



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

IDENTIFICACIÓN DE TUMORES EN CABEZA Y  
CUELLO A TRAVÉS DE LA TOMOGRAFÍA POR  
EMISIÓN DE POSITRONES-TOMOGRAFÍA  
COMPUTARIZADA.

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N A D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

TAMARA MARTÍNEZ SALAZAR

Vo Bo

TUTOR: C.D. VANIA PAMELA RAMÍREZ GUTIÉRREZ

ASESOR: Dr. LUIS FERNANDO JACINTO ALEMÁN



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.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, debo dar gracias a Dios, por la fortaleza, la paciencia y la templanza que me ha dado y que me hacen culminar esta gran meta.

GRACIAS MAMÁ, porque sin ti simplemente nada de esto sería posible. Gracias por guiarme, ayudarme a levantar de todas mis caídas, exigirme tanto, enseñarme a siempre enfrentar los obstáculos y vencerlos. Eres mi más grande ejemplo de fortaleza, constancia y disciplina. El sacrificio valió la pena, te amo.

GRACIAS PAPÁ, por esforzarte tanto a fin de poder darme las herramientas para tener una mejor vida. Gracias por enseñarme que todo es posible, que las cosas que deseamos requieren de un gran empeño y siempre ayudarme a ver la vida desde una perspectiva mejor.

Agradezco a toda mi familia Salazar, que de una u otra manera me han brindado su ayuda, todos poniendo su granito de arena para llegar hasta aquí, los amo. A mi tío Juan Carlos y Neli, porque cuando estaba en apuros me daban mil alternativas y siempre me ayudaban a encontrar la solución; gracias por todo su apoyo. Gracias a mi tío Juan y Sujeyt, por impulsarme y alentarme a seguir adelante, recordándome en cada paso que se sienten orgullosos de mí. Tía Mari, gracias por ser mi refugio, por escucharme, y cuidarme. Tía Irma, gracias por procurarme y estar presente en cada paso. Moni, gracias por jamás negarme tu ayuda en momentos difíciles. Andrea, Fer, Regina, Max, Isabella, debo agradecerles por siempre regalarme su mirada de admiración y darme el privilegio de ser una guía para ustedes. En más de una ocasión pensar en ustedes, en que debía hacerles ver que las metas se deben cumplir, fue lo que no me dejaba desistir. Son una hermosa motivación para mí.

A mi abuelo Pablo, gracias por tanto amor, por madrugar conmigo y estar pendiente desde siempre. Abuela, gracias por tu cariño, por cambiar toda tu agenda para poder ser mi paciente cuando lo necesitaba.

Los amigos de la facultad, que te salvan un poco de la carrera y otro poco la vida; gracias Vale y Lili, por todo aquello que hicieron para no dejarme abandonar el camino; Siomara, por ser mi apoyo en la recta final; Kevin eres mi ángel guardián, mi mejor amigo.

Ram gracias por ser parte de este proceso, has estado conmigo en tiempos bastante complicados, siempre motivándome, siempre apoyándome hasta donde te fuera posible. Eres la luz de mi sendero.

Gracias a mis profesores, que a lo largo de mi vida escolar me han formado y me han dejado valiosas enseñanzas.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme ser parte de su comunidad, y poder desarrollarme como profesional, llevaré en alto el nombre de tan prestigiosa institución.

*Por mi raza hablará el espíritu.*

## ÍNDICE

OBJETIVO GENERAL	6
INTRODUCCIÓN	6

### **CAPÍTULO I**

#### **Antecedentes y generalidades del estudio PET-TC**

1.1. Generalidades	7
1.1.1. Radiactividad	7
1.1.2. Medicina nuclear	9
1.1.3. Radioisótopos	11
1.2. Antecedentes históricos	14
1.2.1. Antecedentes históricos del PET	14
1.2.2. Antecedentes históricos de la TC	16
1.2.3. Antecedentes históricos del PET- TC	18

### **CAPÍTULO II**

#### **Principios físicos de la PET-TC**

2.1 Principios físicos PET-TC	19
2.1.1 Proceso de aniquilación	19
2.1.2 Punto de aniquilación	20
2.1.3 Atenuación	20
2.1.4 Funcionamiento del equipo PET-TC	21
2.1.5 Aplicaciones del PET- TC	23
2.1.6 Indicaciones y contraindicaciones del estudio PET-TC	24
2.2Ciclotrón	25
2.3Radiotrazadores	26
2.4Biodistribución de <sup>18</sup> FFDG	29
2.4.1 Distribución fisiológica de <sup>18</sup> FFDG	30
2.4.2 Captación fisiológica de <sup>18</sup> FFDG	30
2.4.2.1 Cerebro	31
2.4.2.2 Anillo de Waldeyer	32
2.4.2.3 Glándulas salivales	32
2.4.2.4 Cuerdas vocales	33

2.4.2.5	Tiroides	33
2.4.2.6	Grasa parda	33
2.4.3	Valor de captación estándar	33

### **CAPÍTULO III**

#### **Protocolo para realizar el estudio PET-TC**

3.1	Preparación del paciente	36
3.2	Posicionamiento del paciente en el tomógrafo	37
3.3	Adquisición de estudio PET/TC	38
3.3.1	Adquisición de la TC	38
3.3.2	Adquisición del PET	39
3.3.3	Protocolo especial para cabeza y cuello	39
3.4	Reconstrucción y análisis de imágenes	40

### **CAPÍTULO IV**

#### **Tumores de cabeza y cuello**

4.1	Cáncer de cabeza y cuello	41
4.2	Etiología	43
4.3	Signos y síntomas	44
4.4	Diagnóstico	45
4.4.1	Evaluación clínica	45
4.4.2	Biopsia	46
4.4.3	Estudio imagenológico	46
4.5	Estadíaaje	46
4.6	Pronóstico	48
4.7	Tratamiento	48

### **CAPÍTULO V**

#### **Identificación de tumores en cabeza y cuello a través del estudio PET-TC**

5.1	Estadificación inicial	51
5.1.1	Sensibilidad y especificidad	51
5.1.2	Nasofaringe e hipofaringe	52
5.1.3	Tumor primario	53

5.2 Metástasis ganglionares	54
5.3 Metástasis a distancia	54
5.4 Segundos tumores primarios	56
5.5 Planificación de radioterapia	56
5.6 Re-estadificación en pacientes tratados	58
5.7 Seguimiento	63
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

## **OBJETIVO GENERAL**

Identificar tumores en cabeza y cuello a través de la Tomografía por Emisión de Positrones- Tomografía Computarizada.

## **INTRODUCCIÓN**

La tomografía computarizada es una técnica de diagnóstico convencional, sin embargo, presenta algunas limitaciones, por lo que es necesario en ciertos casos realizar una combinación con la tomografía por emisión de positrones que proporciona información metabólica sobre procesos bioquímicos, así se obtiene información adicional y se complementan entre sí.

El conjunto de cáncer de cabeza y cuello ocupa el cuarto lugar de incidencia. A pesar de que el 80% de los tumores malignos de cabeza y cuello diagnosticados en estadios precoces pueden ser curados, casi un 70% de los pacientes tienen enfermedad localmente avanzada o metástasis ganglionares, lo que conlleva a un pronóstico reservado, con cifras de curación en torno al 30%.

El presente trabajo es una recopilación bibliográfica acerca del vínculo entre la tomografía por emisión de positrones y tomografía computarizada (PET-TC) con la valoración de los diversos tumores ubicados en cabeza y cuello; esto a causa del desconocimiento de la gran mayoría de los Odontólogos sobre su empleo como auxiliar lo suficientemente competente para el diagnóstico de las patologías antes mencionadas, así como un pronóstico acertado y en el mejor de los casos, una detección temprana para que los pacientes con estas condiciones obtengan una mejor calidad de vida.

# CAPÍTULO I

## Antecedentes y generalidades del estudio PET-TC

### 1.1 Generalidades

#### 1.1.1 Radiactividad

La radiactividad es más conocida por sus efectos nocivos, por el estallido de las bombas atómicas en la Segunda Guerra Mundial, pero también tiene funciones beneficiosas para el cuidado de la salud, ya que sirve tanto para el diagnóstico temprano de enfermedades como para su tratamiento. (1)

La radiactividad fue descubierta por el científico francés Antoine Henri Becquerel en 1896 de forma accidental al realizar investigaciones sobre la fluorescencia del sulfato doble de Uranio y Potasio; pues observó la existencia de unos rayos misteriosos provenientes de una sal de Uranio. Descubrió que el uranio emitía espontáneamente una radiación misteriosa. Notó que al poner en contacto el compuesto de Uranio con una placa fotográfica envuelta en papel negro, se producía el mismo efecto que si la placa estuviera expuesta a los rayos X. Posteriormente observó que hay otros elementos que poseen la misma propiedad del Uranio de emitir radiaciones, sin ser excitado previamente. (2)

Sin embargo, las investigaciones más importantes acerca del descubrimiento de la radiactividad fueron a finales del siglo XIX a cargo del matrimonio francés, Pierre Curie, profesor de la Escuela Industrial de Física y Química de París, y su esposa Marie Curie, una mujer polaca, Licenciada en física y matemáticas en la Universidad de la Sorbona.

Marie investigó qué metales y aleaciones emitían los misteriosos rayos de Becquerel. El método que diseñó para estudiarlos no era la impresión de

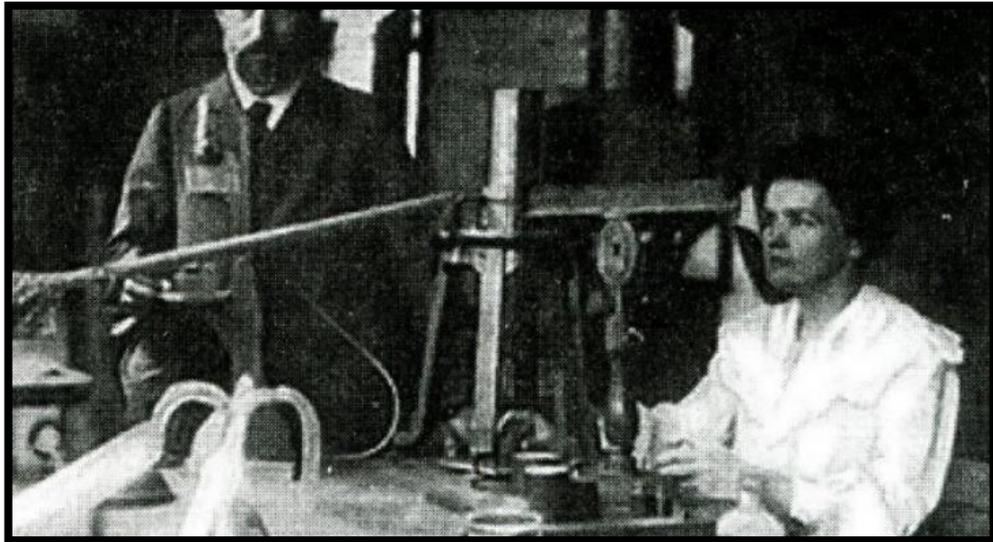
películas fotográficas que había empleado Henry Becquerel, sino que cuantificaba el rayo emitido, para lo cual se basó en su capacidad para ionizar el aire. Con este sistema descubrió que uno de los minerales investigados emitía de forma más intensa que el Uranio puro, que en ese entonces era el elemento cuya presencia era imprescindible para obtener los rayos; así junto con Pierre en 1898 anunciaron el descubrimiento de un nuevo elemento al que llamaron Polonio (Fig. 1). Pocos meses después el de otro, al que denominaron Radio. Años más tarde se descubrió que el Polonio se desintegraba a gran velocidad, sin embargo, por su capacidad de emitir radiación de forma espontánea, la misteriosa propiedad descubierta por Becquerel fue nombrada por Marie como radioactividad. (3)

Tiempo después Ernest Rutherford y Frederick Soddy continuaron con dichos estudios en Inglaterra y pronto se dio a conocer que la radiación emitida podía ser de tres clases: alfa, beta y gamma; y al final del proceso, el átomo radiactivo original tenía una distinta naturaleza experimentando así, una desintegración.

Sabiendo entonces lo anterior, se describe a la radioactividad como una reacción nuclear de descomposición espontánea, es decir, un nucleido inestable se descompone en otro más estable que él, a la vez que emite una "radiación". Si el nucleido que resulta de la desintegración no es estable, se desintegra en un tercero y así sucesivamente, hasta que finalmente se llega a un nucleido estable y al conjunto de desintegraciones de los nucleidos se les llama serie o familia radiactiva.

La aplicación más conocida de la radioactividad fue su empleo en medicina. Esta aplicación fue intuida de forma visionaria por Pierre Curie inmediatamente después de su descubrimiento, por lo que trabajó en su laboratorio conocido curiosamente en Francia como "curieterapia". La investigación de las capacidades curativas del Radio comenzó a realizarse en hospitales de todo el mundo a los pocos meses de su descubrimiento.

Aunque lo que hoy denominamos radioterapia tiene poco que ver con lo que se conocía con tal nombre en los hospitales a principios del siglo XX, sin aquellas investigaciones pioneras hoy no contaríamos con esta herramienta imprescindible en el tratamiento del cáncer. (3)



*Figura 1 Pierre y Marie Curie, responsables de las principales investigaciones sobre radiactividad. (4)*

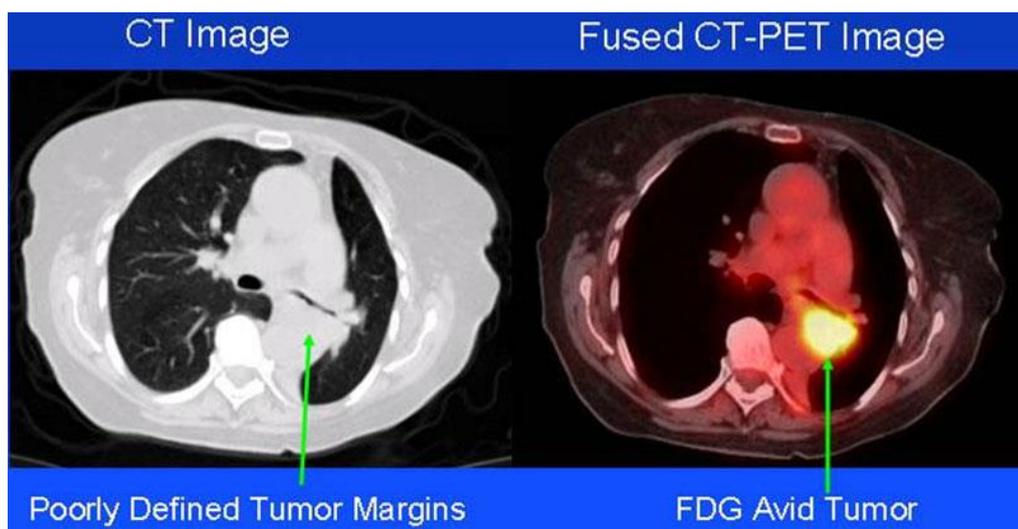
### **1.1.2 Medicina nuclear**

La Medicina Nuclear (MN), según la definición establecida en el año 1972 en Ginebra, por la Organización Mundial de la Salud y la OIEA, “es la especialidad que se ocupa del diagnóstico, tratamiento e investigación médica, mediante el uso de radioisótopos como fuentes abiertas”.

