tejido tumoral viable remanente. Lo importante, entonces, es un buen seguimiento y luego de un tiempo determinado debe estudiarse al paciente para descartar una recidiva tumoral o metástasis a distancia provocada por células tumorales que hayan quedado después del tratamiento.⁴ Un gran problema es la diferenciación entre tejido cicatricial y tejido tumoral. Aquí el PET/TAC juega un papel muy importante en poder determinar de cuál de las dos posibilidades se trata.⁴

En los siguientes tipos de cáncer es muy importante en su seguimiento el empleo de la tecnología PET/TAC: ⁴

- Cáncer de colon-recto ⁴
- Carcinomas Pulmonares en diferentes tipos histológicos ⁴
- Tumores cerebrales ⁴
- Tumores de Cabeza y Cuello ⁴
- Melanoma Maligno ⁴
- Algunos tipos de tumores ginecológicos⁴
- Determinadas formas de Cáncer de Tiroides ⁴

- Empleo conjunto en la planificación de la radioterapia

Otra aplicación que en los últimos años ha tenido un impetuoso desarrollo es la aplicación del PET/TAC en la planificación de los tratamientos de Radioterapia. El PET/TAC aporta información molecular de la biología y extensión de muchos tumores que dan ventajas importantes sobre otras modalidades de imágenes, entre ellas se destacan las siguientes:⁴

- Imágenes de lesiones que no aparecen en las imágenes de TAC o RMN, tales como nódulos linfáticos insospechados o metástasis a distancia ⁴
- Previene la irradiación de anormalidades fútiles que no contienen tumor como la atelectasia⁴
- Imágenes de subgrupos tumorales biológicamente diversos que potencialmente permiten administrar dosis de radiación basadas en la carga tumoral o la radiosensibilidad ⁴
- Evaluación temprana de la respuesta durante o después de la quimioterapia
- Desarrollo de la "terapia adaptativa" en la cual los posibles cambios del volumen blanco potencialmente se tienen en cuenta durante el curso del tratamiento⁴

3. OBJETIVOS

Este trabajo parte de la búsqueda bibliográfica con los objetivos de:

- Definir el equipo PET/TAC
- Explicar la fusión de imágenes
- Describir los diferentes radiofármacos utilizados en este método
- Evaluar su aplicación en la oncología
- Estudiar los beneficios y limitaciones que aporta esta técnica
- Analizar la repercusión económica del uso del PET/TAC

4. MATERIAL Y METODOS

Este trabajo se ha realizado mediante una revisión bibliográfica exhaustiva, en el cuál se han utilizado distintas bases de datos de la literatura científica, como ELSEVIER, Scielo, ScienceDirect.

Se ha tratado de contrastar diversas fuentes para obtener la información lo más veraz y exacta posible seleccionando aquellos cuyas referencias bibliográficas aportaban mayor confianza, y cuya información era de calidad.

Las palabras que se han utilizado en la búsqueda para realizar el trabajo han sido: PET/TAC, equipo, oncología, cáncer, función, uso, ventajas, limitaciones, radiofármacos, Fluorodesoxiglucosa(18F-FDG), repercusión económica, evolución y desarrollo.

Las bases de datos de elección han sido google scholar y pubmed y para realizar la bibliografía se ha utilizado Refworks.

5. RESULTADOS.

A. Beneficios y limitaciones en el diagnostico del cáncer

Como hemos explicado anteriormente el PET/TAC es una técnica de diagnóstico por imagen que consiste en unificar la técnica PET y la TAC en un solo instrumento para poder obtener en la misma imagen información anatómica y metabólica para poder situar en el organismo con mayor precisión la lesión en este caso nos vamos a centrar en el cáncer y la metástasis.

