

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA - IGNACIO CHÁVEZ

GRUPO C.T. SCANNER

**“MASTOGRAFÍA POR EMISIÓN DE POSITRONES: REVISIÓN DE UN
PROMISORIO INSTRUMENTO DIAGNÓSTICO”**

TESIS PROFESIONAL

PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ESPECIALIZACIÓN MÉDICA EN:

IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA

PRESENTA:

LUIS AZPEITIA ESPINOSA

Dr. José Fernando Guadalajara Boo

Director de Enseñanza

Instituto Nacional de Cardiología

“Ignacio Chávez”

Dr. José Luis Criales Cortés

Profesor Titular del Curso

Imagenología Diagnóstica y Terapéutica

C.T. Scanner-UNAM. Asesor de Tesis

MÉXICO, D.F. 2015



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.

DEDICATORIA

A mi madre, a mi padre y a mi hermana, a quienes tanto les debo. Cada uno ha aportado a su manera, piezas fundamentales en el desarrollo de mi persona y el impulso de mi carrera. Familia que crece unida permanece unida... siempre.

A mi prometida, quien incondicionalmente me brinda su apoyo, compañía, lealtad y alegría. Te amo.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mis maestros de C.T. Scanner por darme la oportunidad de formarme en este maravilloso grupo, pionero en la materia y cuna de grandes líderes de la Radiología Latinoamericana; su pasión y ejemplo inspiran en quienes tenemos el honor de conocerlos el deseo de seguir sus pasos y perseguir grandes sueños.

Particular agradecimiento a la Dra. María del Carmen Lara Tamburrino por el apoyo y orientación en la elaboración de este proyecto. Su dedicación y entrega a la especialidad y a las pacientes son el estándar de referencia de la imagen mamaria en México.

CONTENIDO

	Página
Resumen	4
Introducción	5
Antecedentes	7
Base biomolecular de la medicina nuclear	8
Principios físicos	10
Protocolo de adquisición	12
Pros y contras del método	13
PEM vs Resonancia Magnética	15
Radioprotección	16
Indicaciones y contraindicaciones	17
Hallazgos por imagen. Léxico	20
Reporte radiológico. Conducta diagnóstica	22
Biopsia guiada por PEM	24
Conclusión	26
Referencias	27

RESUMEN

El cáncer de mama es un problema de salud pública mundial. La mastografía continúa siendo el estándar de referencia en el tamizaje y evaluación inicial de la neoplasia, sin embargo, dista mucho de ser un método perfecto. La mastografía por emisión de positrones (PEM) es una herramienta nuclear de reciente introducción, altamente sensible y específica de lesiones malignas. Detecta tumores más pequeños, en etapas más tempranas que el resto de los métodos convencionales de imagen; es de gran utilidad en la etapificación y planeación quirúrgica de la enfermedad y disminuye el número de procedimientos innecesarios, así como la morbilidad y mortalidad de las mujeres con cáncer de mama.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el cáncer de mama es la neoplasia maligna más frecuente en la mujer a nivel mundial.^{1, 2, 3, 4} La detección y el tratamiento oportunos reducen la morbilidad y mortalidad de quienes lo padecen.^{2, 3} Una adecuada estadificación es fundamental para brindar la mejor terapéutica posible y mejorar el pronóstico de las pacientes.^{2, 5} La mastografía continúa siendo la modalidad de elección para el tamizaje, sin embargo, muestra baja sensibilidad y especificidad en mujeres con tejido mamario heterogéneamente o extremadamente denso.^{4, 6, 7, 8} Cerca del 10 al 15% de los cánceres no son detectados por métodos de cribado convencionales y la mastografía en conjunto con otros estudios complementarios (ultrasonido y resonancia magnética), frecuentemente resulta en intervenciones innecesarias.^{7, 9}

El desarrollo de mejores detectores en los equipos de centelleo hizo a la medicina nuclear una opción viable para la evaluación del cáncer de mama.¹⁰ La Mastografía por Emisión de Positrones (PEM), también conocida como “PET de Mama de Alta Resolución”, es una modalidad de imagen con alta sensibilidad y especificidad en el diagnóstico del carcinoma mamario ductal *in situ* e invasor.^{4, 11, 12, 13, 14} La resolución espacial y la naturaleza biomolecular de la PEM permiten detectar cánceres más pequeños, en etapas más tempranas debido a que el metabolismo tumoral incrementa previo a la neovascularización y a la formación de calcificaciones (Figura 1).^{5, 7, 8, 9}