Cuando son utilizados con un propósito diagnóstico, se aprovecha la propiedad emisora de los radioisótopos para detectarlos a distancia; cuando la intención es terapéutica, se aprovecha el efecto deletéreo (que puede producir un daño importante e incluso la muerte), que la radiación puede tener sobre un tejido.

El procedimiento para generar imágenes en medicina nuclear requiere la administración ya sea intravenosa, subdérmica, oral, inhalación, etc., de una dosis trazadora de una sustancia radioactiva o radiofármaco; una dosis trazadora es una cantidad mínima, capaz de marcar, pero sin perturbar la fisiología del blanco en cuestión. El radiofármaco consiste en la combinación de un ligando que determina su biodistribución y un radioisótopo responsable de generar una señal detectable.

En un estudio diagnóstico se pretende obtener con la detección una representación lo más exacta posible de la distribución de la actividad y del radiofármaco dentro del organismo (Fig. 2). Muchas veces esa detección tiene como resultado la elaboración de una imagen donde se verifica esa distribución y si es posible, también se intenta cuantificar esa distribución.



*Figura 2 Imagen convencional con TC vs imagen híbrida PET-TC. (5)*

Simplificando la detección de un radiofármaco con los equipos de medicina nuclear es de la siguiente manera: se administra un radiofármaco y el paciente es en ese momento, un emisor de radiación, esto de manera transitoria; la radiación emitida por el paciente interactúa con un cristal, este es un cristal de centelleo que poseen todos los aparatos de medicina nuclear (centellógrafo, o la Cámara Gamma (CG), el SPECT, aparatos

PET). La interacción de la radiación electromagnética que proviene del paciente, con el cristal de centelleo, tiene como resultado un fotón de luz visible; ese fotón atraviesa un fototubo (tubo fotomultiplicador), y en su paso se transforma en una señal de voltaje; esa señal será analizada, ampliada y digitalizada y se convierte en un dato representativo de la actividad proveniente del paciente, o en un punto de una imagen.

Algo que no se puede evitar es que el paciente está emitiendo radiación electromagnética en todos los sentidos, y hacia todos lados. Para que los cristales del equipo puedan esclarecer de dónde proviene la radiación que van a analizar y adjudicarla a una ubicación precisa, hay dos posibilidades: Una es colimar la radiación anteponiendo al cristal un colimador que solo permita pasar la radiación proveniente de determinado punto, (como en la Cámara Gamma y el SPECT). La otra posibilidad es emplear radioisótopos emisores de positrones. Estos se manifiestan consecuencia del fenómeno de aniquilación por dos rayos, que por ser emitidos en  $180^\circ$ , si se emplean dos detectores opuestos, conllevan la información de su procedencia y no es necesaria la colimación física con un elemento externo; este es el método que se emplea en la PET.

La PET es extremadamente más sensible, su capacidad de detección es enorme, pero solo sirve para radioisótopos emisores de positrones y una aparatología mucho más compleja. Cualquiera de estas estructuras debe incluir un radioisótopo que emite una señal detectable para que pueda ser utilizado en medicina nuclear. (4)

### **1.1.3 Radioisótopos**

Un radioisótopo es un isótopo radioactivo que es producido artificialmente en un ciclotrón bombardeando con partículas atómicas de elevada energía cargadas positivamente o con neutrones; es necesario que se llevan a cabo distintos procesos químicos para que adopten la forma química requerida. Los radioisótopos son la forma inestable de un elemento que emite

radiación para transformarse en una forma más estable. La radiación se puede rastrear fácilmente y causar cambios en la sustancia que la recibe. Estas características hacen que los radioisótopos sean útiles en la medicina, como marcadores o trazadores con fines diagnósticos y/o terapéuticos.

De los 118 elementos de la tabla periódica, solo 94 son naturales; mientras que el número de isótopos estables asciende a 254. Estos elementos, están abastecidos de una radioactividad artificial, inducida y temporal, diferente y específica para cada elemento llevado a ese estado.

Existe una radioactividad natural, que es la propiedad de ciertos cuerpos de emitir rayos alfa, beta y gamma por descomposición de sus átomos. Estos rayos son capaces de atravesar medios opacos a la luz, placas fotográficas y hacer que los gases sean conductores de la electricidad.

Se conocen más de 3000 radioisótopos, de los cuales solo 84 aproximadamente se observan en la naturaleza.

Los radioisótopos no solo pueden obtenerse a partir de reactores de investigación y aceleradores, sino también de generadores de radioisótopos.

Un factor esencial para su desarrollo y aplicación en la medicina o la industria es la calidad que posee cada nucleido. La producción de radionucleidos de alta calidad requiere conocimientos técnicos e instalaciones especializadas, que deben aplicar buenas prácticas de fabricación que utilicen protocolos normalizados con directrices de garantía de calidad y control de calidad (GC/CC) válidas. (6) (7)

Los radioisótopos más empleados para sintetizar marcadores fisiológicos, bioquímicos, farmacológicos y moleculares para PET son el  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  y  $^{15}\text{O}$  (tabla 1), que tienen una vida media o periodo de semidesintegración de 110 min, 20 min, 10 min y 2 min respectivamente. Éstos son emisores

$\beta^+$ , es decir, que se desintegran emitiendo positrones y permiten obtener imágenes de múltiples funciones en condiciones basales y con estímulos farmacológicos y fisiológicos. (1) (8)

El isótopo se liga a una sustancia química como pueden ser glucosa, agua o amoníaco, que se incorporan al cuerpo humano mediante una inyección o, en otros casos, por inhalación en forma gaseosa. El radioisótopo viaja a la parte del cuerpo que metaboliza la sustancia a la que se ha ligado, razón por la cual hay una gran variedad de sustancias utilizadas en PET. (9)

*Tabla 1 Principales radioisótopos para la formación de radiofármacos y su aplicación en diferentes especialidades de la medicina: (1)*

<b>Radioisótopo</b>	<b>Radiofármaco</b>	<b>Aplicación</b>
<sup>18</sup> F	FDG (flourodeoxiglucosa)	Diagnóstico, evaluación de enfermedades y respuesta a tratamiento en oncología, neurología y cardiología.
<sup>11</sup> C	NaF (Fluoruro de sodio)	Diagnóstico y evaluación en tumores óseos primarios y metástasis.
	FLT (Fluortimidina)	Mide proliferación celular.
	FMISO (Fluoromisonidazole)	Evalúa cuantitativamente hipoxia en cáncer de pulmón, cerebro, cabeza, cuello y corazón.
	FES (Fluoroestradiol)	Para pacientes con cáncer de mama.

	FET (FluoretilLtirosina)	Como alternativa del Carbono- Metionina para PET cerebral.
	Acetato	Para cáncer de próstata. Hepatocarcinoma.
<sup>13</sup> N	Metionina	Evaluación de tumores primarios del sistema nervioso central.
	Ammonia	Estudios de perfusión cardíaca.

## 1.2 Antecedentes históricos

### 1.2.1 Antecedentes históricos del PET

Con el descubrimiento del positrón, se inicia la historia de estudio PET. La existencia y propiedades del positrón fueron descritas en 1927 por el físico francés Paul Adrien Maurice Dirac y posteriormente, en 1932, Carl David Anderson, fue el primero en detectar los positrones en los rayos cósmicos.

El positrón es una partícula subatómica que posee la misma masa del electrón, pero con carga eléctrica opuesta. Posee una característica básica y fundamental, que al encontrarse con el electrón se aniquila y el resultado es la generación de dos fotones que viajan en direcciones opuestas. Muchos investigadores demostraron la ventaja de la imagen por positrones empleando técnicas de detección. Por consiguiente, los investigadores se interesaron en el tema y comenzaron a buscarle alguna aplicación.

Casi a finales de la década de 1950 fue posible aplicar las propiedades de la aniquilación de los positrones en la detección del cáncer cerebral, así

como de otras enfermedades con la ayuda de sistemas de detección. A pesar de que la instrumentación y la generación de imágenes empleadas no eran muy sofisticadas, las imágenes obtenidas con este equipo eran notablemente mejores que las obtenidas por otros instrumentos de imagen utilizados en ese tiempo. Los múltiples detectores que rodeaban la cabeza del paciente fueron diseñados para la medición del flujo sanguíneo cerebral regional (Fig. 3).

En 1960, se desarrolló una nueva versión del tomógrafo en el que se logró incrementar la sensibilidad y se tuvo la posibilidad de obtener imágenes tridimensionales y se tuvieron grandes logros en los primeros estudios con radiofármacos emisores de positrones.

El desarrollo de modernos equipos PET requirió del desarrollo de técnicas matemáticas necesarias para la reconstrucción de las imágenes tomográficas. No obstante, aunque lo que se había logrado era bastante alentador, los sistemas de detección generaban resultados con muy baja resolución porque los métodos de reconstrucción empleados no eran los adecuados.

Fue hasta el año de 1967 cuando se comenzaron a estudiar los procesos para la reconstrucción de las imágenes tomográficas. Los avances del PET se dieron lentamente hasta antes del desarrollo de técnicas más avanzadas en la reconstrucción de imágenes que acompañaron el desarrollo de la tomografía computarizada, la cual empleaba los rayos X.

La versión más moderna del equipo PET finalmente llegó a ser una realidad y fue llevada a cabo por el Químico Michael Phelps a mediados de 1975. Sin embargo, esta nueva modalidad, necesitaba mejorar, logrando la disponibilidad de generar en grandes cantidades los radionúclidos emisores de positrones necesarios para la producción de los radiofármacos PET.

Debido a su alto costo y poca disponibilidad en algunos países, el PET no es una técnica de fácil reproducción a diferencia de la Tomografía Computarizada de Simple Emisión de Positrón (SPECT).

En los primeros equipos PET el uso de fuentes de radiación externas para la adquisición de las imágenes de transmisión, que se utilizaban para la corrección por atenuación, hacían significativamente prolongado el tiempo de adquisición de los estudios PET que eran 60 minutos por estudio en promedio; en cambio, en los equipos actuales la corrección por atenuación se hace utilizando equipos de tomografía computarizada (CT), disminuyendo considerablemente el tiempo de adquisición de los estudios a 14- 21 minutos en promedio. (10) (11)



*Figura 3 Primer aparato para generación de imágenes clínicas. (10)*

### **1.1.2 Antecedentes históricos de la TC**

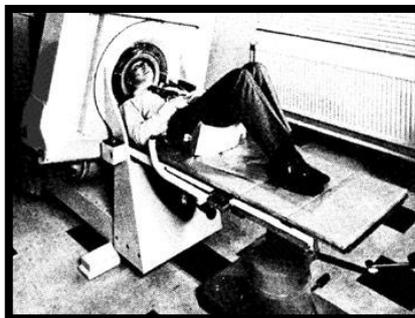
En julio de 1972, Godfrey Newbold Hounsfield quien fue Ingeniero eléctrico publicó un artículo en la Revista British Journal of Radiology, en el cual describía una técnica basada en rayos X; esta técnica fue llamada tomografía computarizada (Fig. 4), para la cual utilizaba métodos

matemáticos que Allan McLeod Cormack había desarrollado años atrás. Este método dividía la cabeza en varios cortes y cada uno era irradiado por sus bordes. De esta manera, la radiación podía ser confinada dentro de la misma porción. A diferencia de la técnica convencional de rayos X, la información obtenida no se veía afectada por variaciones del material, que se presentaran a ambos lados del corte en cuestión.

La técnica tomográfica necesitaba superar tres limitaciones en la radiología convencional: La primera era la imposibilidad de mostrar en una imagen radiológica bidimensional toda la información contenida en una tridimensional, esto debido a la superposición de los objetos en la imagen que se obtenía; la segunda, la capacidad tan limitada para distinguir tejidos blandos; y la última, la nula posibilidad de cuantificar la densidad de los tejidos.

Las primeras imágenes de tomografía reconstruidas con el primer escáner contaban con una muy baja resolución espacial, una matriz de 80x80 píxeles, y tardaba nueve horas para cubrir el cerebro humano.

El primer escáner comercializado en 1973 fue el EMI Mark I, y aunque tomaba imágenes con una muy baja resolución espacial, comparadas con los estándares actuales, representó una revolución en el campo de la radiología. (12)



*Figura 4 Prototipo de aparato de TC para uso clínico, desarrollado por Sir Godfrey Newbold. Permitía examinar el cerebro y su contenido. (13)*

### **1.1.3 Antecedentes del estudio PET-TC**

A finales de la década de 1990, comienza la combinación de los estudios PET con TAC, cuando se comprobó que, utilizando la imagen de un TAC de muy baja dosis asociado al equipo, se corregían con mayor precisión los problemas de atenuación intrínsecos a la imagen PET, y además dado que estas imágenes se podían obtener en cuestión de segundos, se disminuía el tiempo de exploración (se pasó de una media de 60-90 min a los 12-15 minutos actuales). Además, como valor añadido, la fusión de ambas imágenes, reconstruido con algoritmos para recuperación de resolución espacial, mejoraba significativamente la vistosidad del resultado. De esta forma, la industria evolucionó dando lugar a los primeros equipos PET/CT.

El PET-CT fue aceptado en el campo oncológico, ya que no aporta únicamente mediciones eficientes de la atenuación, también combina la integración de información metabólica y morfológica para la detección, fase de estadio del tumor y control de la terapia. Las nuevas cámaras PET-CT utilizan pequeños cristales, los cuales aportan una excelente resolución espacial. Por lo tanto, el uso de equipos PET-CT de alta resolución permite la posibilidad de realizar mediciones de la distribución regional del radiotrazador y la cuantificación de mediciones fisiológicas.

Actualmente, existe una controversia, si la exploración TAC inevitablemente asociada a cada PET tiene que realizarse o no, con condiciones técnicas diagnósticas; ya que con un TAC de alta dosis se consigue un mejor resultado de la imagen final, pero, en la práctica, menos del 15% de las exploraciones PET requieren un TAC de este tipo, por tanto, su utilización, en todos los PET, implica una mayor dosis de radiación para el paciente y es completamente innecesaria, además, aumenta el costo de la exploración. (10)

## CAPÍTULO II

### Principios físicos de la PET-TC

#### 2.1 Principios físicos PET-TC

##### 2.1.1 Proceso de aniquilación

Cuando un positrón, electrón cargado positivamente, es emitido desde el núcleo, viaja una corta distancia perdiendo energía hasta que interactúa con un electrón del medio, de modo que ambos se aniquilan (desaparecen). La masa del electrón y del positrón se convierte en energía bajo forma de dos rayos gamma (cada uno de 511 keV), que viajan en direcciones opuestas (a  $180^\circ$ ).

La energía del positrón determina la distancia que recorre antes de la aniquilación, pero siempre el resultado de ésta es la producción de dos fotones de 511 keV. Por tanto, en PET es emitido simultáneamente un par de fotones y en consecuencia su detección involucra un par de detectores en situación opuesta que debe registrar eventos en un mismo instante de tiempo (Fig. 5).