- **Beneficios**

- Como hemos mencionado anteriormente su principal ventaja es la obtención de imágenes anatómicas y metabólicas en una misma prueba diagnóstica, así mismo, al no tener que realizar dos pruebas solapamos ambas imágenes sin tener que realizar dos pruebas con el incremento económico que eso supondría, molestias al paciente y al personal sanitario y de cara al diagnóstico evitamos problemáticas de posición del paciente ya que al realizarse al mismo tiempo facilitan la superposición de ambas imágenes sin muchos problemas.
- La determinación de la benignidad o malignidad de una lesión tumoral es muy importante, ya que condiciona la actitud diagnóstica y terapéutica. Las técnicas de imagen convencional aportan información estructural y morfológica que limitan la capacidad para diferenciar lesiones benignas de malignas. La información metabólica funcional de la 18F-FDG permite diferenciar lesiones benignas de malignas con una sensibilidad y especificidad muy altas.¹¹
- El PET/TAC es la prueba que mejor valora la respuesta al tratamiento ya que permite ver la actividad metabólica.¹ Gracias al cual podemos ver la evolución del tumor al tratamiento al ver si su actividad metabólica está aumentando o disminuyendo puesto que la actividad metabólica aumentada o acelerada es una de las principales características de las células tumorales en comparación con una célula funcional sana.
- El PET/TAC predice el pronóstico (múltiples estudios relacionan el número de lesiones activas con el pronóstico de la enfermedad)¹ Al poder ver durante diferentes pruebas PET/TAC como va respondiendo un tumor al tratamiento se nos hace más fácil predecir el comportamiento que llevará el tumor puesto que este responderá a una tendencia ascendente o descendente.
- El PET/TAC tiene alta sensibilidad (85%) y especificidad (92%) para la detección de lesiones focales¹. Estas características convierten a la prueba de diagnóstico PET/TAC en una prueba bastante fiable.
- Sin embargo, el PET/TAC ofrece en estos momentos mejores datos de tiempo por estudio, costo por estudio y confortabilidad.²

- **Limitaciones**

- Esta modalidad diagnóstica no está exenta de desventajas que incluyen su coste elevado, menor disponibilidad.⁹
- Además de la persistencia de algunas de las limitaciones inherentes como los artefactos originados por mala fusión en determinadas localizaciones como en bases pulmonares y abdomen superior, caracterización de lesiones de pequeño tamaño, captación por procesos benignos y escasa avidéz de ciertos subtipos histológicos. También presenta limitaciones en localizaciones con alto metabolismo glucídico como el sistema nervioso central.¹²
- Las lesiones activas muestran aumento del metabolismo por encima del nivel basal. Pueden existir falsos negativos en lesiones subcentrímetras, lesiones en el cráneo,

afectación difusa y ocasionalmente lesiones grandes que pueden tener captación de FDG moderada. La Limitación principal del PET/TAC Es en la detección de afectación difusa.¹

- Un inconveniente del PET/TAC respecto al PET/RM es que el PET/TAC produce una mayor exposición del paciente a radiaciones, por lo cual en pacientes pediátricos o adolescentes que requieran varias pruebas PET será mas recomendable optar por la prueba PET/RM.²

- **La gran limitación del PET/TAC**

Como se ha explicado anteriormente el PET/TAC es una prueba diagnostica por imagen en la que se utiliza un marcador, que será posteriormente captado por los órganos. Sin embargo en el tracto urinario no es un método fiable, puesto que éste se encarga de eliminar sustancias de el organismo, eliminando también el radiofármaco, impidiendo así la retención del mismo en las células, lo cual nos impediría visualizar el tumor.

La eliminación urinaria del radiotrazador ¹⁸F-FDG puede enmascarar la presencia de depósitos patológicos en pelvis, no sólo en el CCR sino también en tumores de vejiga, próstata u otros tumores pélvicos primarios o metastásicos. Sin embargo, una adecuada preparación del paciente y un protocolo de adquisición adecuado pueden mejorar el rendimiento diagnóstico de el PET con ¹⁸F-FDG al reducir el número de falsos negativos (lesiones enmascaradas por actividad urinaria) y falsos positivos (acumulaciones de orina que pueden simular lesiones malignas).¹³

El adenocarcinoma de células renales es el tumor sólido renal más frecuente.¹⁴

Actualmente, el procedimiento de imagen de elección para valorar masas renales es la TAC. La sensibilidad y especificidad de el TAC está por encima del 90%. El TAC y la RM también aportan información importante sobre el tamaño, extensión del tumor, invasión vascular, todos ellos factores que son esenciales para la estadificación, pronóstico y planificación de la cirugía.¹³