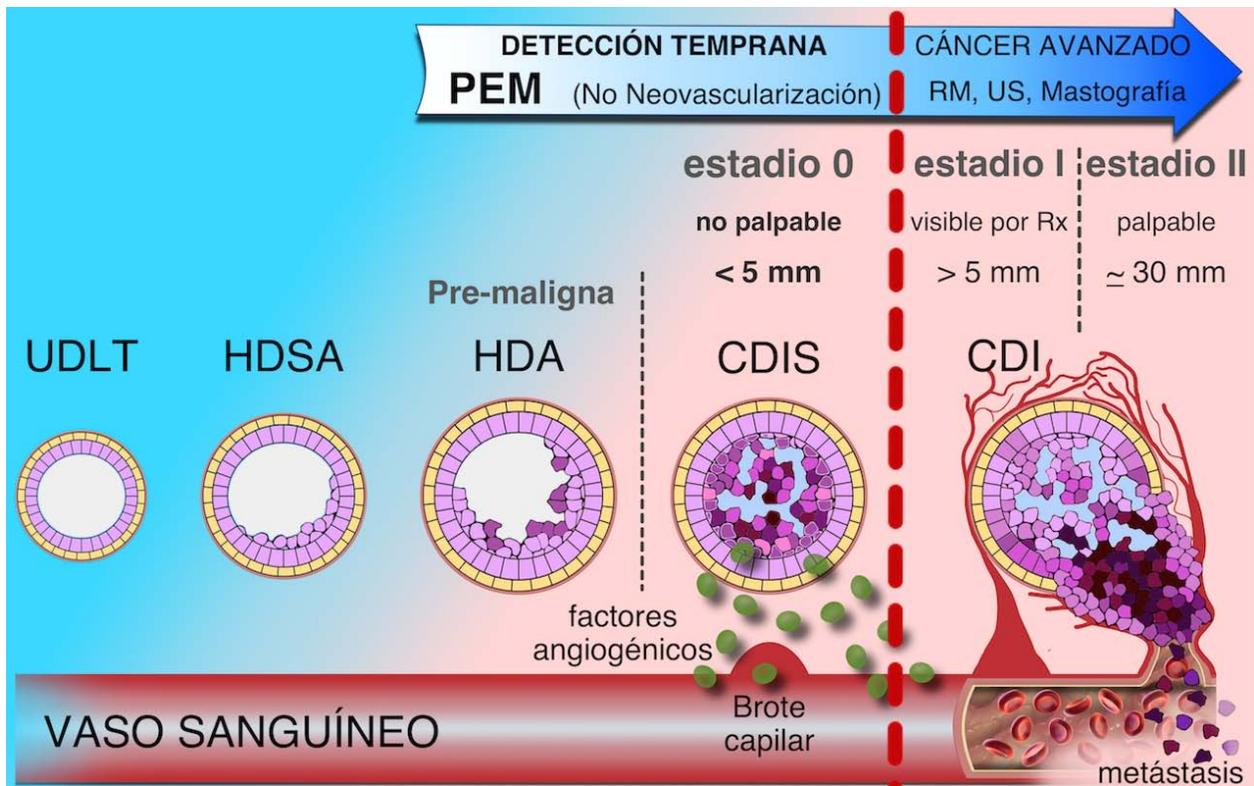


Figura 1

Modelo de evolución del carcinoma mamario. Utilidad de PEM en etapas tempranas de la enfermedad (estadio 0) frente a los demás métodos de imagen. UDLT: unidad ducto-lobulillar terminal; HDSA: hiperplasia ductal sin atipia; HDA: hiperplasia ductal atípica; CDIS: carcinoma ductal *in situ*; CDI: carcinoma ductal invasivo.

ANTECEDENTES

- La Tomografía por Emisión de Positrones con Tomografía Computada de cuerpo completo (WB PET-CT) se introdujo en la década de los 70's.⁷
- El primer estudio sobre WB PET-CT se publicó en 1989.²
- En 1993 Thompson y colaboradores propusieron un equipo de PET específicamente diseñado para la glándula mamaria y el primer estudio clínico se llevó acabo en 1996.⁷
- La FDA aprobó la Mastografía por Emisión de Positrones en 2003 y la biopsia guiada por PEM en 2008.^{15, 16}
- En nuestra Institución comenzamos a utilizar PEM en agosto de 2013. Hemos realizado hasta la fecha más de 300 estudios.

Los estudios por imagen molecular utilizan la fisiopatología de las células diana para radiotrazarlas intencionalmente. Se emplean moléculas transportadoras por su habilidad de incorporarse al metabolismo celular a través de vías fisiológicas existentes.² Es posible diferenciar el tejido neoplásico del sano debido a que las células tumorales captan significativamente más radiofármaco dada su sobreexpresión de proteínas transportadoras de glucosa, glucólisis incrementada y actividad anormal de la hexocinasa.^{5, 8, 16, 17}

El radiofármaco más utilizado es la 2-[¹⁸F]-flúor-2-desoxi-D-glucosa (¹⁸FDG), un análogo radiactivo de la glucosa que emite positrones y se obtiene al combinar el isótopo Flúor-18 con una molécula de desoxiglucosa. Tras inyectarse por vía endovenosa, la ¹⁸FDG es acarreada por transportadores de glucosa (GLUT) al citoplasma, donde se fosforila en ¹⁸FDG-6-fosfato. Dicha molécula queda atrapada al no poder continuar las vías metabólicas de la glucosa y se acumula progresivamente en la célula. Este “atrapamiento metabólico” se traduce en un incremento gradual de la señal en el tejido tumoral y se diferencia de la captación basal del tejido normal.^{8, 17, 18}

Podemos recurrir a otros radiofármacos más específicos como el 16 α -[¹⁸F]-flúor-17 β -estradiol (¹⁸FES). Su principal utilidad es el monitoreo de tumores positivos a Receptores de Estrógenos. Los receptores de estrógenos y progesterona son proteínas intracelulares involucradas en la progresión del cáncer de mama, aproximadamente el