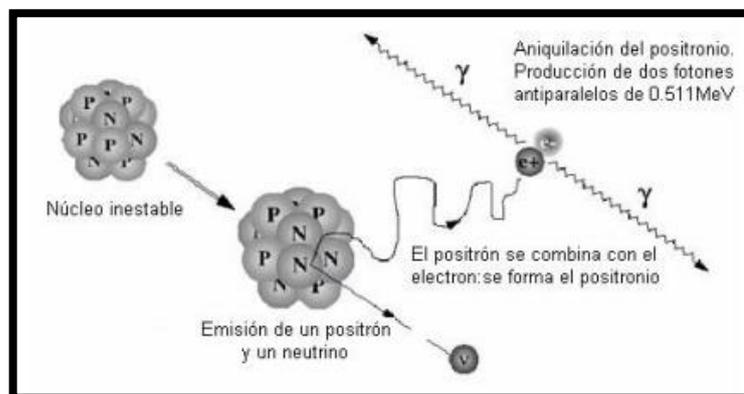


Figura 5 Producción de rayos  $\gamma$  (14)

### **2.1.2 Punto de aniquilación**

Debido a que dos fotones viajan en direcciones opuestas, el punto de aniquilación estará ubicado en una línea recta que une ambos puntos de detección. Esto significa que la información direccional se puede determinar electrónicamente sin la necesidad de una colimación convencional.

### **2.1.3 Atenuación**

Para las imágenes formadas, el principal inconveniente es que los propios tejidos del cuerpo pueden atenuar, disminuir y hasta retrasar la llegada de uno de los fotones (resultado del aniquilamiento). Esto quiere decir que uno de los fotones recorre una mayor distancia dentro de los tejidos del cuerpo, antes de llegar al cristal de centelleo; este proceso recibe el nombre de atenuación de tejidos.

La atenuación logra disminuir los eventos de centelleo hasta la mitad, pues, aunque son eventos coincidentes, por el hecho de tener 12 nanosegundos de diferencia, el equipo los considera no coincidentes; esto se traduce a una disminución en la calidad de imagen.

Para compensar el evento de atenuación, los equipos PET cuentan con un sistema de emisión-transmisión. Éste consta de una fuente radiactiva alrededor del espacio destinado al paciente; cuando el paciente es colocado en posición, se abre la ventana de detección de radiación para dicha fuente radiactiva y es así como los detectores ubicados del otro lado del paciente reciben la radiación. De esta manera se calcula atenuación, pues se cuantifica el espesor de los tejidos y el tiempo desde la emisión de radiación hasta su detección; a este procedimiento se le llama emisión. Posteriormente se realiza la transmisión, que es el registro de la actividad radiactiva emitida por el radiofármaco desde el cuerpo del paciente, pero

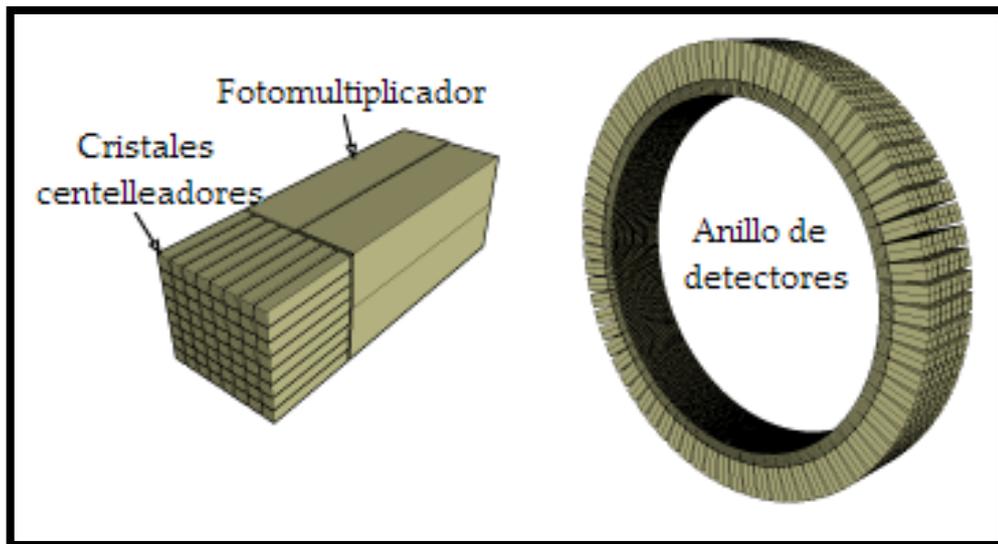
ya corregidos los tiempos por la emisión. Estos procesos utilizan alrededor de 7 a 8 minutos por región, lo que quiere decir que son de 40 a 50 minutos en un rastreo general.

Sin embargo, los nuevos equipos PET-TC, ahorran mucho más tiempo pues se utilizan los datos de atenuación de tejidos del rastreo con TC y por este motivo, el tiempo de rastreo dependerá del número de cortes del tomógrafo. Si bien, el tiempo total disminuye significativamente, pues se realiza entre 15 a 20 minutos. (15)

#### **2.1.4 Funcionamiento del equipo PET-TC**

Cada aparato PET posee una serie de detectores, éstos son cristales de centelleo (Fig. 6). Estos cristales están distribuidos en forma circular alrededor del espacio central del aparato destinado para el paciente.

Algunos equipos poseen hasta 24,000 cristales, que son exactamente 24,000 detectores, los cuales a su vez están alineados en 2, 3 o hasta 4 anillos. Todos aquellos fotones que se producen al realizarse el aniquilamiento de los positrones y que se dirigen en dirección opuesta con  $180^\circ$  de diferencia uno del otro, van a ser detectados por un par de cristales o detectores situados uno exactamente al frente del otro, el equipo registra este evento como un evento coincidente e incorpora esta información como parte de la que se va a utilizar para la formación de la imagen. Se necesitan muchos millones de eventos coincidentes para que se pueda formar una imagen.



*Figura 6 Detectores PET (14)*

La luz producida por el evento de centelleo, que es la interacción del fotón con el cristal, es convertida por un fotocátodo en electricidad y a esta pequeña carga de electricidad se le aplican diferencia de potenciales eléctricos dentro de los llamados “tubos fotomultiplicadores”, de los que hay para cada detector, con el fin de aumentar la débil carga eléctrica hasta que llegue a ser una señal que pueda ser transformada del sistema analógico al digital en imagen. Cada vez que un par de fotones producen un centelleo coincidente y luego son convertidos de información eléctrica a información digital en imagen, el equipo los registra con el nombre de “una cuenta” (Fig. 7).

Como los centelleos que son las señales eléctricas que se llaman cuentas, provienen de diferentes ángulos del cuerpo, al ser sumadas y luego reconstruidas en 3 dimensiones nos permiten obtener cortes tomográficos axial, coronal y sagital de todas las regiones del cuerpo si el rastreo ha sido corporal total o se pueden obtener los mismos cortes de un área en particular si el rastreo ha sido de un segmento del cuerpo. (15)



*Figura 7 Equipo PET-TC (16)*

### **2.1.5 Aplicaciones del estudio PET-TC**

El estudio PET-TC en la actualidad tiene aplicación principalmente en 3 áreas de la medicina:

- **Oncología.**

La aplicación clínica más importante del PET-TC es en la detección y especialmente en la estadificación de tumores malignos, esto, utilizando principalmente el radiofármaco  $^{18}\text{F}$ -FDG, un compuesto que se comporta como los azúcares.

Las principales aplicaciones oncológicas, son en el cáncer de mama, pulmón, esófago, colon, melanoma, linfoma y en menor grado en tumores cerebrales, óseos y de órganos genitales. El papel en planificación y evaluación de la radioterapia es de total importancia.

- **Neurología y neuropsiquiatría.**

Las investigaciones realizadas incluyen el uso de agua marcada con <sup>15</sup>O para medir el flujo cerebral, a veces con procedimientos de activación donde ocurren cambios en la irrigación como resultado de la actividad mental. El 18F-FDG se utiliza como marcador metabólico en casos de demencia, como en el caso del Alzheimer y otras encefalopatías degenerativas; y en los estudios de epilepsia.

- **Cardiología.**

El estudio más utilizado es con el empleo del radiotrazador FDG para determinar la viabilidad miocárdica.

Cuando el suministro de oxígeno está limitado debido a una reducción del aporte sanguíneo, el corazón modifica su metabolismo habitual de ácidos grasos hacia la utilización de azúcares, lo cual no involucra el consumo de oxígeno, siempre y cuando las células aún estén con vida. La captación de FDG está conservada o incluso aumentada durante este proceso.

Este estudio es particularmente útil en pacientes de riesgo antes de ser sometidos a cirugía cardíaca. (17)

### **2.1.6 Indicaciones y contraindicaciones**

#### **Indicaciones**

1. Diagnóstico, diferenciación entre lesiones benignas y malignas (frente a discrepancias entre la clínica y exámenes complementarios indeterminados, sin embargo, el método más recomendado es la biopsia).
2. Búsqueda de tumores primarios desconocidos, ante síndromes paraneoplásicos y metástasis.

3. Estadificación de procesos oncológicos conocidos.
4. Monitorización de la terapia oncológica.
5. Diferenciación entre la recurrencia tumoral y los cambios tras el tratamiento, ante exploraciones complementarias indeterminadas.
6. Evaluación de pronóstico.
7. Determinar si se requiere retratamiento.
8. Apoyo en el diagnóstico y tratamiento en padecimientos neurológicos, neuroquirúrgicos y psiquiátricos. (18)

### **Contraindicaciones**

1. Embarazo.
2. Requiere la suspensión de la lactancia (24 h).
3. La insuficiencia renal no es una contraindicación, pero puede disminuir la calidad de la imagen si es importante. (18)

## **2.2 Ciclotrón**

El ciclotrón es un aparato que permite la aceleración circular de partículas cargadas, éstas pueden ser tanto positivas como negativas, y que son aceleradas en un campo magnético oscilatorio, hasta que alcanzan una energía cinética suficiente para producir reacciones nucleares al chocar con un material llamado “blanco” (Fig. 8). Formando así, los radioisótopos emisores de positrones, siendo los más utilizados el  $^{15}\text{O}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{11}\text{C}$  y el  $^{18}\text{F}$ . Sus periodos de semidesintegración son muy cortos, 2, 10, 20 y 110 minutos respectivamente para cada uno de ellos. Por ello su uso está restringido a la proximidad de los ciclotrones en los que se fabrican.

Estos radionúclidos habitualmente no tienen la forma química y farmacéutica adecuada para ser utilizados como trazadores biológicos, por lo que deben ser incorporados a moléculas más complejas, lo que se realiza en el laboratorio de radioquímica.

El laboratorio de radioquímica se debe ubicar en proximidad inmediata al ciclotrón por el corto periodo de semidesintegración de los radionúclidos.

El proceso de síntesis y marcaje de las diversas moléculas orgánicas e inorgánicas es rápido y automatizado, para reducir en lo posible la exposición a radiaciones del personal. Antes de la administración a los pacientes se deben controlar en el laboratorio las características de calidad radioquímicas y farmacéuticas de estas moléculas (19)



*Figura 8 Ciclotrón (19)*

### **2.3 Radiotrazadores**

Los radiofármacos o radiotrazadores utilizados en PET es la unión de un fármaco o de una sustancia fisiológica con farmacocinética y farmacodinamia conocidas con un átomo radiactivo emisor de positrones. Por una parte, el fármaco presenta una biodistribución conocida y, por otra, el átomo emisor de positrones indica la localización de este fármaco, previo rastreo en una cámara PET. (20)

Estos radiotrazadores constan de una molécula específica, la cual determina la ruta metabólica, unida a un átomo radiactivo emisor de positrones que permite la detección externa de la biodistribución del radiofármaco dentro del organismo. (21)

Recordamos que los emisores de positrones  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  y  $^{15}\text{O}$ , enlistados en orden descendente a su vida media, son los radionúclidos más utilizados en PET, todos producidos en un ciclotrón. El éxito de estos radionúclidos se debe en buena parte a que pertenecen a elementos biológicos nativos que permiten su incorporación a una gran cantidad de moléculas de interés biológico, sin perturbar sus propiedades químicas, y a su alto porcentaje de emisión de positrones. Por otro lado, debido a su vida media corta, es necesario contar con un ciclotrón para su producción en sitio o en un lugar cercano a donde se realizan los estudios.

Generalmente, el radiotrazador se administra mediante su inyección en alguna vena; y de forma menos frecuente; por otras vías como la oral o inhalación. En el caso de los estudios PET siempre se utiliza la vía intravenosa. Una vez administrado el radiotrazador, este se distribuye y acumula en diferentes áreas del cuerpo, desde donde emite radiación en forma de positrones o rayos gamma. Estas radiaciones son detectadas por el tomógrafo PET. Las imágenes obtenidas son híbridas esto quiere decir que son fusionadas y permiten que la información del estudio PET se complemente en una sola imagen. (22)

A continuación, enlisto los principales tipos de PET-TC con diferentes radiotrazadores, según el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN) (20), con sus respectivas características:

- **PET-TC con 18F-DOPA**

Nombre químico: 18F- FLUORODEOXYGLUCOSA. El 18F, es el isótopo radioactivo cuyas emisiones de energía son detectadas por el equipo PET (tomografía por emisión de positrones).

Objetivo: La tomografía por emisión de positrones (PET) con [18F] FDG se ha utilizado para evaluar alteraciones en el metabolismo de glucosa en el cerebro, el cáncer, las enfermedades cardiovasculares, la enfermedad de Alzheimer y otros trastornos del sistema nervioso central, infecciosas, autoinmunes, y enfermedades inflamatorias

Indicaciones: Metabolismo cerebral, epilepsia, múltiples neoplasias, infecciones.

Eliminación: Su vía de eliminación es urinaria, por lo que se le recomienda tomar muchos líquidos.

Toxicología: No tiene efectos tóxicos, ni efectos carcinogénicos.

Se inyecta por vía intravenosa, y a los 30 o 60 minutos dependiendo del estudio pasará al equipo donde se adquirirá el estudio.

- **PET-TC CON 18F-MISO**

Nombre químico: 18F- misodinazol El 18F, es el isótopo radioactivo cuyas emisiones de energía son detectadas por el equipo PET (tomografía por emisión de positrones).

Objetivo: La tomografía por emisión de positrones (PET) con [18F] MISO se utiliza para la evaluar la oxigenación de los tumores. La disminución de oxígeno, que se conoce como hipoxia, puede afectar la respuesta a la terapia (quimioterapia y radioterapia).

Indicaciones: Cáncer de cabeza y cuello.

Eliminación: Su vía de eliminación es urinaria, por lo que se le recomienda tomar muchos líquidos.

Toxicología: No tiene efectos tóxicos, ni efectos carcinogénicos.

Se inyecta por vía intravenosa, y a los 8-10 minutos pasará al equipo donde se adquirirá el estudio.

- **PET-TC CON 18F-FET**

Nombre químico: 18F- TIROSINA El 18F, es el isótopo radioactivo cuyas emisiones de energía son detectadas por el equipo PET (tomografía por emisión de positrones).

Objetivo: La tomografía por emisión de positrones (PET) con [18F] tirosina se ha utilizado para evaluar el metabolismo tumoral.

Indicaciones: Tumores del sistema nervioso central.

Eliminación: Su vía de eliminación es urinaria, por lo que se le recomienda tomar muchos líquidos.

Toxicología: No tiene efectos tóxicos, ni efectos carcinogénicos.

Se inyecta por vía intravenosa, y a los 10, 15, 35, 60 minutos pasará al equipo donde se adquirirá el estudio.