Se ha publicado un meta-análisis sobre el rendimiento de el PET con ¹⁸F-FDG en pacientes con CCR, que incluyó artículos publicados hasta octubre de 2004¹⁴. En este meta-análisis se incluyeron 7 estudios, En el meta-análisis se alcanzaron las siguientes conclusiones:¹³

(a) el papel más importante de el PET es la detección de metástasis; ¹³

(b) en la re-estadificación, el PET puede tener un papel importante en la valoración de masas detectadas con otras técnicas de imagen; ¹³

(c) en el diagnóstico inicial el PET muestra un rendimiento diagnóstico inferior a otras técnicas de imagen, en especial la TAC; ¹³

(d) las limitaciones de el PET son las lesiones de pequeño tamaño (<1 cm) y aquellas alteraciones que pueden estar enmascaradas por la eliminación urinaria del trazador; y ¹³

(e) estas limitaciones quizás se puedan corregir con los nuevos equipos PET-TAC, aunque deberán realizarse estudios con estos nuevos sistemas que valoren su rendimiento diagnóstico. ¹³

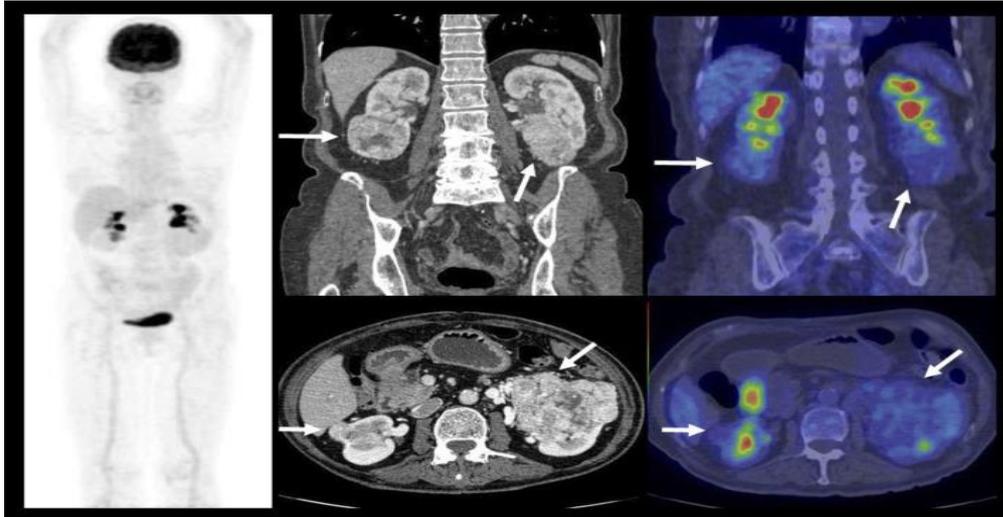


Figura 7- Vista de un tumor en el riñon mediante TAC, RM y PET/TAC de izquierda a derecha

B. Repercusión económica

Para valorar el coste de la adquisición de imágenes mediante sistemas PET/TAC es preciso diferenciar el del dispositivo en sí y el del radiofármaco. Respecto al primero se deberá tener en cuenta el coste del equipo, la instalación, el mantenimiento y el coste de funcionamiento (equipamiento necesario, mantenimiento, personal y coste del radiofármaco). Además, habrá también que considerar el rendimiento del aparato, lo que influirá de forma decisiva en el coste por exploración.¹⁵

En la actualidad, y según el Decreto 209/2011 (DOG 213, de 8 de noviembre de 2011) por el que se establecen las tarifas de los servicios sanitarios prestados en los centros Discusión Papel del PET/TAC con radiofármacos análogos de la colina en el diagnóstico y estadificación del cáncer de próstata dependientes del Servicio Gallego de Salud, la tomografía con emisión de positrones tendría una tarifa de 1.284,47 y la de la tomografía computarizada 366,32.¹⁵