60% de los tumores los expresan. En el núcleo celular el estradiol se une a los receptores de estrógenos activando vías de señalización que inducen la proliferación del epitelio ductal y estimulan el crecimiento tumoral. El ^{18}FES puede predecir la probabilidad de respuesta terapéutica en el tratamiento con moduladores selectivos de los receptores estrogénicos (SERMs), es decir, las lesiones que responden a Tamoxifeno tienen mayor captación de ^{18}FES .^{2, 19, 20}

El equipo de PEM detecta rayos gamma que provienen del radiofármaco acumulado en el interior de la mama, de forma contraria a lo que ocurre en una mastografía, donde los Rayos X generados en el equipo atraviesan el tejido.

El núcleo atómico del Flúor-18 es inestable y a medida que decae emite positrones. Cuando un positrón (e^+) y un electrón (e^-) colisionan ocurre un fenómeno de aniquilación que produce dos fotones de rayos gamma dirigidos en sentidos opuestos, cada uno con energía de 511 keV (kiloelectronvolt); estos rayos impactan simultáneamente los detectores de centelleo colocados a cada lado de la mama, son convertidos en luz visible, digitalizados y reconstruidos por el software en imágenes diagnósticas (figura 2).^{17, 21} El estudio consiste en 12 imágenes tomográficas en proyecciones análogas a las de mastografía; el grosor de cada corte es igual al espesor de la mama dividido entre 12, lo cual permite localización detallada y tridimensional de los sitios de captación.^{11, 12, 22}

Se han diseñado equipos con diferente geometría de los cabezales y detectores de distintos cristales de centelleo a fin de lograr la mejor sensibilidad y resolución posibles.^{8, 21, 22, 23} La configuración co-planar es la más popular, provee la mejor resolución de contraste y espacial por plano, además puede ajustar la distancia y la presión de sus cabezales para adaptarse al tamaño de cada mama. Consiste en dos

detectores montados sobre las paletas de compresión, capaces de rotar para adquirir varias proyecciones.^{14, 21}



Figura 2

Ilustración esquemática de un evento de aniquilación dentro del tejido mamario. El equipo de PEM no detecta los positrones emitidos por el radiotrazador, sino los rayos gama producidos al colisionar electrones y positrones. El decaimiento β se refiere a la emisión de partículas beta desde un núcleo inestable para equilibrar su relación de protones y neutrones.

Como todos los métodos de imagen, la comunicación con la paciente, una apropiada preparación y el aspecto técnico de la adquisición son fundamentales para estudio diagnóstico óptimo (cuadro 1).^{3, 5, 7, 11, 19, 22, 24, 25} Puede realizarse éste protocolo conjuntamente con WB PET-CT cuando existe sospecha de enfermedad metastásica, para una adecuada etapificación. Pasado el tiempo de captación tisular se realiza WB PET-CT y después se continúa con PEM.^{12, 25}

Cuadro 1 Protocolo De PEM

1. Ayuno de 4 - 6 hr previo a la inyección del radiofármaco.⁺
2. Consentimiento informado de los riesgos y beneficios del procedimiento.[^]
3. Determinar la glucosa sérica (cifra máxima de 130 mg/dL).
4. Inyección intravenosa de ≈ 185 MBq (5 mCi) en el brazo contralateral a la lesión, o en la pierna si hay enfermedad bilateral.^{*}
5. Reposo de la paciente 60 - 90 min previos al estudio. (tiempo de captación tisular).
6. Escanear el sitio de la inyección durante 30 - 90 s.^{*}
7. Escanear las mamas 5 - 10 min por proyección: cráneo-caudal y medio-oblicua-lateral, bilateralmente (opcional proyecciones laterales y axilares).^o
8. Biopsia opcional (requiere 30 - 60 min adicionales).
9. Evitar contacto interpersonal (< 1.5 m) en las 6 hr siguientes.
10. Hidratación incrementada para acelerar la depuración del radiofármaco.

⁺ No requerido en estudios con ^{18}FES ; en éstos deben suspenderse SERMs

[^] Descartar y notificar que no hay embarazo en curso.

^{*} Para excluir captación muscular y/o extravasación del radiofármaco.

^o El estudio se realiza con la paciente sentada. La comodidad de la paciente es primordial para evitar artificios por movimiento.

PROS Y CONTRAS DEL MÉTODO

El equipo de PEM está diseñado específicamente para la exploración mamaria y, aunque funciona bajo los mismos principios de un PET convencional, ofrece mayor resolución espacial, requiere menos ^{18}F FDG, acorta los tiempos de adquisición y es más sensible a la radiación emitida, por lo que detecta lesiones más pequeñas, debido a que los detectores están en íntimo contacto con las glándulas mamarias; además emplea cristales de centelleo especializados.^{3, 7, 21} Ventajas y desventajas del método (cuadros 2 y 3, figura 3).^{2, 5, 12}