## **2.4 Biodistribución de <sup>18</sup>FFDG**

El radiofármaco más usado para este fin en PET es la 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 continua 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. El átomo radiactivo emisor de positrones 18F unido a la FDG tiene una vida media de 110 minutos; este tiempo es más largo que el de otros emisores de positrones de utilidad clínica en diagnóstico por imágenes, lo que hace factible su empleo en sitios relativamente distantes del ciclotrón donde se produce.

La baja energía del positrón (0,64 MeV), implica menor dosis de radiación para el paciente y permite imágenes de alta resolución.

A su potencial se agrega la capacidad para marcar la glucosa, constituyendo el radiofármaco idóneo para la evaluación del metabolismo celular de la glucosa, lo que implica su extenso empleo en Oncología, Cardiología y Neurología.

#### **2.4.1 Distribución fisiológica de $^{18}\text{F}$ FDG**

El  $^{18}\text{F}$ FDG (Fluorodeoxiglucosa) es el radiofármaco más utilizado en el área oncológica; sin embargo, no es un marcador de proliferación celular en las neoplasias, sino del metabolismo de la glucosa que poseen éstas.

Se comporta de manera idéntica a la glucosa, entra a la célula por transporte activo de acuerdo con su demanda. Una vez dentro de la célula es fosforilada, bloqueándose su degradación, con acumulación de la molécula fosforilada en el citoplasma. La glucosa marcada que no es captada en los tejidos será eliminada por la orina. La F18-FDG no produce efectos adversos ni reacciones alérgicas, y la única contraindicación absoluta es el embarazo. En pacientes diabéticos el examen puede realizarse sin problemas con glicemias menores de 200 mg/dl. Con niveles superiores el examen pierde sensibilidad, debido a que el trastorno metabólico altera los procesos normales de captación de glucosa. (23)

#### **2.4.2 Captación fisiológica de $^{18}\text{F}$ FDG**

Una vez dentro de la célula, la  $^{18}\text{F}$ FDG es fosforilada por acción de la hexoquinasa, y por carecer de un ion hidroxilo en el carbono 2 no puede continuar con el metabolismo celular y queda atrapada dentro de la célula, lo que nos permite obtener las imágenes.

Es importante tener correlación anatómica de las imágenes funcionales, que ocurre con los equipos PET/CT, para diferenciar las zonas de captación fisiológica de las captaciones anormales aumentando así la sensibilidad y especificidad de la técnica (Tabla 2). (24)

**Tabla 2 Captaciones fisiológicas de 18FDG (24)**

**Captaciones fisiológicas de 18FFDG**

<b>Cerebro</b>	Anillo de Waldeyer
<b>Glándulas salivales</b>	Cuerdas vocales
<b>Tiroides</b>	Grasa parda

**2.4.2.1 Cerebro**

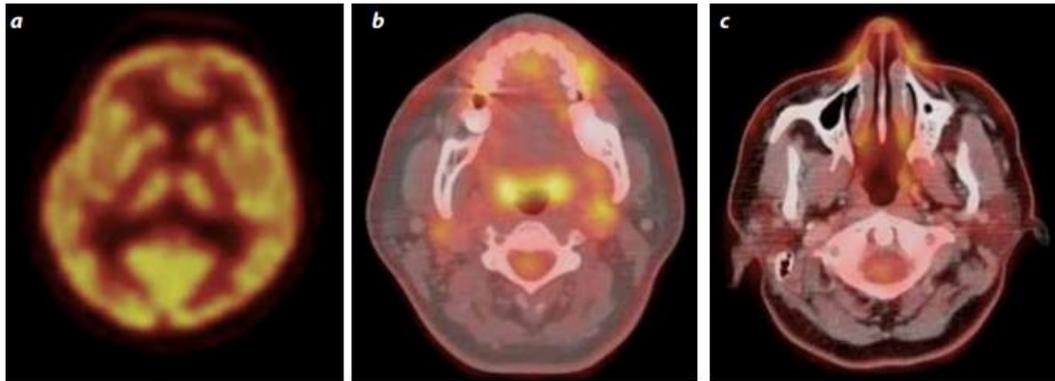
Debido a que el cerebro utiliza glucosa como sustrato para sus necesidades metabólicas, la corteza capta considerables cantidades de 18FDG, así como los núcleos de la base, los tálamos y el cerebelo. Los músculos oculares también presentan captación incrementada del radiotrazador. En cerebro no se utilizan los valores estandarizados de captación (SUVmax por sus siglas en inglés), debido al gran traslape entre el tejido sano y el tumoral. En su lugar se puede utilizar la relación tumor sustancia gris, sin embargo, el método semicuantitativo no ha probado ser mejor que el análisis visual tomando en cuenta la zona sospechosa (fusionado con un método anatómico de imágenes, que bien puede ser mediante tomografía computarizada o la resonancia magnética) y comparándola con el tejido sano contralateral.

Se sugiere utilizar la siguiente escala, tomando en cuenta que 1-4 son considerados patológicos.

**0** para ausencia de captación.

**1** para captación menor que en la corteza contralateral.

- 2 para captación igual que en la corteza contralateral.
- 3 para captación mayor que en la corteza contralateral, pero menor que en el resto del parénquima.
- 3 para captaciones mayores que en la corteza contralateral y que en el resto del parénquima. (24)



*Figura 9 Captación fisiológica del 18-FDG. a) corteza cerebral, núcleos basales y tálamo; b) y c) cuerdas vocales, anillo de Waldeyer, amígdalas palatinos. (25)*

#### **2.4.2.2 Anillo de Waldeyer**

Este anillo linfático representa una importante línea de defensa para nuestro organismo. Se encuentra formado por diversas estructuras interconectadas, como las amígdalas linguales, las palatinas y las faríngeas o adenoides; todas captan 18FDG en grado variable. (24)

#### **2.4.2.3 Glándulas salivales**

Las parótidas y las glándulas submaxilares también captan en grado variable la 18FDG y ésta se puede eliminar por la saliva. (24)

#### **2.4.2.4 Cuerdas vocales**

Los pacientes que hablan o subvocalizan durante el estudio con 18FDG pueden presentar captación, al igual que los músculos cricoaritenoides, que se encuentran posteriores a éstas. (24)

#### **2.4.2.5 Tiroides**

Puede presentar o no captación. La captación homogénea se puede relacionar con proceso inflamatorio local, como en las tiroiditis o el hipertiroidismo. (24)

#### **2.4.2.6 Grasa parda**

La captación de la grasa del área supraclavicular puede representar un problema al interpretar los estudios. La incidencia de la grasa parda se observa con mayor frecuencia en mujeres, y en ambos sexos durante los meses fríos. Otros sitios de presencia de grasa parda son el mediastino, el cuello, la grasa pericárdica y perirrenal, alrededor de los vasos largos del tórax y en las regiones subdiafragmática, intercostal y paravertebral. Se presenta de forma bilateral, simétrica y generalmente multifocal; ni la edad ni el SUVmax permiten hacer la diferenciación, únicamente en la tomografía computarizada se presenta una densidad de bajas unidades Hounsfield. En experiencia de los autores se ha observado incremento de los valores del SUVmax en la grasa parda en las imágenes tardías, incluso mayores a 50%.. (24)

#### **2.4.3 Valor de captación estándar**

El SUVmax es la cantidad de radiotrazador presente en una lesión según la dosis administrada; este valor se puede comparar entre controles

sucesivos, objetivando apreciaciones visuales. Es el índice semicuantitativo más usado en todos los centros PET del mundo. Sin embargo, se pueden encontrar ciertas limitaciones con dicho valor, ya que puede modificarse dependiendo de la concentración de glucosa sanguínea, el tamaño de las lesiones y el peso corporal del paciente, por lo que existen diferentes correcciones o normalizaciones para dichas variabilidades. La fórmula más utilizada para su determinación por peso del paciente es la siguiente:

$$\text{SUVmax} = \frac{{}^{18}\text{FDG (Bq/mL)} \times 1000}{{}^{18}\text{FDG (Bq/mL inyectada)} \times \text{Peso (Kg)}}$$

El nivel de corte más aceptado para diferenciar lesiones benignas de malignas es de 2.5 a 3.0 en tejidos blandos y de 2.0 a 2.5 en tejido óseo.

Existe una variabilidad entre instituciones, esto deberá entenderse de acuerdo con la preparación, tipo de instrucciones previas que se les da a los pacientes, inclusive a la temperatura en que está la pieza donde se toma la PET-TC. Por otro lado, existen tumores que por naturaleza captan SUV alto, por ejemplo, tumores benignos de glándulas salivales y otros que por naturaleza captan bajo, como los sarcomas. Esto es independiente de si una lesión será definida definitivamente como maligna o benigna con la histología. Por otra parte, existe una variabilidad entre los tumores malignos en su captación, como los tumores escamosos y linfomas que tienen alta tasa metabólica.

El SUV debe interpretarse dependiendo de la estructura que estamos estudiando. Por ejemplo, un SUV de 4 en parótida puede no ser muy sospechoso pero un SUV de 4 en una adenopatía de 1 cm, sí lo es.

Desde el punto de vista de dosimetría y seguridad radiológica tanto para el paciente, como para el personal ocupacionalmente expuesto y público en general, la técnica PET/CT se puede realizar cuantas veces el médico tratante lo considere necesario, previa valoración del riesgo beneficio en conjunto con el médico nuclear. (26) (27)

## **CAPÍTULO III**

### **Protocolo para realizar el estudio PET/TC**

#### **3.1 Preparación del paciente**

*Alimentación:* Se requiere de un ayuno de 4 horas; esto incluye tanto alimentos o bebidas, sólo agua sin carbohidratos 4 horas antes del estudio. Es importante la nula ingesta de carbohidratos, pues recordemos que el radiofármaco  $^{18}\text{F}$ FDG que es el más utilizado en este estudio, es análogo de la glucosa por lo que, si se ingieren alimentos o bebidas con carbohidratos, puede haber una alteración en los resultados.

*Medicamentos:* Los pacientes que requieren de tomar medicamentos, pueden hacerlo de manera regular, solo con agua libre de carbohidratos.

*Pacientes diabéticos:* Si se requiere de insulina, no se debe administrar insulina el día del estudio. Previo al estudio se realiza una toma de medida de glucemia, donde el resultado debe ser menor a 120 mg/dl para poder continuar con el procedimiento; la hiperglucemia aumenta la captación miocárdica y muscular. Si se utiliza Metformina, se debe suspender 24 horas previas al estudio.

*Pacientes con enfermedad renal:* En estos casos, se debe realizar un estudio de Creatinina, para evaluar el uso del medio de contraste.

*Actividad física:* Se debe limitar la actividad física 24 horas antes del examen; tanto realizar deportes, masajes, o levantar objetos pesados. Esto con el fin de reducir la captación muscular.

*Vestimenta:* Se debe utilizar vestimenta cómoda y libre de metal.

El paciente debe estar recostado, con temperatura e iluminación lo suficientemente confortable, de esta manera se facilita el reposo sensorial y motor y así evitar la captación muscular, para que el estudio sea fiable y de calidad. Esta condición se mantendrá antes y después de la administración del radiofármaco, así como en la adquisición del estudio que en promedio es de 1 hora: (18)

### **3.2 Posicionamiento del paciente en el tomógrafo**

Antes de la realización del estudio, el paciente se debe retirar cualquier objeto de metal que interfiera con la transmisión del rastreo.

Se posicionará al paciente cómodamente en la mesa de exploración con ambos brazos levantados por encima de la cabeza (Fig. 10). La práctica habitual de TC utiliza aditamentos como soportes en rodillas, cabeza, cuello y brazos, con el propósito de evitar cualquier movimiento involuntario durante el estudio. (28)



*Figura 10 Posicionamiento del paciente en el tomógrafo (29)*

### 3.3 Adquisición de estudio PET/TC

#### 3.3.1 Adquisición de la TC

El rastreo se inicia con la obtención de una radiografía digital del paciente, obtenida durante el movimiento continuo de la camilla, con el tubo de rayos X ensamblado comúnmente en posición frontal o lateral.

Es así como se consigue una imagen muy parecida a la de Rayos X convencionales y esta radiografía se utiliza como una guía que define el rango de evaluación de la PET-TC.

Los marcadores visuales para la medición del campo transversal de visión de la TC y de la PET, se despliegan en el topograma (Figura 11). Estos marcadores son una guía para asegurar que todas las partes del cuerpo están dentro de este campo de visión transversal de la TC. Después de la definición del rango de imagen coaxial, la mesa en la que se encuentra el paciente se mueve automáticamente dentro del campo de visión de la TC para el rastreo de transmisión, este procedimiento tiene una duración de aproximadamente un minuto. (28)



*Figura 11 Radiografía digital. Topograma (28)*

### 3.3.2 Adquisición del PET

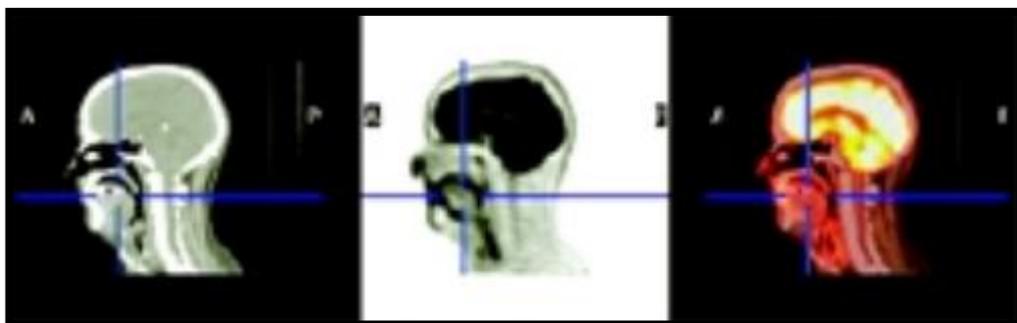
Cuando finaliza la transmisión con la TC, la mesa del paciente se desliza de forma automática al campo de visión de la PET. De esta manera da inicio el estudio de emisión en dirección caudo-craneal; comenzando en el tercio superior de los muslos. El rastreo dura entre 10 y 30 minutos. (28)

### 3.3.3 Protocolo especial para cabeza y cuello

En la zona de cabeza y cuello, es muy común tener pequeños movimientos del paciente entre el tiempo de adquisición de la PET y la TC (Fig. 12), por lo que para ampliar la alineación entre PET y TC se realiza un protocolo de cuello-torso.

Inicialmente se obtiene un rastreo del tercio medio de los muslos, hasta el inicio del cuello, esto con los brazos posicionados hacia arriba. Posteriormente se solicita al paciente que coloque los brazos cerca del tronco para continuar con el rastreo de cabeza y cuello.

Con este protocolo el paciente puede levantarse de la mesa, entre las dos evaluaciones, si es necesario.



*Figura 12 Imagen de cabeza y cuello con protocolo especial. (28)*

### **3.4 Reconstrucción y análisis de imágenes**

#### **Reconstrucción**

Este procedimiento, está basado en un sistema de algoritmos de reconstrucción que poseen los equipos PET-TC.

La reconstrucción es simultánea a la adquisición de la emisión. Las imágenes de TC están listas para la atenuación, desde antes del término del primer rastreo, ya que se obtienen en menos de un segundo. Justo después de conseguir el último rastreo de PET, las imágenes de emisión están listas y unidas dentro del volumen de todo el cuerpo. (15)

#### **Análisis de imágenes**

Para la valoración, se utilizan las imágenes obtenidas con TC, PET corregida y no corregida. Se utiliza un software estándar del aparato PET-TC para la fusión de éstas y permite estudiar cualquiera de las imágenes ya sea de volumen individuales y fusionadas, así como tener una visión de lado a lado.