Respecto al coste del radiofármaco variará si se compra a un proveedor externo o si se produce en el propio centro, en cuyo caso habrá que tener en cuenta el coste del ciclotrón, las instalaciones necesarias, su mantenimiento y el coste de funcionamiento de la unidad de procesado radiofarmacéutico. Según datos facilitados por la Empresa Pública de Servicios Sanitarios Galaria, el coste de la compra del radiofármaco 18F-colina a un proveedor externo ascendería a 1570€ por dosis. El coste de la producción del 18F-colina en el laboratorio de radiofármacos del Complejo Hospitalario Universitario de Santiago variaría según el turno que lo produjese (noche o mañana) y del número de dosis finales producidas (una o dos). En el caso de producción de una sola dosis el precio oscilaría entre 1456€ y 1524€ en el caso de producir dos dosis, entre 728€ y 762€.¹⁵

Estos costes son mucho más elevados que cuando se utiliza la 18F-FDG, en la que el coste de una dosis de 300 MBq oscila entre 5,6 y 82 €.¹⁵

C. APLICACIONES TUMORALES DEL PET/TAC.

La aplicación principal del PET/TAC es el diagnóstico del cáncer, pero, tal y como he mencionado anteriormente el diagnóstico no es su única aplicación.

También lo es la evolución de un tratamiento, la determinación del estadio tumoral, la detección de metástasis etc..

En este momento nos vamos a centrar en los diferentes tumores capaces de ser diagnosticados y monitorizados mediante la técnica PET/TAC.

- Tumores de cabeza y cuello: La localización del tumor primario y la determinación precisa de su tamaño y extensión son factores básicos para el diagnóstico y el establecimiento de un correcto tratamiento, quirúrgico y/o radioterápico, en los tumores de cabeza y cuello.⁶
El PET-TAC aumenta la exactitud diagnóstica en comparación a otras pruebas. Además, permite caracterizar correctamente acúmulos de la FDG en esta zona de anatomía compleja.⁶
Por otro lado, el PET-TAC facilita la diferenciación entre recurrencia tumoral y cicatrices fibróticas secuelas de tratamientos previos.⁶
- Cáncer de pulmón no microcítico: El PET/TAC presenta una capacidad diagnóstica superior a el TAC y PET solos o con fusión “visual” en este tipo de tumores.⁶
Esta técnica permite valorar si existe afectación de tejidos circundantes como la pleura, determinar la relación del tumor con posibles atelectasias, detectar afectación ganglionar mediastínica y metástasis a distancia extratorácicas.⁶
- Cáncer de esófago: El PET/TAC parece superior a el PET y al TAC solas, modificando el manejo de un 22% de los pacientes por mejorar la localización de las lesiones, servir de guía a la endoscopia para toma de biopsia y por hacer innecesarias otras técnicas de diagnóstico que se hubieran realizado si no se hubiera tenido la información aportada por el PET/TAC.⁶
- En tumores de abdomen y pelvis: Habitualmente se realiza un TAC con contraste, ya que mejora la visualización del intestino y se diferencian con mayor nitidez las lesiones intestinales de las metástasis peritoneales u otras lesiones extraintestinales. Ya que con el PET se dificulta la interpretación de las imágenes.⁶
- Carcinoma colorrectal recurrente o primario: Un problema frecuente es la caracterización de lesiones en tejidos blandos que aparecen tras el tratamiento quirúrgico y/o radioterápico en espacio presacro o a lo largo de pared pélvica, para los cuales el TAC tiene baja especificidad. Describen un aumento de la exactitud diagnóstica del 78% de la PET al 89% del PET/TAC.⁶
- Cáncer de páncreas: El PET/TAC permite detectar y localizar tanto el tumor primario como las metástasis. Esta técnica parece el mejor método diagnóstico en el espacio retroperitoneal.⁶
- Diferenciación entre lesiones óseas y lesiones en tejidos blandos adyacentes: que puede suponer un cambio sustancial en la estadificación de tumores como linfomas o cáncer de pulmón en los que la presencia de metástasis óseas indica un estadio IV o M1, respectivamente, además de ir asociadas a un peor pronóstico.⁶