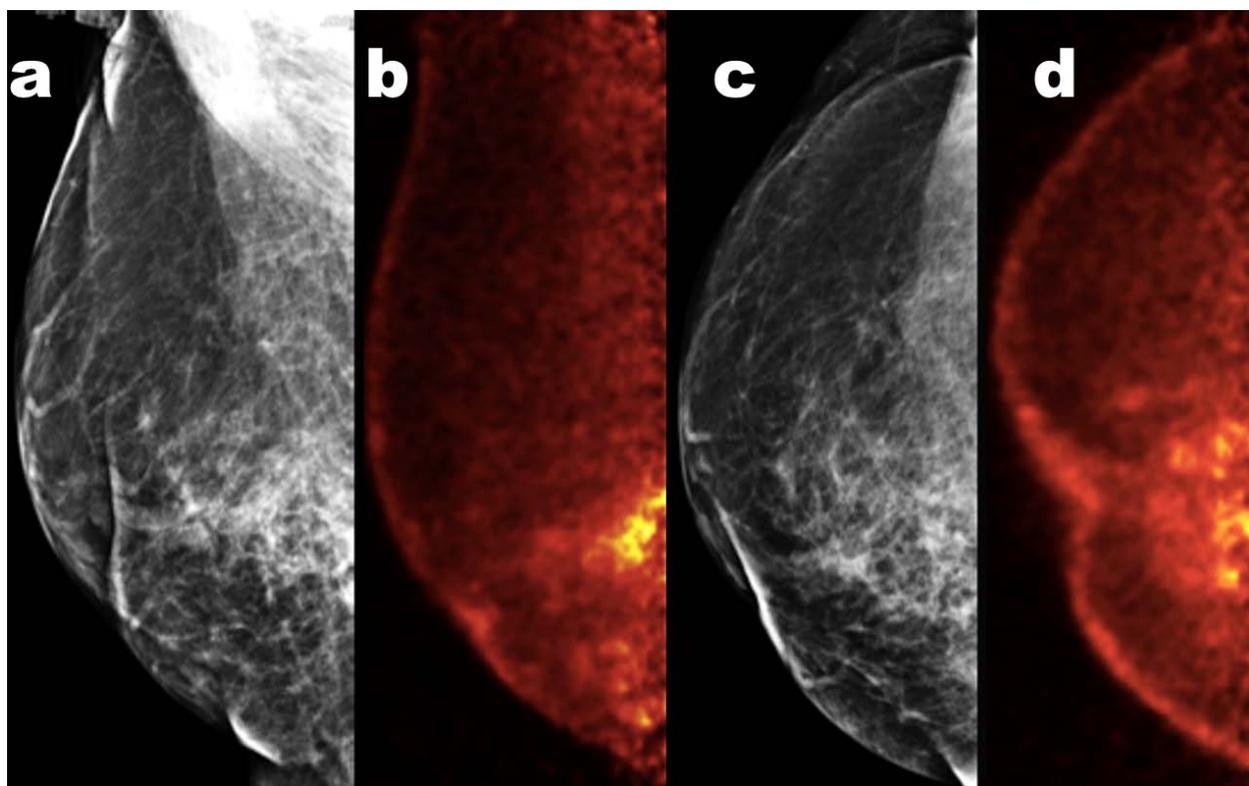


Figura 3

Ejemplo de un caso falso positivo. Mujer de 68 años, carcinoma ductal invasivo derecho hace 3 años, ahora con mastalgia y elevación de marcadores tumorales. a) y c) Mastografía digital MLO y CC, respectivamente; distorsión de la arquitectura y

cambios por mastoplastia. b y d) PEM: múltiples lesiones hipercaptantes en el cuadrante superoexterno, LTB 6.15. El estudio histopatológico reportó múltiples zonas de necrosis grasa.

Cuadro 2 **PEM: Ventajas**

- Alta resolución espacial (detecta lesiones < 2 mm, no visibles por otros métodos).
- La captación de ¹⁸FDG no se ve afectada por cambios hormonales ni por la densidad mamaria.
- Requiere menor compresión mamaria que una mastografía (10-15 lb vs 35-45 lb).
- Mayor especificidad que la Resonancia Magnética.
- Dispositivo compacto, suministro eléctrico convencional (tomacorriente de 120 voltios).
- El movimiento respiratorio no es una problemática en la adquisición.
- Aporta menor dosis de radiación que WB PET-CT.
- Se puede realizar la biopsia en el mismo estudio de PEM.
- Apropiaada en pacientes que no pueden realizarse Resonancia Magnética.
- Provee información adicional a la de RM, cuando ésta no es concluyente.

Cuadro 3 **PEM: Desventajas**

- No muestra el detalle anatómico de otros métodos de imagen.
- Falsos positivos (por procesos inflamatorios, necrosis, papilomas, grasa y algunos adenomas).*
- Falsos negativos (en tumores malignos con baja actividad metabólica o muy pequeños; por mal posicionamiento al excluir tejido adyacente a la pared torácica).
- Un metabolismo alterado de la glucosa puede modificar la visibilidad de la captación del cáncer.
- Provee radiación ionizante de forma sistémica.
- Poca disponibilidad del método y elevado costo.

*En la mayoría de los casos éstas lesiones pueden diferenciarse de condiciones malignas con métodos de imagen convencionales.