## CAPÍTULO IV

### Tumores de cabeza y cuello

#### 4.1 Cáncer de cabeza y cuello

El cáncer de cabeza y cuello es un grupo de tumores malignos localizados en senos paranasales, nasofaringe, orofaringe, hipofaringe, laringe, cavidad oral y glándulas salivales. (30)

Aproximadamente entre un 3 -5 % de los tumores malignos, corresponde al cáncer de cabeza y cuello. De éstos, más del 90% está representado por los carcinomas escamosos o epidermoides; los cuales, son tumores agresivos con gran predisposición a invadir el sistema linfático regional. Frecuentemente ocurren recidivas locorregionales (es decir, una nueva lesión en la misma zona donde se encontraba el tumor de origen), así como segundos tumores primarios, o metástasis. Además del carcinoma epidermoide, pueden desarrollarse adenocarcinomas, sarcomas y linfomas. (30) (31)

*Tabla 3 Sitios más y menos comunes del cáncer de cabeza y cuello, según Bradley A. Schiff. (31)*

Sitios más comunes		Sitios menos comunes
Laringe	→ Supraglotis, glotis y subglotis.	Nasofaringe
Cavidad Oral	→ Lengua, piso de boca, paladar duro, mucosa oral y rebordes alveolares.	Cavidad nasal
Orofaringe	→ Paladar blando, amígdalas, base de la lengua, paredes faríngeas posterior y lateral	Senos paranasales Hipofaringe

En su ensayo pictórico y revisión literaria, Víctor A. Ortega M., clasifica los tumores de cabeza y cuello más frecuentes, según su localización, en suprahioides e infrahioides, esto con fines didácticos para su estudio, véase Tabla 4 y 5.

*Tabla 4 Tumores más frecuentes del espacio suprahioides. (25)*

<b>Espacios suprahioides</b>	<b>Tumores</b>
<b>Parafaríngeo</b>	Ganglios metastásicos.
<b>Faríngeo</b>	Escamocelular de nasofaringe y amígdalas. Maligno de la glándula salival menor, linfoma no Hodgkin, adenoide y amígdala (MALT).
<b>Masticador</b>	Sarcoma: Osteo/condrosarcoma
<b>Carotídeo</b>	Paraganglioma. Schwannoma, noveno y decimosegundo nervios craneales, neurofibroma.
<b>Parotídeo</b>	Carcinoma adenoide quístico y mucoepidermoide. Metástasis a la parótida. Tumor benigno mixto y tumor de Warthin.
<b>Bucal</b>	Epidermoide de lengua. Desplazamiento por masas.
<b>Retrofaríngeo</b>	Metástasis ganglionares (escamocelular, linfoma no Hodgkin y sistémicas).
<b>Prevertebral</b>	Ganglios metastásicos.
<b>Paravertebral</b>	Schwannoma, plexos braquiales, metástasis en cuerpos vertebrales.

*Tabla 5 Tumores más frecuentes del espacio infrahioideo (25)*

<b>Espacios infrahioideos</b>	<b>Tumores</b>
<b>Visceral</b>	Carcinoma de tiroides, linfoma no Hodgkin de tiroides, carcinoma del esófago cervical, adenoma de paratiroides.
<b>Cervical anterior</b>	Metástasis ganglionares.
<b>Cervical posterior</b>	Metástasis: escamocelular de faringe, Linfoma no Hodgkin, carcinoma de tiroides y metástasis sistémicas.

Aunque la incidencia del cáncer de cabeza y cuello es mayor en adultos de entre 50 y 70 años, el número de casos en jóvenes ha ido aumentando, a causa tanto del VPH, como del tabaquismo, esto según el MD. Bradley A. Schiff, del Centro Médico Montefiore. (31)

## **4.2 Etiología**

Casi el 85% de pacientes con cáncer de cabeza y cuello, tienen como antecedentes el tabaquismo o alcoholismo. Una persona con tabaquismo tiene una mayor probabilidad de desarrollar cáncer.

Además del hábito del tabaco, la exposición a los rayos solares, la radiación en cabeza y cuello previa, algunas infecciones virales, candidiasis crónica, la mala higiene bucal, una mala alimentación con déficit de vitamina A y C y hasta un mal ajuste de prótesis dentales, pueden influir en el desarrollo de estas patologías. (30) (31)

La infección por el virus del papiloma humano (HPV), está muy relacionado con el cáncer orofaríngeo.

Los tratamientos mediante radiación para el acné, así como para el exceso de vello corporal, el aumento de tamaño de las amígdalas y las adenoides con hipertrofia, son un factor predisponente sobre todo a cáncer de tiroides y glándulas salivales, así como tumores benignos en dichas glándulas.

En el caso del cáncer nasofaríngeo, el virus de Epstein Barr puede ser participe en la patogenia. (30)

### **4.3 Signos y síntomas**

Los signos y síntomas de los tumores de cabeza y cuello dependen tanto de la localización, como de la extensión del tumor. Sin embargo, hay manifestaciones iniciales comunes que pueden incluir lo siguiente:

- Úlceras mucosas dolorosas
- Lesión mucosa visible
- Disfonía
- Disfagia

Los síntomas más comunes pueden comprender lo siguiente:

- Dolor
- Parestesia
- Parálisis nerviosa
- Trismo
- Halitosis

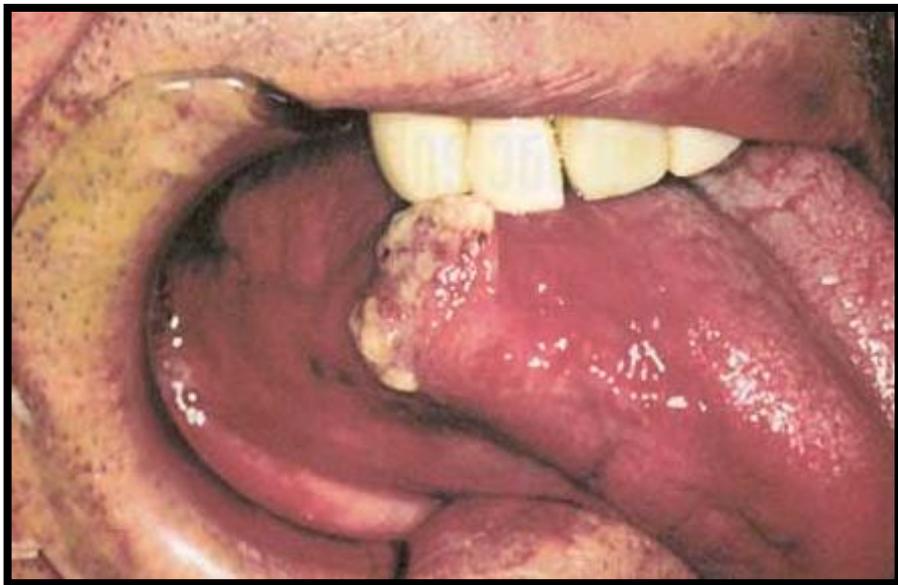
- Otolgia, que podría representar el dolor referido del tumor primario.
- Pérdida de peso, por las alteraciones en la alimentación

## 4.4 Diagnóstico

### 4.4.1 Evaluación clínica

Para detectar cáncer de manera precoz y antes de que el cáncer sea sintomático, se debe realizar una exploración física sistemática, incluyendo un examen bucal preciso.

Con los pacientes que tengan cualquier síntoma en cabeza y cuello y que éstos persistan por más de 2 a 3 semanas, se debe realizar interconsulta con un especialista inmediatamente para su evaluación (Fig, 13).



*Figura 13 Caso clínico del Esp. Luis Manuel Junquera Gutiérrez. Aspecto intraoral de neoplasia lingual. Paciente masculino de 67 años, con tumoración en borde lateral derecho de la lengua, de tres meses de evolución.*

#### **4.4.2 Biopsia**

La biopsia ayuda a tener un diagnóstico definitivo. Para los tumores de cuello, se requiere de una aguja fina para realizar aspiración; esta opción no afecta el posible tratamiento, como la biopsia abierta.

Con las lesiones orales, se realiza una biopsia incisional; en cambio, para las lesiones tanto de la nasofaringe, como orofaringe o laríngeas, se realiza una biopsia endoscópica.

#### **4.4.3 Estudio imagenológico**

Los estudios imagenológicos, TC, RM o en este caso, PET-TC, son los métodos auxiliares de diagnóstico para determinar la extensión del tumor, así como la afectación de las estructuras y la diseminación que pudiera haberse desarrollado.

#### **4.5 Estadiaje**

Para poder determinar el estadiaje del cáncer se necesita de algunos factores como el tamaño y sitio del tumor primario, número y tamaño de las metástasis a los ganglios linfáticos cervicales y por último la evidencia de metástasis a distancia.

Es en este rubro, en donde es de suma importancia el estudio PET-TC, pues a través de estas imágenes se puede establecer el estadio del tumor.

Existen dos tipos de estadificación, la clínica y la anatomopatológica; en el caso de la primera, se justifica en los resultados del examen físico, así como en pruebas realizadas previas a la cirugía. Por su parte, para la

estadificación anatomopatológica, se observan las características anatomopatológicas del tumor primario y número de ganglios positivos localizados durante la cirugía: (31)

Hay varios sistemas de clasificación, aunque el más utilizado es el TNM de la Unión Internacional contra el Cáncer (UICC):

T: Tamaño tumoral.

N: Diseminación a los ganglios linfáticos regionales.

M: Desarrollo de metástasis a distancia. (30)

#### Sistema de estadificación de tumores en cavidad oral:

Tis	Carcinoma en situ
T1	Tumor < 2 cm en su dimensión mayor
T2	Tumor > 2 cm, pero < 4cm en su dimensión mayor
T3	Tumor > 4 cm en su dimensión mayor
T4	Tumor que invade estructuras adyacentes (por ejemplo, hueso cortical, musculatura extrínseca de la lengua, seno maxilar o piel).

#### Ganglios linfáticos regionales

- N0 No hay metástasis en los ganglios linfáticos regionales
- N1 Metástasis en un único ganglio linfático homolateral < 3 cm
- N2a Metástasis en un único ganglio linfático ipsilateral > 3 cm, pero < 6 cm
- N2b Metástasis en más de un ganglio linfático ipsilateral, ninguno > 6 cm.

- N2c Metástasis en ganglios linfáticos bilaterales o contralaterales, ninguno > 6 cm
- N3 Metástasis en un ganglio linfático > 6 cm

#### Enfermedad metastásica

- M0 No hay evidencia de metástasis a distancia
- M1 Evidencia de metástasis a distancia

### **4.6 Pronóstico**

El pronóstico del cáncer de cabeza y cuello tiene una estrecha relación con el estadiaje del tumor, pues debe tener en cuenta la localización primaria, la presencia de metástasis regional o a distancia. Desde luego que el pronóstico será más favorable si hay una detección temprana del tumor, así como un acertado y oportuno tratamiento

Cuando existe una diseminación a ganglios linfáticos, regularmente el pronóstico ya no es tan favorable. También puede ocurrir una metástasis a distancia, donde con mayor frecuencia es a los pulmones y en pacientes con cáncer avanzado, esta condición tiene un pronóstico desfavorable. <sup>(30)</sup>

### **4.7 Tratamiento**

El tratamiento del cáncer de cabeza y cuello es complejo y requiere de una planificación multidisciplinaria. Los pacientes deben ser evaluados por especialistas incluyendo radiólogos y patólogos para tener una mayor precisión en el plan y coordinación del tratamiento (Fig. 14).

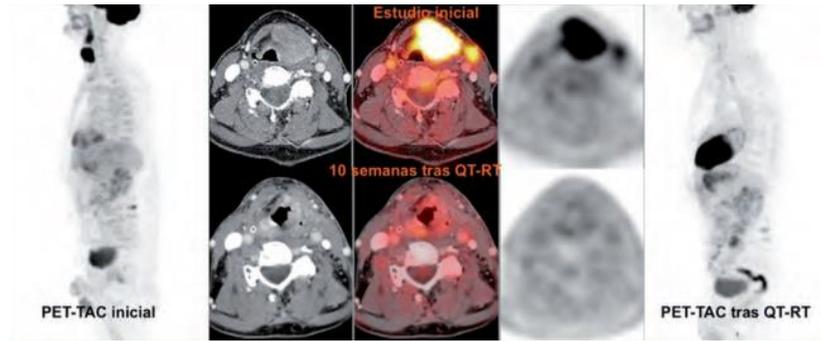
Principalmente se requiere de cirugía y radiación, ya sea que utilicen de manera individual o combinadas con quimioterapia. Es importante mencionar que la quimioterapia no se utiliza como tratamiento primario, ésta se utiliza con tumores quimiosensibles o con pacientes con metástasis general.

Hay tumores que, sin importar su localización, se pueden tratar con cirugía o con radioterapia y para decidirlo, influye la decisión del paciente. Sin embargo, hay zonas en las que sólo puede tratarse con una opción y se pone de ejemplo al cáncer en cavidad oral, donde la opción más viable es la cirugía, ya que la radioterapia causaría una osteorradionecrosis mandibular.

Cada vez es más frecuente el empleo de la cirugía endoscópica en este tipo de cáncer, debido a que los resultados son bastante similares y en ocasiones hasta mejores que con la cirugía convencional.

Cuando un tumor ya se encuentra en estadio avanzado, se requiere de varias técnicas terapéuticas, donde se incorpora la quimioterapia, radioterapia y cirugía (Fig. 14).

En la involucración de hueso y de cartílago, es importante la resección mediante cirugía, del sitio primario y de los ganglios linfáticos regionales, pues hay una alta probabilidad de diseminación y posteriormente se realiza radioterapia a los ganglios linfáticos cervicales. <sup>(30)</sup>



**Figura 14** Caso clínico del Dr. Pingarrón, J.A. Carcinoma epidermoide de laringe tratado con QT y RT. Se realizó la PET-TC a las 10 semanas de finalizar el tratamiento y se mostró respuesta completa, tras microcirugía laríngea con toma de biopsia y vaciamiento cervical izquierdo funcional. (32)

## **CAPÍTULO V**

### **Identificación de tumores en cabeza y cuello a través del estudio PET- TC**

#### **5.1 Estadificación inicial**

El proceso de estadificación consiste en que los médicos tratantes, evalúan si el cáncer diagnosticado se ha propagado y de ser así, a qué distancia.

Se ha descrito que la PET-TC puede detectar al tumor primario, incluso si la biopsia tiene resultados negativos, o que el cáncer tiene una mayor extensión que la observada en la exploración física u otros auxiliares de diagnóstico por imagen, sin embargo, en zonas de difícil acceso como lo es la cavidad oral se requiere de un diagnóstico histológico previo al estudio PET-TC, por lo que éste sólo dará información mínima respecto al tumor primario.

En el manejo terapéutico adecuado, la influencia de la delimitación del tumor primario y de la metástasis ganglionar es primordial.