- Otros tumores: cáncer de tiroides, cáncer de mama: En este último, esta tecnología tendría un papel en la re-estadificación al localizar correctamente el 96% de las lesiones. Y, posiblemente, otro papel de el PET/TAC en estos tumores sería la detección de metástasis ganglionares en la cadena mamaria interna y en la planificación de la RT.⁶

6. DISCUSIÓN.

A. Discusión sobre los beneficios y limitaciones en el diagnóstico del cáncer.

Son muchos los beneficios que se observan en cuanto al uso del PET/TAC como método diagnóstico, en primer lugar, la ventaja que ofrece al poder fusionar dos técnicas diferentes, las cuales por separado tienen unas limitaciones muy notables, pero que, sin embargo, al unificarlas presentan un avance muy significativo en el diagnóstico.

Por otro lado, tal y como he mencionado previamente, el PET/TAC es una técnica que no solo permite hacer un diagnóstico, sino que también nos permite evaluar el avance de un tumor, observar su respuesta al tratamiento. Nos permite también localizar con gran exactitud el lugar del tumor para poder operarlo o administrar radioterapia.

Por otro lado, como toda técnica, no está exenta de limitaciones, la gran limitación del PET/TAC es su uso en el diagnóstico del cáncer de riñón, o del tracto urinario, y esto es por que al ser un sistema implicado directamente en la eliminación de sustancias del organismo, produce también la eliminación del marcador (fludexoxiglucoza 18F-FDG, marcador más utilizado) lo cual impide que se una el marcador a las células tumorales y como consecuencia limita su detección. En este tipo de tumores se deberán utilizar otro tipo de técnicas que aporten mayor exactitud y fiabilidad.

Otra de las limitaciones de esta técnica es la gran cantidad de radiación a la que están expuestos los pacientes.

Una de las limitaciones de las que hablaremos de manera más extendida más adelante es su elevado coste, y como consecuencia directa de esto su menor disponibilidad.

B. Discusión sobre la repercusión económica.

Esta técnica es una técnica muy costosa por diferentes razones, en primer lugar, por el precio del equipo y en segundo lugar por el coste de los radiofármacos. Pero no son los únicos gastos asociados a esta prueba diagnóstica, encontramos otros gastos secundarios, como el mantenimiento del equipo o la necesidad de personal especializado, tanto para manejar el equipo como para la formulación de los contrastes poco tiempo antes de la administración al paciente, y los costes derivados de la formulación in-situ de los radiofármacos.

Además, para poder formular el radiofármaco, necesitamos un ciclotrón, lo que implica un gasto añadido a esta técnica.

Evidentemente si se adquieren los radiofármacos ya formulados, descendería el precio ya que evitaríamos los costes de los elementos necesarios para la formulación y del ciclotrón.

C. Discusión sobre las aplicaciones del PET/TAC

El PET/TAC es una de las pruebas de diagnóstico por imagen, más fiable y útil en el diagnóstico del cáncer, y su evolución.

En primer lugar, nos permite detectar tumores gracias a la capacidad de las células tumorales de captar más glucosa que las células normales, puesto que al tener las células tumorales un

crecimiento descontrolado, estas necesitan una mayor cantidad de glucosa, y es gracias a esta premisa inicial, que el PET/TAC nos permite diagnosticar un tumor con bastante precisión.

Por otra parte no solo nos sirve para diagnosticarlo, nos sirve también para ubicarlo con precisión, y el hecho de tener el tumor ubicado, resulta útil a la hora de programar una cirugía, o también a la hora de administrar radioterapia.

Y como no podía ser de otra manera, nos sirve también para determinar la evolución del tumor. Lo cual es de vital importancia a la hora de elegir un tratamiento.

Por ejemplo, imaginemos que un paciente está recibiendo un tratamiento, es complicado determinar el estado real del cáncer solo con un análisis de sangre y los marcadores tumorales, a la hora de realizar un PET/TAC podemos evaluar el estado exacto del tumor, y en caso de que el tumor haya evolucionado negativamente el médico podrá decidir cambiar de tratamiento.