PEM vs RESONANCIA MAGNÉTICA

PEM y Resonancia Magnética (RM) tienen una precisión diagnóstica similar. La RM es un poco más sensible, pero menos específica en la detección de cánceres adicionales (cuadro 4) ^{4, 7, 8, 14, 17}. La detección de malignidad incrementa cuando ambos métodos se utilizan conjuntamente. ^{5, 9, 26}

Cuadro 4
Mastografía Por Emisión de Positrones Vs. Resonancia Magnética

PEM		RM
91%	Sensibilidad para detectar CDIS	79 - 83%
79 - 91%	Sensibilidad para detectar CDI	89.1 - 93%
93 - 95%	Sensibilidad detectando cáncer contralateral	93 - 95%
79.9 - 93%	Especificidad	65.6 - 86.3%
66%	Valor Predictivo Positivo	53%
89%	Precisión diagnóstica	88%
3%	Tasa de biopsias innecesarias	9.3%

CDIS: Carcinoma ductal *in situ*.
CDI: Carcinoma ductal invasivo.

Al realizar una PEM deben considerarse los beneficios, así como los potenciales riesgos inherentes a la dosis de radiación. En una mastografía el tejido mamario es el único expuesto a radiación ionizante, mientras que en PEM todos los órganos del cuerpo son irradiados al inyectar el radiofármaco. La dosis efectiva promedio en un estudio de PEM con 5 mCi (milicurio) de ^{18}F FDG es discretamente superior a la dosis anual por exposición a radiación natural, aproximadamente 3.5 mSv (milisievert) contra 3.1 mSv, respectivamente. En contraste, la dosis efectiva de una mastografía digital bilateral, (proyecciones CC y MLO) es de 0.44 mSv.^{8, 24, 25} Con PEM la vejiga recibe la mayor dosis de radiación y es el órgano con mayor riesgo de cáncer radioinducido.^{10, 17}

INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

Para poder brindar el máximo desempeño diagnóstico en cada caso, es necesario conocer las condiciones en las que es y no recomendable realizar un estudio de PEM (cuadro 5, figuras 4 y 5).^{2, 3, 8, 13, 17}

Cuadro 5 **PEM: Indicaciones y Contraindicaciones**

Indicaciones:

- Pacientes con diagnóstico de cáncer mamario y planeación de tratamiento quirúrgico conservador, para definir límites quirúrgicos, así como descartar multifocalidad y/o multicentricidad.
- Distinguir enfermedad recurrente y residual de cambios post-quirúrgicos.
- Monitoreo de la respuesta a quimioterapia neoadyuvante.
- Estudio alternativo en pacientes que no pueden realizarse RM.

Contraindicaciones:

- Pacientes diabéticas con glucosa plasmática en ayuno > 130 mg/dL.
- Embarazo / lactancia.
- No indicado como método de tamizaje.
- Alteraciones de la coagulación sanguínea contraindican la biopsia guiada por PEM.