La decisión de poder realizar la remoción quirúrgica del tumor depende de su extensión; la PET-TC tiene una mayor precisión en la estadificación, por lo que es importante ya que esto puede repercutir en las modificaciones del tratamiento. (33)

##### **5.1.1 Sensibilidad y especificidad**

Cuando se utiliza el término de sensibilidad, se habla de la probabilidad de que la prueba especial sea positiva para una lesión; es decir, es la capacidad de la prueba para poder detectar dicha lesión. Por lo tanto, se

debe describir a los verdaderos positivos y los falsos negativos; donde un verdadero positivo es cuando la prueba arroja un positivo y realmente lo es y el falso negativo es donde el prueba identifica un resultado negativo y realmente no lo es.

Ahora bien, la especificidad, es la probabilidad de que la prueba arroje resultados negativos en personas sanas; dicho en otras palabras, que la prueba dé negativa en ausencia de lesión. En este caso existen los verdaderos negativos y los falsos positivos; respecto al primer concepto, un verdadero negativo es cuando la prueba identifica como negativo, pero realmente lo es y en el segundo, es cuando hay resultados positivos, sin embargo, no lo son.

Las pruebas o estudios, para ser completamente perfectos, deberían tener un 100% tanto de sensibilidad, como de especificidad; sin embargo, esto no es posible y un estudio se considera bueno cuando tanto la sensibilidad como la especificidad, superan el 80%.

En el caso del cáncer, donde hay un gran problema con los falsos negativos, se requieren estudios de alta sensibilidad.

Se estima, que el PET-TC, en cabeza y cuello tiene una sensibilidad de 70-95%, dependiendo del contexto en el que se solicite el examen.

Respecto a metástasis regionales, si el cuello es N+ la sensibilidad es de 80% y la especificidad es de 86%; si el cuello es N0, la sensibilidad será de 50% y la especificidad de 87%.

### **5.1.2 Nasofaringe e hipofaringe**

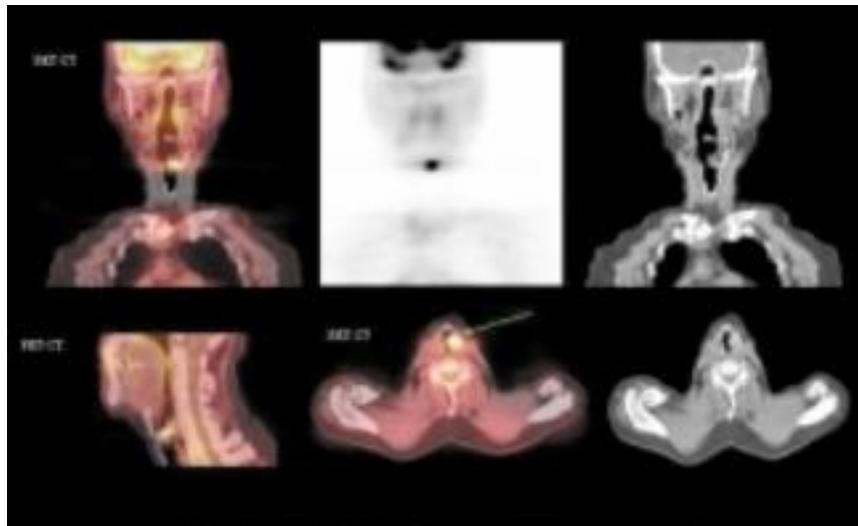
Se ha observado, que las lesiones de la hipofaringe tienen una alta probabilidad de metástasis regional y a distancia. Asimismo, en las lesiones

de la nasofaringe, se recomienda de forma inicial el PET-TC, desde los estadios I y II, debido al alto índice de metástasis tempranas y su desarrollo en zonas como la retrofaringe, donde la interpretación se dificulta. El tratamiento en primera instancia es quirúrgico.

### 5.1.3 Tumor primario

Se llama tumor primario, al primer tumor en el cuerpo y del cual sus células cancerígenas se pueden diseminar a otras partes del cuerpo, ocasionando así una metástasis, así como formar nuevos tumores, los cuales son nombrados tumores secundarios (Fig.15).

En esta etapa, el PET-TC tiene un mínimo impacto en la estadificación T de tumores de cabeza y cuello.



*Figura 15 Localización de lesión maligna primara en cuerda vocal izquierda. (33)*

## **5.2 Metástasis ganglionares**

Es de suma importancia recopilar la mayor información respecto a la enfermedad ganglionar, sobre todo si es unilateral o bilateral, si ya hubo una ruptura de la cápsula y su extensión a tejidos adyacentes.

El PET-TC realiza una detección de la infiltración ganglionar tumoral, ya que en este criterio para el diagnóstico no depende del tamaño de los ganglios, sino del metabolismo del FDG dentro de ellos.

No obstante, permite la localización exacta de los ganglios afectados y ayuda a definir las características de ganglios con tamaño menor a 15 mm.

Siempre se realiza una confirmación histológica de los resultados, esto por la posibilidad de un resultado falso positivo.

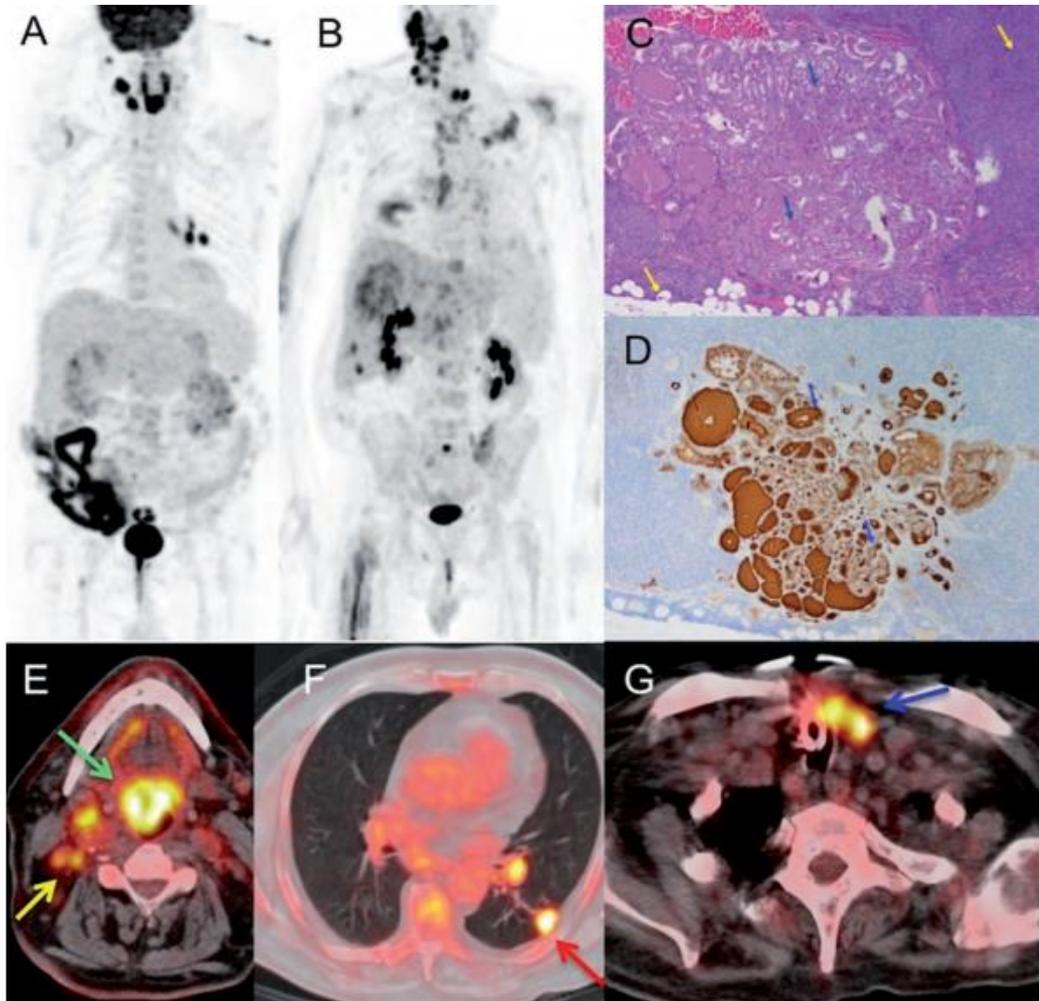
La biopsia selectiva del ganglio centinela, que es el primer ganglio al que drena un tumor, que resalta la limitación de este estudio frente a metástasis menores a 5 mm. Por esta razón, el PET-TC no elimina el mapeo con biopsia, sino que ayuda a dirigirla específicamente.

Las metástasis ganglionares que tienen un componente quístico o necrótico captan una menor cantidad de FDG e incluso pueden tener una nula captación, causando esto un diagnóstico falso negativo.

## **5.3 Metástasis a distancia**

Según un estudio de Fernando Arias de la Vega, localización de una metástasis a distancia en un diagnóstico inicial tiene una variación de 2% al 18%, que es una incidencia bastante baja. A pesar de esto, el riesgo de localizar una metástasis a distancia con mayor incidencia en pulmón, hueso e hígado en un diagnóstico inicial aumenta en los pacientes con un estadio T alto, o con infiltración metastásica ganglionar (Fig. 16).

Los nódulos pulmonares en pacientes con cáncer localmente avanzado, o con metástasis ganglionar, ubicada en cadenas de ganglios inferiores, tienen una mayor probabilidad a ser metastásicos.



**Figura 16** Caso clínico del Dr. Pingarrón. Paciente masculino de 66 años con leucemia linfática crónica, acude a consulta por odinofagia y otalgia. Se observa lesión ulcerada en valleculeta derecha y adenopatía cervical derecha. En biopsia, el diagnóstico fue carcinoma epidermoide. En PET-TC, múltiples depósitos de FDG en valleculeta derecha y supraglotis y en múltiples adenopatías cervicales bilaterales (E), en nódulo pulmonar y en adenopatías mediastínicas (F), axilares y abdomino-pélvicas. Todos los ganglios estaban afectados por LLC, en región cervical izquierda eran metástasis de CE y en región cervical izquierda correspondió a metástasis de carcinoma de tiroides, con expresión de tiroglobulina mediante inmunohistoquímica (D). Tratamiento con carboplatino y paclitaxel. La siguiente PET-TAC (B), confirmó afectación masiva ganglionar, hepática y ósea y se apreciaron dos nódulos tiroideos en relación con tumor primario (G). (32)

## **5.4 Segundos tumores primarios**

El término de segundo tumor primario se refiere a un nuevo tumor primario, pero en un paciente con antecedentes de cáncer. Estos tumores pueden aparecer meses o años después del primer diagnóstico y tratamiento. La radioterapia, el hábito del tabaco y el alcohol pueden ser factores para el desarrollo de éste. Respecto al consumo elevado del tabaco y del alcohol, el riesgo de tener un segundo primario en pulmón, vías aéreas y digestivas superiores aumenta, ya que son la áreas expuestas a estas sustancias.

Fernando Arias de la Vega, señala que un paciente con cáncer escamoso de cabeza y cuello tiene una probabilidad de 7.4 a 18% de presentar un segundo tumor primario. Asimismo, describe que la capacidad del PET-TC para detectar segundos tumores primarios tiene una sensibilidad del 87% y una especificidad de 95%.

## **5.5 La PET-TC en planificación de radioterapia**

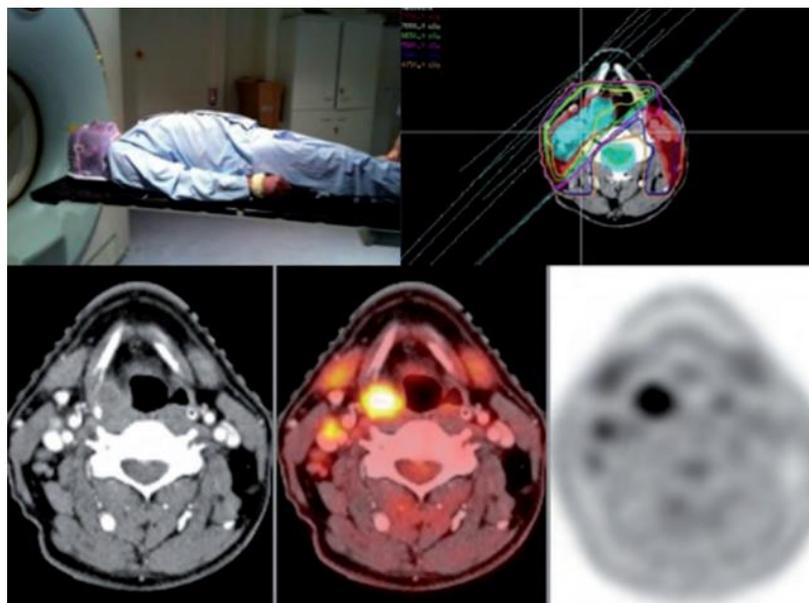
La radioterapia, es un tratamiento muy importante en los tumores de cabeza y cuello. Como se había mencionado en el capítulo anterior, se puede utilizar únicamente la radioterapia o en combinación con quimioterapia y/o cirugía; la mayoría de los pacientes con este tipo de padecimiento requiere este tipo de tratamientos.

Es de suma importancia una adecuada planificación, pues es una zona compleja. En primera instancia debe haber una correcta delimitación de los volúmenes a irradiar, para lo cual la PET-TC es de gran ayuda para tener una mejor definición de las áreas con afectación tumoral (Tabla 6). Esta característica de una gran precisión en la delimitación favorece en las modalidades de radioterapia de intensidad modulada y radiocirugía estereotáctica (Fig. 17); la primera consiste en haces de radiación variable donde se concentra mayor cantidad en el volumen tumoral y menor radiación en los tejidos sanos y la segunda se trata de una radioterapia no

quirúrgica, donde la radiación es dirigida de forma precisa ayudando a conservar el tejido sano.

**Tabla 6 Definición de volúmenes de irradiación externa. (32)**

<b>Volumen tumoral grueso (GTV)</b>	<b>Enfermedad visible macroscópicamente</b>
<b>Volumen tumoral clínico (CTV)</b>	GTV + regiones con posible enfermedad microscópica
<b>Volumen tumoral de planificación (PTV)</b>	CTV + margen que lo rodea para contemplar variaciones en posicionamiento y movimientos como la respiración
<b>Volumen de tratamiento (VT)</b>	Es el que recibe la dosis prescrita (incluye al PTV)
<b>Volumen irradiado</b>	Rodea al VT y recibe más del 20% de la dosis prescrita



**Figura 17 Caso clínico del Dr. Pingarrón J.A. Utilización de la PET-TAC en la planificación de la radioterapia en paciente con carcinoma epidermoide de seno piriforme derecho, localmente avanzado. (6)**

## **5.6 Re-estadificación en pacientes tratados**

La aplicación más importante de la PET-TC justamente es la localización de recidivas en el tratamiento oncológico. Se destaca la superioridad de la imagen metabólica de este estudio, frente a la anatómica, para el estudio de los cambios en los tejidos debido a los tratamientos con cirugía o radioterapia.

Cuando se realiza un tratamiento oncológico, el tejido sano va a sufrir cambios con fibrosis y la exploración física dificulta la detección de una recidiva. Como alternativa, se puede utilizar la quimio-radioterapia en tumores de laringe, orofaringe e hipofaringe, para poder preservar el órgano, en los tumores que no se pueden extirpar con cirugía, y en casos donde el manejo con ese tratamiento puede ser más viable que la cirugía.