Si por el contrario el tumor evoluciona positivamente el médico podrá decidir continuar con el mismo tratamiento.

También nos resulta útil a la hora de detectar metástasis.

Esta técnica sirve para evaluar la gran mayoría de los tumores es por eso que resulta tan versátil, es de gran utilidad para detectar y monitorizar un tumor de cabeza y cuello, como un tumor de mama y ovario, hasta un tumor pulmonar.

Sin embargo, como he dicho en diferentes ocasiones su mayor limitación serían los tumores presentes en el tracto urinario como consecuencia de la eliminación del radiofármaco.

Por ejemplo, el cáncer de vejiga es el quinto en frecuencia entre las neoplasias malignas y afecta sobre todo a una población anciana.¹⁶

El diagnóstico suele efectuarse a causa de una hematuria o, más raramente, de hiperactividad vesical o dolores pélvicos. La primera etapa del diagnóstico consiste en una resección transuretral de la vejiga.¹⁶ La resección transuretral de vejiga es el procedimiento de elección para establecer el diagnóstico y tratamiento iniciales de cáncer vesical¹⁷ y consiste en una técnica compleja que consiste en una intervención quirúrgica para poder observar la zona y una prueba de laboratorio a pie de cirugía.¹⁸

7. CONCLUSIONES.

- El PET/TAC es una prueba diagnóstica que consiste en inyectar en el organismo un radiofármaco marcado para observar, principalmente, la presencia y actividad de un tumor. Implica un gran avance en medicina tanto para diagnosticar como para tratar un tumor. Inicialmente existían por una parte el PET y por otra parte el TAC, pero ambas técnicas tenían, cada una gran limitación, y se observó que al unificar ambas se eliminaban sus limitaciones. Por una parte, el PET no nos permitía obtener información metabólica, pero no aportaba información anatómica de calidad, y por otra parte el TAC no nos proporcionaba información anatómica de calidad, pero sí información metabólica. Por lo cual, al unificar ambas técnicas se puede obtener información sobre la actividad tumoral y su localización exacta. Con esta información se puede decir que el PET/TAC en combinación es una técnica más precisa, que las dos técnicas por separado.
- Al tratarse de dos técnicas diferentes, podría ocurrir que obtuviésemos imágenes por separado, sin embargo, lo más adecuado sería contar con un único tomógrafo para evitar así, problemáticas derivadas del cambio de posición del paciente a la hora de unificar las imágenes.