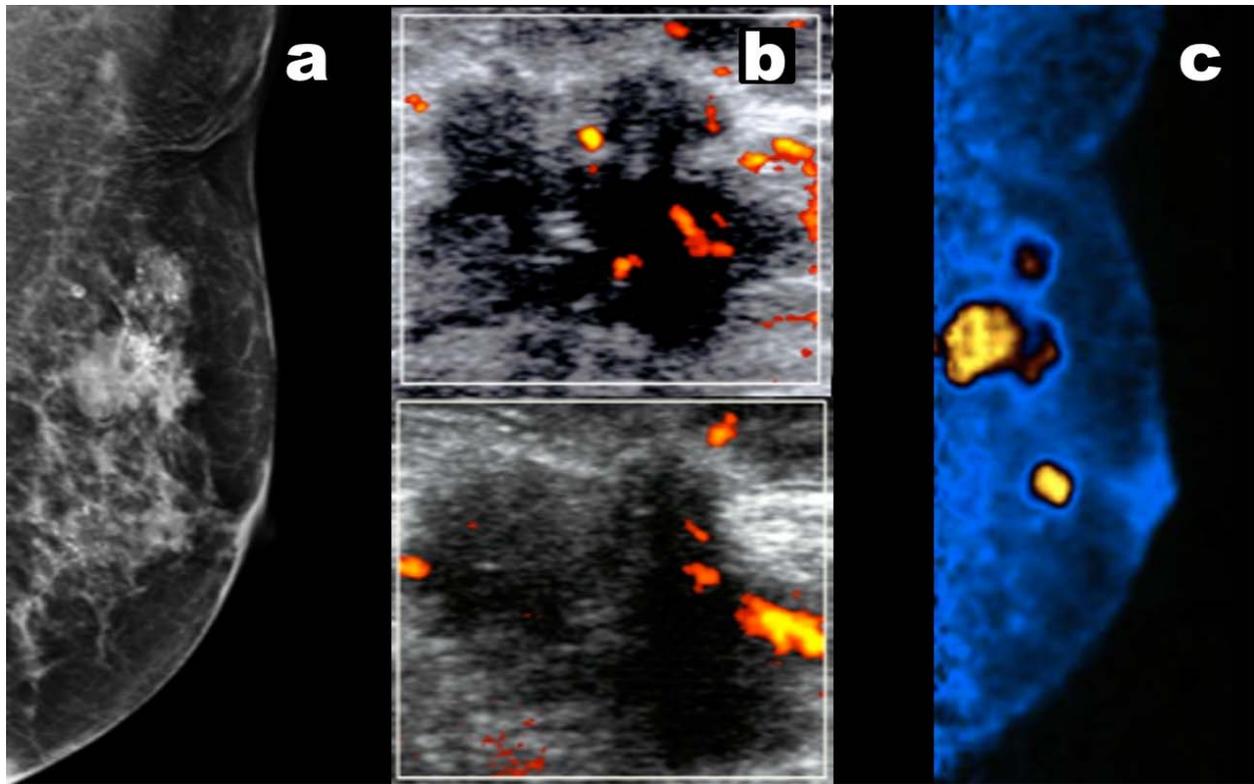


Figura 4

Mujer de 70 años con masa palpable izquierda y retracción cutánea. a) Mastografía digital; masas irregulares espiculadas en el cuadrante superoexterno con calcificaciones pleomórficas: BI-RADS 5. b) US Doppler muestra presencia de vascularidad central; c) PEM: se corroboran lesiones hipercaptantes y se identifican otras masas hipermetabólicas en el mismo cuadrante, LTB 10.19. Diagnóstico de multifocalidad.

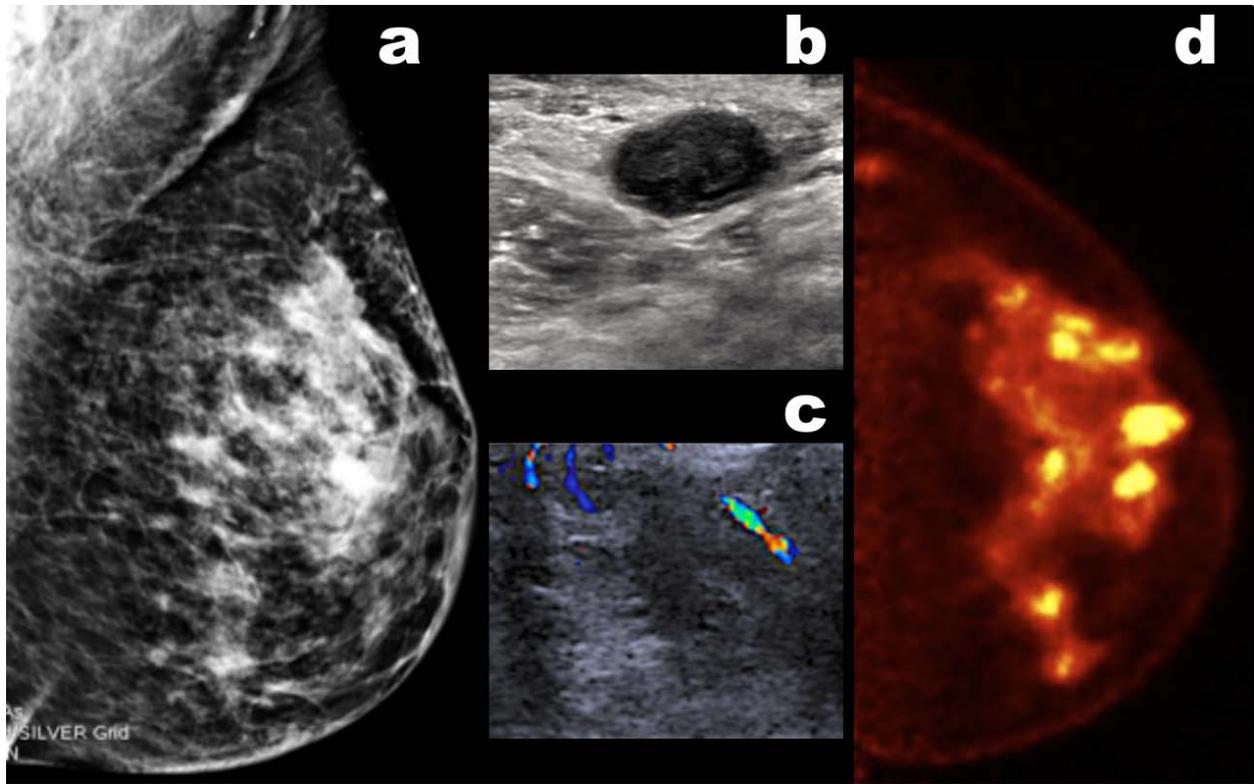


Figura 5

Mujer de 51 años con masa palpable izquierda. a) Mastografía digital con distorsión de la arquitectura en el cuadrante superoexterno asociada a microcalcificaciones. b) US modo B y c) Doppler muestran ganglios linfáticos sospechosos. d) PEM: múltiples masas hipercaptantes en los cuadrantes interno y externo, LTB 8.57. BI-RADS 5; diagnóstico de multicentricidad.