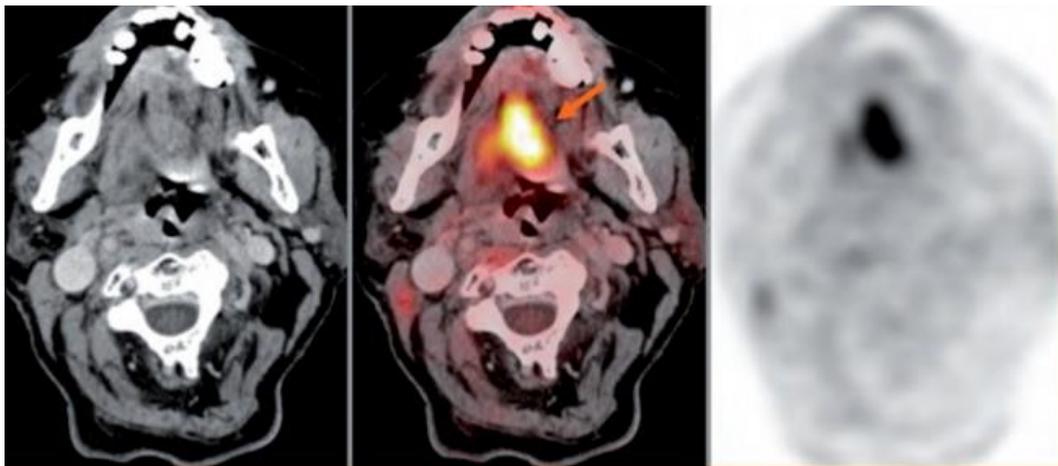
Podría haber un resultado falso positivo, a causa de inflamación posterior a la radioterapia, por lo que es conveniente esperar alrededor de 3 a 4 meses tras el término del tratamiento, para poder realizar una PET.

En los primeros 2 años de seguimiento, hay una gran incidencia de recidiva en cáncer de cabeza y cuello; una detección precoz es de suma importancia, para tener un plan de tratamiento adecuado. Con los cambios en los tejidos por tratamiento previo, se dificulta el diagnóstico por imagenología convencional y biopsia.

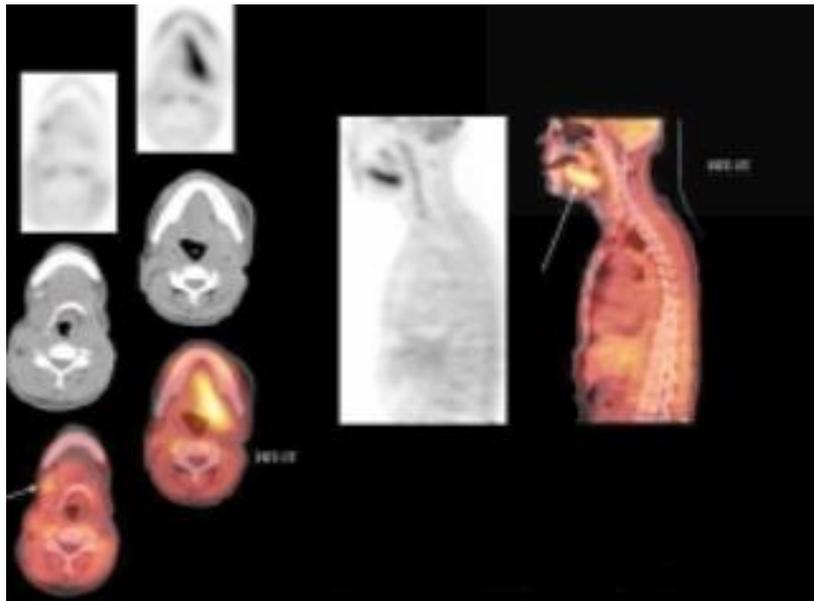
La PET-TC tiene una sensibilidad del 90-100% para la detección de recidivas, de manera que se podría pensar en que sea el único método de diagnóstico para una re-estadificación; por otro lado, presenta una especificidad del 63-94%, de manera que, si los resultados son positivos, debe corroborarse con una biopsia. La imagen otorgada por la PET-TC es de gran ayuda para guiar la biopsia de manera más exacta.

Schöder y Cols realizaron un estudio para la evaluación de la tecnología PET-TC; en este, evaluaron a 68 pacientes con cáncer de cabeza y cuello, 44 de estos pacientes, tenían sospecha de recidiva. Valoraron 157 lesiones donde la PET-TC tuvo una exactitud de 96%, mientras que la PET solo tuvo el 90%. No obstante, este estudio híbrido también logró detectar de manera correcta 100 lesiones, disminuyó por la mitad las lesiones con diagnóstico equivocado y el manejo del paciente cambió en 18% de los casos.

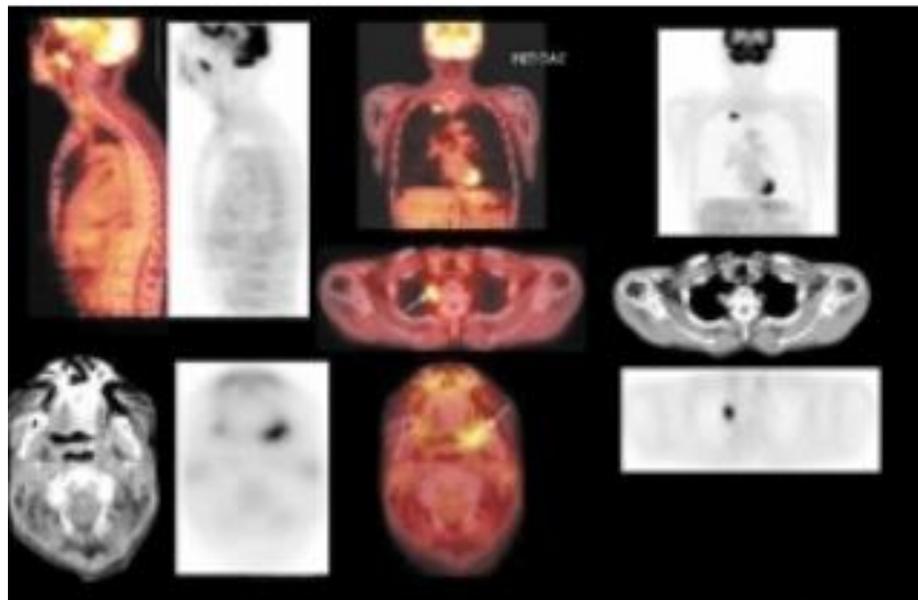
A continuación, en las Fig. 18- 26 se presentan diversos casos clínicos, donde se muestra el uso de la PET-TC en diversas estadificaciones de los tumores de cabeza y cuello.



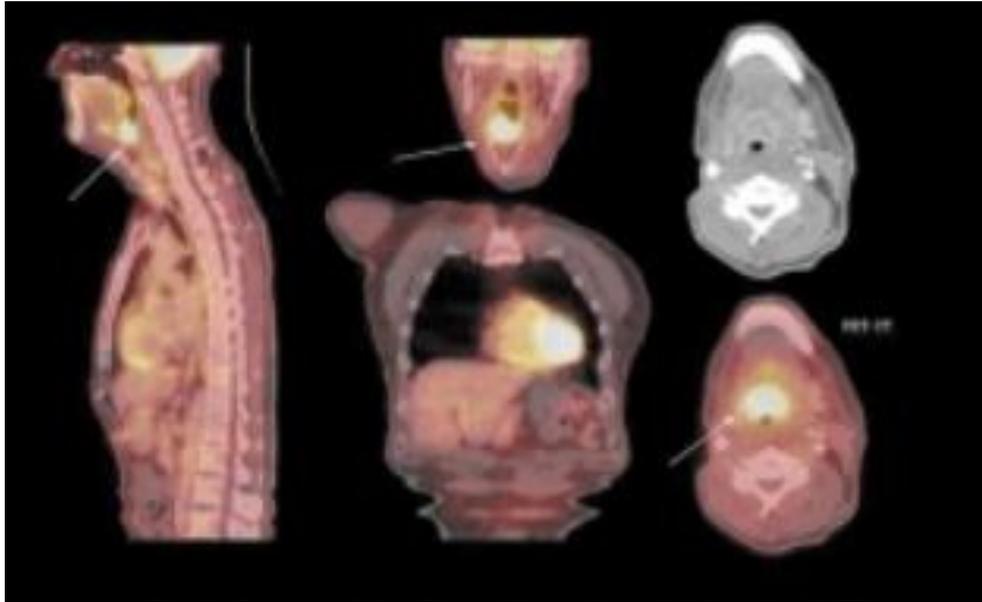
*Fig. 18 Caso clínico del Dr. Pingarrón, J.A. Recidiva local detectada con la PET-TC de carcinoma epidermoide de lengua, tratado con cirugía y posteriormente con QT y RT. (32)*



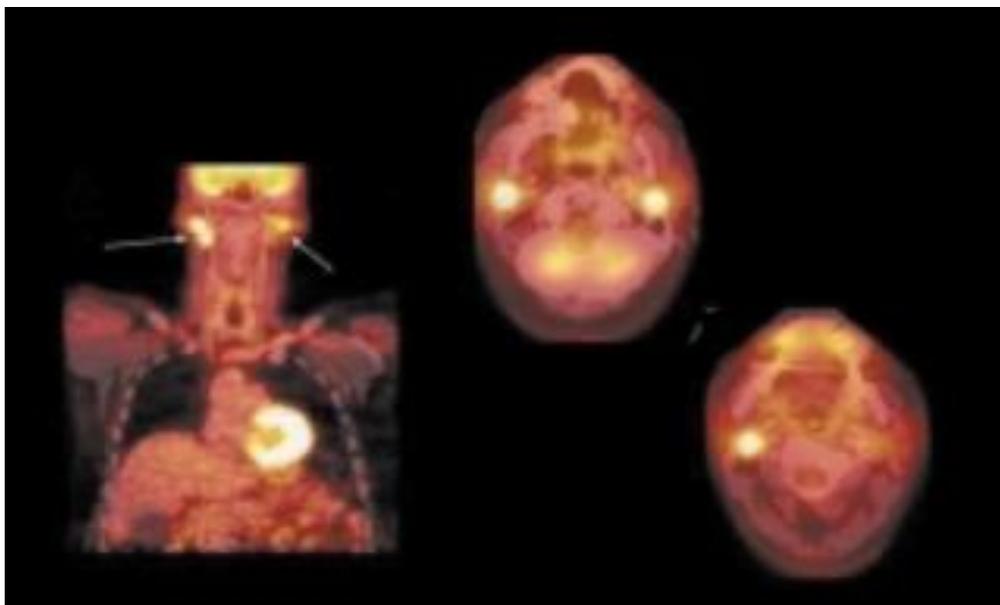
*Figura 19 Caso clínico de Maldonado A. Cáncer de lengua tratado con quimio-radioterapia. La CT muestra recurrencia con extensión a laringe, la PET-TC demuestra recurrencia local con afectación de hioides, pero no de laringe (33)*



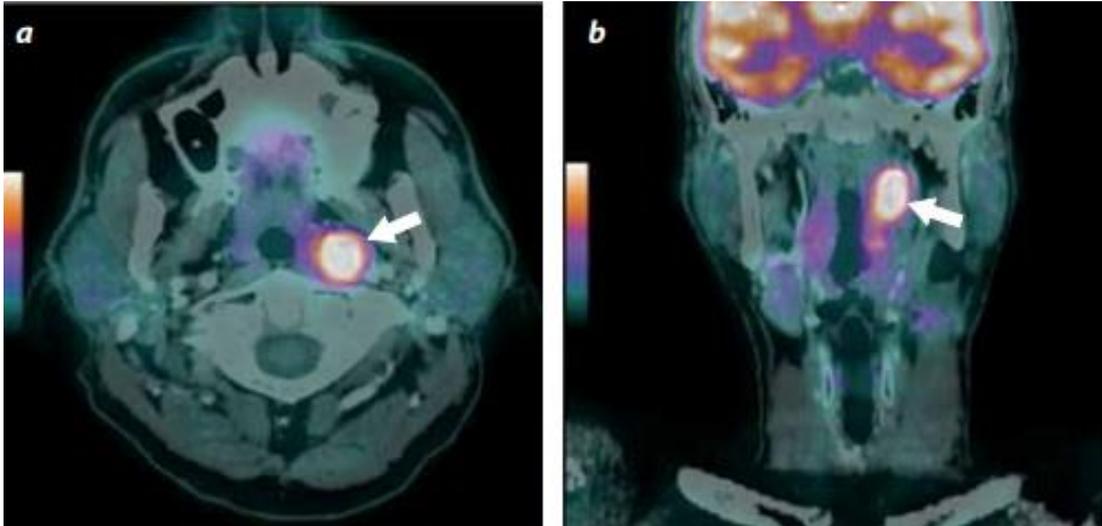
*Figura 20 Caso clínico de Maldonado A. Cáncer de orofaringe con afectación ganglionar. Sospecha de recurrencia. La TC no tiene hallazgos neoplásicos, la PET-TC detecta actividad tumoral en trigono retromolar y ápex derec<sup>ho</sup>. (33)*



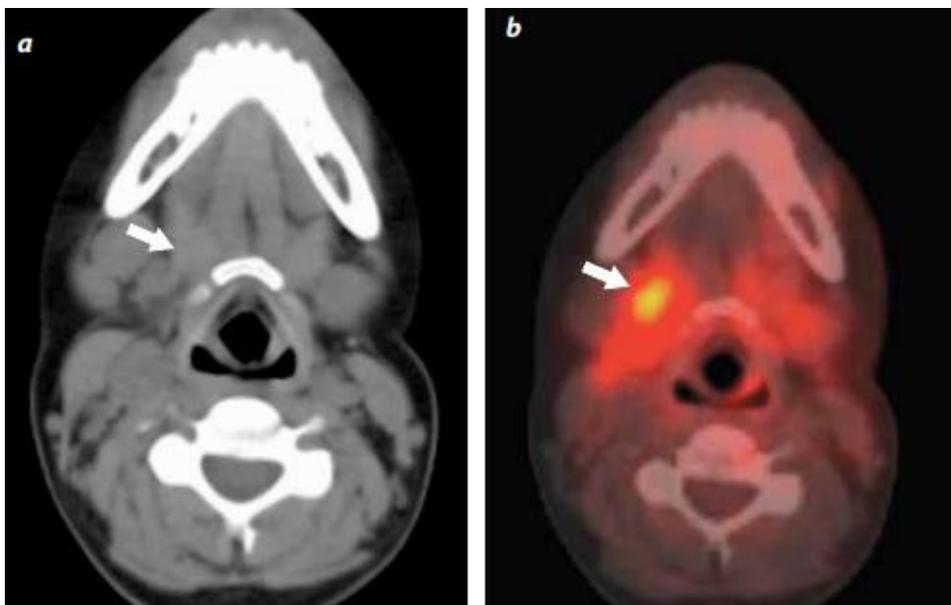
*Figura 21 Caso clínico de Maldonado A. PET-TC de carcinoma escamoso de base de lengua, con recidiva tumoral de alto grado. (33)*