- Como he mencionado al inicio de este trabajo el PET/TAC es una prueba muy versátil que tiene diferentes aplicaciones. Esta técnica se utiliza en diferentes etapas de la enfermedad del cáncer con diferentes objetivos entre los mas importantes destacamos; búsqueda del tumor y determinación de su malignidad, determinación del estadio tumoral, determinación temprana y éxito del tratamiento, seguridad después de la operación del tumor y empleo en la planificación de la radioterapia. Por todas estas aplicaciones, podemos decir que el PET/TAC es una de las mejores pruebas tanto para el diagnostico del tumor como para el seguimiento de la enfermedad.
- Haciendo un balance entre los beneficios y los inconvenientes del PET/TAC podemos decir con seguridad que esta técnica tiene mas beneficios que limitaciones, puesto que como hemos visto, su mayor inconveniente es la limitación que tiene a la hora de diagnosticar tumores en el tracto urinario, lo único que habría que hacer ante la sospecha de un tumor en este lugar sería elegir la técnica mas adecuada, sin embargo, las ventajas que tiene son muy superiores a sus inconvenientes.
- Desde el punto de vista económico es una técnica cara, tanto por los costes del equipo, mantenimiento y personal cualificado, como los costes derivados de los radiofármacos, por la necesidad de ser formulados poco tiempo antes de su utilización, sin embargo, es una técnica tan concreta, precisa y útil que compensa su coste. Puesto que si tuviéramos que localizar un tumor y sus posibles metástasis en un paciente sin esta técnica supondría muchísimo mas trabajo y probablemente un coste mucho mas elevado.
- Para terminar, resaltar la versatilidad de esta técnica puesto que nos sirve para detectar muchos tipos diferentes de tumores. Lo cual aporta un valor añadido a esta técnica.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. Villegas PG, De La Hoz, Sonia Allodi, Pedrazo JC, Herrero EL, Valgañón VP, Negoita AF. Pruebas de imagen avanzadas (RM cuerpo entero y PET/TC) en Mieloma Múltiple. Seram 2018.
2. Carreras-Delgado J, Pérez-Dueñas V, Riola-Parada C, García-Cañamaque L. PET/RM:¿ un lujo o una necesidad? Revista Española de Medicina Nuclear e Imagen Molecular 2016;35(5):313-320.
3. Alonso O. Impacto clínico de la tomografía de emisión por positrones (PET) en pacientes oncológicos y su potencial aplicación en el contexto sanitario y académico nacional. Revista Médica del Uruguay 2006;22(3):169-178.
4. Oliva González JP, Martínez Ramírez A, Baum RP. Aplicaciones del PET/CT en oncología. Nucleus 2017:10-13.
5. López Díaz A, Mejías L. Estudio PET/CT con F18-Fluorodesoxiglucosa en oncología: una herramienta eficaz para una indicación responsable. Acta Médica de Cuba 2017;18(2).
6. Rodríguez Garrido M, Asensio del Barrio C. PET-TAC: Indicaciones, revisión sistemática y meta-análisis. : Instituto de Salud «Carlos III»; 2004.
7. Martí-Climent J, Velloso MG, Serra P, Boán J, Richter J. Tomografía por emisión de positrones con un equipo PET/TAC. Revista Española de Medicina Nuclear 2005;24(1):60-76.
8. Roldán-Valadez E, Vega-González I, Valdivieso-Cárdenas G, Rumoroso-García A, Morales-Santillán O, Osorio-Cardiel L. Conceptos básicos del 18F-FDG PET/CT. Definición y variantes normales. Gaceta médica de México 2008;144(2):137-146.
9. Peñuelas I. Radiofármacos PET. 2001.

10. Belzunce M. Métodos de Imágenes para Tomografía Gamma, PET y SPECT. 2013.
11. Sánchez RS. Utilidad del estudio 18FDG-PET/TAC en la valoración de la terapia neoadyuvante en cáncer de recto. : Editorial de la Universidad de Granada; 2009.
12. López-Botet Zulueta B. Evaluación de la técnica tomografía computarizada de 64 detectores (TCMD64) frente a la tomografía por emisión de positrones/tomografía computarizada (18FDG PET/TC) en el estudio clínico de pacientes con linfoma: estudio multicéntrico. 2017.
13. Delgado Bolton RC, Mucientes Rasilla J, Pérez Castejón MJ, Carreras Delgado JL. La tomografía por emisión de positrones (PET) y PET-TAC en riñón, vías urinarias y próstata: Actualización. Actas Urológicas Españolas 2009;33(1):11-23.
14. Wang HY, Ding HJ, Chen JH, Chao CH, Lu YY, Lin WY, et al. Meta-analysis of the diagnostic performance of [18F]FDG-PET and PET/CT in renal cell carcinoma. Cancer Imaging 2012 Oct 26;12:464-474.
15. Atienza Merino G. Papel del PET/TAC con radiofármacos análogos de la colina en el diagnóstico y estadificación del cáncer de próstata. 2012.
16. Larré S, Leon P, El Bakri A. Cáncer de vejiga: diagnóstico y principios terapéuticos. EMC-Urología 2016;48(4):1-17.
17. Collura-Merlier S, Arzate-Soriano RE, Manuel J, Ochoa-López MOG, Chamlati-Cuello JM, Castillejos-Molina RA. Perforaciones vesicales advertidas durante la resección transuretral de vejiga. Rev Mex Urol 2018;78(2):112-118.
18. Sánchez Zalabardo JM, Sánchez Elipe MA, Regojo Zapata O, Elizalde Benito A, Valle Gerhold J, López López JA, et al. Técnica modificada para la resección transuretral de próstata con drenaje suprapúbico y anestesia local. Actas Urológicas Españolas 2003;27(3):216-220.