El primer paso en la interpretación es la identificación del “foco caliente”, posteriormente deben determinarse el tamaño, localización y captación del radiofármaco de cada lesión. La localización de la lesión se especifica de acuerdo al radio que ocupa en la topografía mamaria (análogo a las manecillas del reloj) y la distancia a la que se encuentra del pezón.^{6, 11, 12}

La captación del radiofármaco se mide trazando un ROI (*Region Of Interest*) circular o rectangular alrededor de la lesión y seleccionando del interior él vóxel con la máxima captación, es decir, el PUVmax (*Valor PEM de Captación máxima*). El PUVmean (*Valor PEM de Captación media*) se refiere a la captación fisiológica de fondo, que se obtiene al trazar un ROI en un área normal de la mama, que contenga tejidos glandular y graso.^{11, 12, 22}

El índice LTB (*Lesión-Fondo*) es la relación que existe entre el PUVmax del tumor y el PUVmean de la captación fisiológica de fondo. El software del visualizador DICOM lo calcula automáticamente y se utiliza para el análisis semicuantitativo de la lesión. El parámetro convencional para la caracterización de las lesiones es el LTB, sin embargo, algunos estudios afirman que el PUVmax es un indicador superior para el análisis semicuantitativo.^{11, 22}

Aunque el sistema BI-RADS® aún no incluye PEM, es necesario utilizar terminología estandarizada para describir los hallazgos, lograr interpretaciones consistentes y facilitar la comunicación entre el radiólogo y el médico tratante.³ El léxico propuesto es análogo al BI-RADS® de RM, incluye nomenclaturas para la localización, características, tamaño, captación de la lesión (cualitativa y semicuantitativa) y de la homogeneidad en la captación de fondo. La evaluación cualitativa de la captación media de fondo se clasifica como: mínima, leve, moderada o intensa. Debe especificarse si es homogénea o heterogénea.^{11, 12}

El reporte radiológico debe incluir: técnica del estudio, limitaciones, glucosa sérica, sitio de inyección y dosis de ^{18}F FDG, duración del tiempo de captación tisular (período de reposo de la paciente), proyecciones mastográficas adquiridas, tiempos de escaneo, valores de captación, impresión diagnóstica, categoría BI-RADS® y conducta a seguir.^{8, 11, 12}

Las áreas de captación anormales (focos calientes), los tres diámetros de la lesión, las lesiones sospechosas en piel y ganglios axilares deben describirse. No existe un valor de corte absoluto en la captación de una lesión para determinar si ésta es maligna, sin embargo, un $\text{LTB} \geq 2.5$ tiene mayor asociación con malignidad. Los cánceres mamarios de alto grado tienen valores PUVmax significativamente más elevados que los de bajo grado.^{11, 22}

Una lesión positiva es aquella que tiene captación incrementada en comparación con la del parénquima adyacente. Una lesión negativa no tiene captación del radiofármaco. Toda lesión positiva es considerada como sospechosa y debe correlacionarse con estudios de imagen convencionales.^{4, 7, 9, 11} Una lesión de morfología irregular tiene un alto valor predictivo de malignidad, seguido de la presencia de una segunda lesión ipsilateral en pacientes con diagnóstico de cáncer; por último, un incremento en la captación de ^{18}F FDG.^{11, 12}

La categoría BI-RADS® final se sustenta en la captación semicuantitativa así como en la morfología de la lesión y debe asignarse conjuntamente con los hallazgos del resto de los estudios de imagen recientes. La categoría 3 (probablemente benigna) no es apropiada, cuando exista duda es preferible asignar BI-RADS® 4 y realizar biopsia.^{4, 9,}

¹¹ Una PEM negativa en un tumor sospechoso no excluye continuar estudiando la lesión. Algunos carcinomas lobulares (caracterizados por baja actividad metabólica e hipovascularidad) no se visualizan con PEM.⁷

La biopsia mamaria guiada por imagen es el estándar de referencia para la evaluación histológica de las lesiones. Dado que el 15% de los tumores sólo se visualizan con PEM, la biopsia guiada por éste método debe ponerse en práctica.^{7, 11, 13} En el 89% de los casos es posible realizarla el mismo día del estudio inicial.²⁵ El navegador estereotáxico del equipo apunta automáticamente hacia el objetivo de interés, permitiendo un adecuado muestreo de la lesión hipercaptante y el posicionamiento del clip (cuadro 6, figura 6).^{4, 5, 25}

Cuadro 6 **Protocolo De Biopsia Guiada Por PEM**

1. **Primera adquisición:** posicionamiento de la lesión.
2. Introducción del trócar en la lesión e intercambio por una guía radiactiva de Germanio.
3. **Segunda adquisición** verificando la posición de la guía.
4. Intercambio de la guía de Germanio por la aguja de corte.
5. **Tercera adquisición** previa a la biopsia.
6. Obtención de la pieza patológica.
7. **Cuarta adquisición** corroborando la extracción de la lesión hipercaptante.
8. Colocación del clip metálico para futura referencia.
9. **Quinta adquisición** del espécimen, confirmando un procedimiento exitoso.