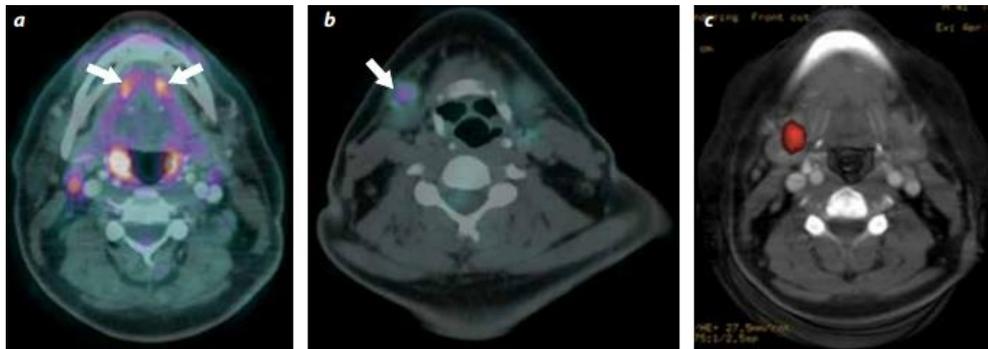
*Figura 22 Caso clínico de Maldonado A. Oncocitoma de glándula salival previamente sometido a cirugía Afectación ganglionar latero-cervical de predominio derecho en PET-CT. (33)*



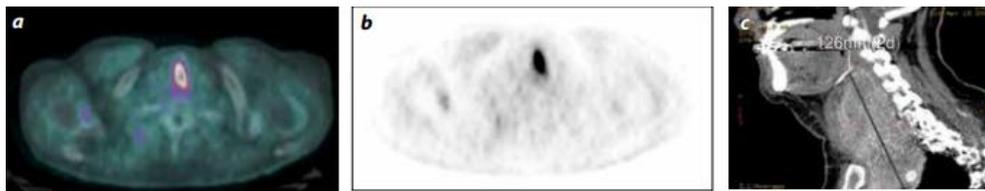
**Figura 23** Caso clínico de Ortega V. Tumor escamocelular de la nasofaringe. Hombre de 75 años, con lesión de 18 × 22 mm en el espacio retrofaríngeo y parafaríngeo izquierdo, SUVmax de 12,2. Ganglio cervical de 20 × 18,7 mm en el nivel III izquierdo, heterogéneo con SUVmax de 7,2. (25)



**Figura 24** Caso clínico de Ortega V. 9. PET-CT. Linfoma anaplásico de células T. Niña de 12 años, con ganglio submandibular derecho localizado en el grupo cervical V, mide 10 mm de diámetro no llamativo en la TC, pero que en la PET tuvo una captación significativa, con un SUVmax de 2,8. (25)



*Figura 25 Caso clínico de Ortega V. Linfoma no Hodgkin. Hombre de 41 años de edad, con ganglios cervicales, IIA derecho de 17 y 9 mm. (25)*



*Figura 26 Caso clínico de Ortega V. Carcinoma epidermoide de cuerda vocal izquierda. Hombre de 45 años, con engrosamiento asimétrico de los tejidos en la cuerda vocal izquierda, con SUVmax de 8,2. (25)*

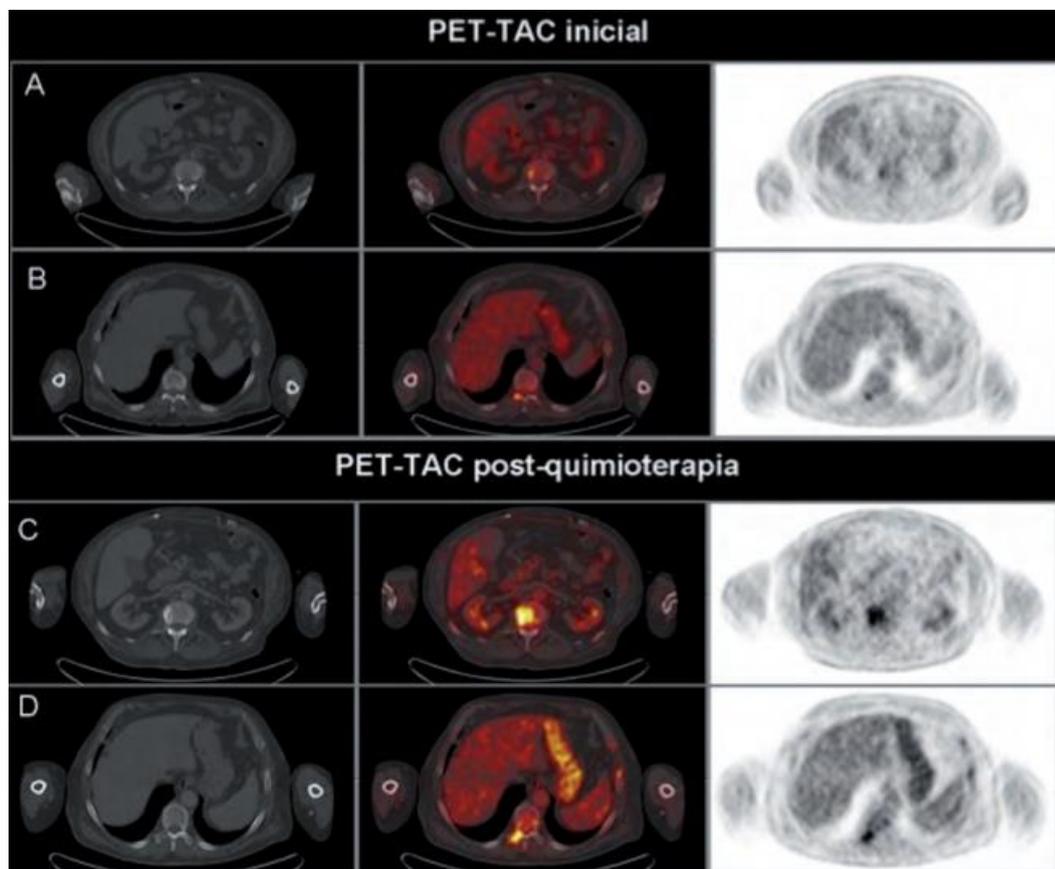
## 5.7 Seguimiento

En el tratamiento de tumores de cabeza y cuello, es importante un arduo seguimiento, sobre todo en los siguientes 12 a 15 meses, ya que es el periodo en el que hay una gran probabilidad de recidivas, ya sea de manera local o con metástasis (Fig. 27).

Se recomienda realizar otra PET-TC a los 3 meses, en pacientes que hayan sido tratados con la combinación de quimio/radioterapia; si existen zonas con hipercaptación, se realiza otra PET/TC a los 5 meses, debido

a que puede haber zonas de inflamación por la radioterapia, por lo que podría ser un resultado falso positivo.

Una alternativa es realizar PET-TC cada 6 meses durante los primeros 2 años y posteriormente en los siguientes 3 años, realizarlo anualmente. Los resultados imagenológicos, deben compaginarse con la exploración física, así como estudios histológicos, para la toma de decisiones terapéuticas. En zonas como la nasofaringe o la base del cráneo, también es recomendable complementar los resultados, con una RM, por una mayor sensibilidad respecto a la TC. <sup>(33)</sup>



**Figura 27** Caso clínico del Dr. Pingarrón, J.A. Paciente masculino de 68 años con carcinoma de seno piriforme derecho, tratado con microcirugía laríngea, QT Y RT. En el primer estudio (A y B) se observaron lesiones sugerentes de malignidad. En el estudio post- quimioterapia (C Y D) se observa progresión ósea, múltiples lesiones nuevas y empeoramiento de las primeras: <sup>(32)</sup>

## CONCLUSIONES

La Tomografía por Emisión de Positrones- Tomografía Computarizada, en los últimos años, se ha convertido indudablemente en un método auxiliar de diagnóstico fundamental en tumores de cabeza y cuello por sus excelentes resultados respecto a la estadificación y seguimiento del cáncer en dichas zonas.

La tecnología, para los nuevos aparatos PET-TC ha ido desarrollándose rápidamente debido a la alta demanda en el campo oncológico, siendo cada vez más precisos, superando su calidad, así como el tiempo en el procedimiento.

Se debe tener conciencia de que la PET-TC es un examen de costo elevado y que utiliza una alta dosis de radiactividad, por lo que se debe solicitar de manera responsable, en casos que verdaderamente lo ameriten.

Realizar este estudio imagenológico híbrido ofrece muchas ventajas, respecto a la anatomía dada por la TC y el metabolismo tumoral, detectado con la PET (radiofármaco), que otorga una calidad de imagen superior a métodos convencionales para facilitar el diagnóstico de las neoplasias de cabeza y cuello y la planeación del tratamiento óptimo de acuerdo con la etapa clínica, brindándole al paciente una mejor calidad de vida.

Es importante que el Cirujano Dentista tenga conocimiento de este método de diagnóstico, para la interconsulta con los especialistas pertinentes desde el momento en que se sospecha el desarrollo de un tumor en cabeza y cuello y realizar un tratamiento multidisciplinario con otorrinolaringología, oncología, radiología, patología, cirugía maxilo-facial, oncología radioterápica, medicina nuclear y nutrición. Además, estas neoplasias repercuten en el ámbito odontológico, pues pueden causar problemas en la deglución, fonación, otalgia e incluso la respiración.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Obaya A, López J, Vargas M, Camacho O. Producción de radiofármacos para tomografía por emisión de positrones (PET) y su aplicación en el diagnóstico de diversas enfermedades. *Educ. quim.* 2016; 27: 292-299.
2. Farías M. La radiactividad. In *Educativa*, editor. La ciencia para todos. CDMX: Fondo de cultura económica; 1995: 42.
3. Muñoz A. Marie Sklodowska-Curie y la radioactividad. *Educ. quím.* 2013; 24: 290.
4. Foro de la industria nuclear. El PET. La historia de la introducción de una tecnología. *Foro nuclear*; 2018. Hallado en: <https://www.foronuclear.org/>.
5. National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering. Medicina nuclear. NIBIB; 2019. Hallado en: <https://www.nibib.nih.gov/espanol/temas-cientificos/medicina-nuclear>.
6. Pulido ME. Radioisótopos y Homeopatía. *La homeopatía de México.* 2018: p. 30-35.
7. Agency International Atomic Energy. Radioisótopos. IAEA; 2020. Hallado en: <https://www.iaea.org/es/temas/radioisotopos>.
8. Neubauer S. Tomografía por emisión de positrones PET. *Rev. Chilena de cirugía.* 2003; 55(1): p. 81-85.
9. Nuclear Physics Experience. La radiación nuclear en la medicina. NUPEX; 2020. Hallado en: <http://www.nupecc.org/NUPEX/index.php>.
- 10 López A, Zamora E, Alonso J, Mendoza G. Tomografía por emisión de positrones: Los nuevos paradigmas. *Rev. Esp. en Ciencias Químico-Biológicas.* 2007; 10: p. 26-35.
- 11 Caicoya M, González M. El PET. La historia de la introducción de una tecnología; 2017 [cited 2021]. Hallado en: <https://enotas.astursalud.es>.
- 12 Pagan Y. Concepto e historia de la tomografía computarizada (TC). *Cloudfront*; 2016. Hallado en: <https://d2vvgscadf4c1f.cloudfront.net>: p. 1-4

- 13 Bosch E. Sir Godfrey Newbold Hounsfield y la tomografía computada, . su contribución a la medicina moderna. Rev. Chil. Radiol. 2014; 10.
- 14 Gantes R. Análisis de calidad de imagen en PET. Facultad de CC . Físicas UCM; 2007. Hallado en: [http://nuclear.fis.ucm.es/research/thesis/rosa\\_gantes\\_trabajo\\_sep07.pdf](http://nuclear.fis.ucm.es/research/thesis/rosa_gantes_trabajo_sep07.pdf).
- 15 Vega I, Graef A, García J, Ornelas M. Nuevas modalidades de . imagen: PET-TC. Medigraphic. 2005; 12: p. 11-25.
- 16 Gamma, grupo.PET-CT. Grupo Gamma. Red integrada de salud; . 2021. Hallado en: <https://www.grupogamma.com/prestacion/pet-ct/>.
- 17 Nuñez M. Tomografía por emisión de positrones (PET): . Fundamentos. Bibliográfico. Montevideo, Uruguay: Escuela Universitaria de Tecnología Médica, Comité de Tecnólogos de ALASBIMN; 2008: p. 179-189.
- 18 López A, Mejías L. Estudio PET/CT con F18-Fluorodesoxiglucosa en . oncología: una herramienta eficaz para una indicación. Bibliográfico. La Habana, Cuba: Hospital CQ (Hermanos Ameijeiras); 2017: p. 3-20.
- 19 Altamirano J, Estrada G, Ramírez j. Tomografía por emisión de . positrones. PET fundamentos e indicaciones. Acta Médica Grupo Ángeles. 2005; 3: p. 179-189.
- 20 Roldan E, Vega I, Valdivieso G. Conceptos básicos del 18F-FDG . PET/CT. Definición y variantes normales. Gac. Méd. Méx. 2008; 144: p. 137-146.
- 21 Ávila M, Alva H. Radiofármacos para PET, una nueva perspectiva de . la medicina nuclear en México. El residente. 2010; 5: p. 103-110.
- 22 Neurocirugía, Instituto Nacional de Neurología y . Neurocirugía.Radiotrazadores. INNN; 2018. Hallado en: <http://www.innn.salud.gob.mx/interna/instituto/instituto.html>.
- 23 De Guevara D. Utilidad clínica oncológica y no oncológica del . PET/CT. Rev. Méd. Clín. Los condes. 2013; 24: p. 78-87
- 24 Estrada G, Altamirano J, Ochoa F. Captaciones fisiológicas y . variantes normales en el estudio PET-TC con 18FDG. Cir Cirug. 2007; 75: p. 491-497.

- 25 Ortega V, Criales J. PET-CT: TUMORES DE CABEZA Y CUELLO.  
. ENSAYO PICTÓRICO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA. Rev.  
Colomb. Radiol. 2013; 24: p. 3818-3826.
- 26 Altamirano J, Acosta G, Ochoa F. Valor estandarizado de captación  
. máximo, determinado con Tomografía por Emisión de Positrones y  
Tomografía Computarizada. "Primera experiencia en México". Anales  
de radiología México. 2007; 2: p. 113-119.
- 27 Boettiger P, Zamorano R, Miranda G. PET-TC, rol y fundamentos de  
. su uso en la especialidad de otorrinolaringología y cirugía de cabeza  
y cuello. Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza cuello. 2018; 78.
- 28 Altamirano j, Estrada G. De la PET a la PET/CT. Tomografía por  
. emisión de positrones (PET) y Tomografía Computarizada (CT).  
Anales de radiología México. 2006; 9: p. 9-19.
- 29 Larrea J. Alamy; 2021 [cited 2021. Hallado en: <https://www.alamy.es/>  
.
- 30 Ballesteros A. Tumores de cabeza y cuello. Sociedad Española de  
. Oncología Médica; 2021. Hallado en: <https://seom.org/es>.
- 31 Schiff B. Generalidades sobre los tumores de la cabeza y el cuello.  
. Manual MSD. Versión para profesionales; 2019. Hallado en:  
<https://www.msdmanuals.com>.
- 32 Pasamontes J, Cabrera M. PET-TAC en tumores de cabeza y cuello.  
. AMORL. 201: p. 3-30
- 33 Maldonado A, Suárez J, Sancho F, Rayo J, Martín F, González J.  
. Aportación de la imagen PET-CT a la patología oncológica de cabeza  
y cuello. Acta Otorrinolaringol.. 2005; 56: p. 453-458.