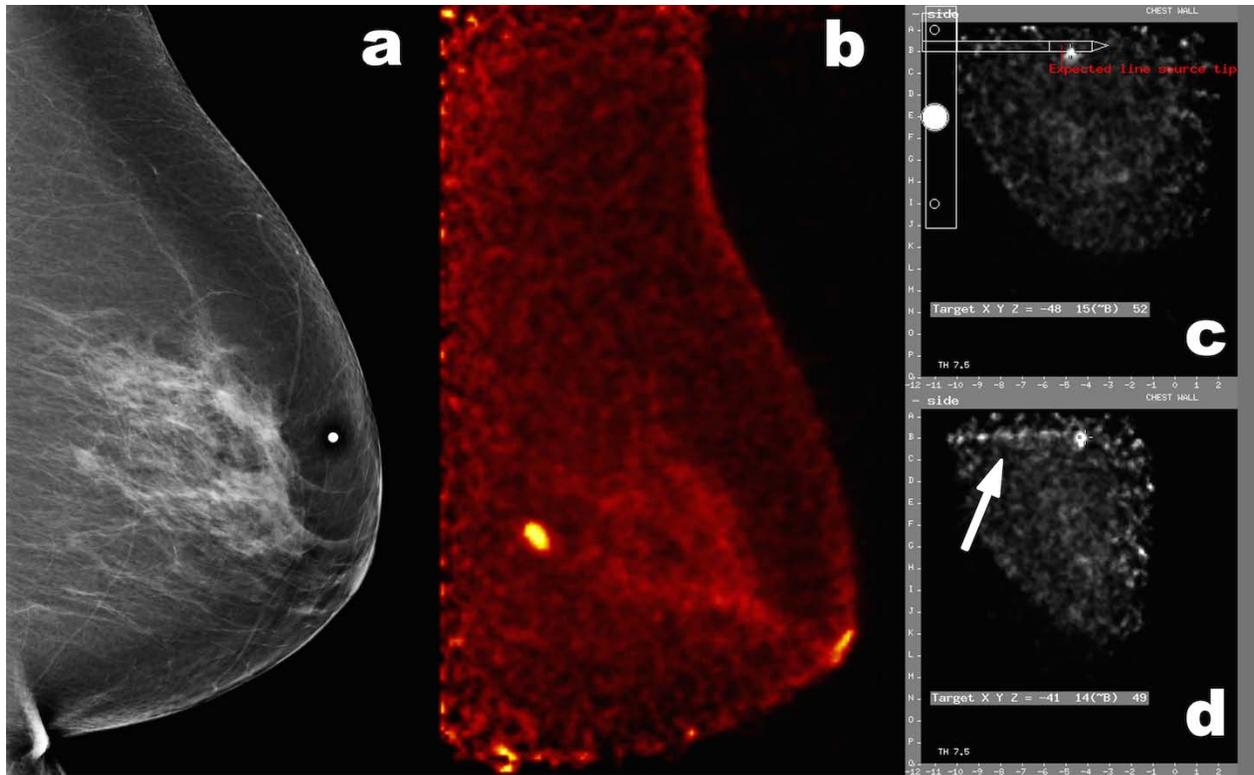


Figura 6

Mujer de 60 años, nulípara, estudio de escrutinio. a) Mastografía digital: pequeña masa ovoidea microlobulada en cuadrante superointerno, BI-RADS 4C; b) PEM: lesión hipercaptante de 5mm, LTB 8.56. Se realiza biopsia por PEM asistida por el software del equipo. c) Posicionamiento estereotáxico de la lesión. d) Confirmación de la guía de Germanio en sitio (flecha blanca). El estudio histopatológico confirmó carcinoma ductal invasivo triple negativo.

CONCLUSIÓN

A pesar de los continuos avances en el diagnóstico y tratamiento, el cáncer de mama es aún un alarmante problema de salud pública mundial. La mastografía convencional continúa siendo la piedra angular en el abordaje del carcinoma mamario, sin embargo, nuevas tecnologías proveen valiosa información del aspecto molecular del tumor, resultando en detección más temprana, adecuada etapificación y mejor planeación quirúrgica, con la consiguiente disminución de morbilidad y mortalidad.

La Mastografía por Emisión de Positrones es una herramienta altamente sensible y específica, útil evaluando enfermedad multifocal o multicéntrica, definiendo los márgenes quirúrgicos, diferenciando recurrencia de cambios postquirúrgicos y monitorizando la respuesta quimioterapéutica neoadyuvante; ha demostrado disminuir los procedimientos innecesarios y tiene el potencial de reformar la forma en que abordamos al cáncer de mama.

REFERENCIAS

1. Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer*. 2015 Mar 1;136(5):E359-86.
2. Schilling K, Conti P, Adler L, Tafra L. The role of positron emission mammography in breast cancer imaging and management. *Applied Radiology* 2006 Apr 4:26-36. Disponible en http://www.appliedradiology.com/articles/the-role-of-positron-emission-mammography-in-breast-cancer-imaging-and-management/PEM_figure07
3. Wang CL, MacDonald LR, Rogers JV, Aravkin A, Haseley DR, Beatty JD. Positron Emission Mammography: Correlation of Estrogen Receptor, Progesterone Receptor, and Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 Status and ¹⁸F-FDG. *AJR Am J Roentgenol*. 2011 Aug;197(2):W247-55.
4. Prekeges J. Breast Imaging Devices for Nuclear Medicine. *J Nucl Med Technol*. 2012 Jun;40(2):71-8.
5. Schilling K. Positron emission mammography: better than magnetic resonance mammography?. *Eur J Radiol*. 2012 Sep;81 Suppl 1:S139-41.
6. Kooa HR, Moona WK, Chunb IK, Eo JS, Jeyantha JX, Chang JM, et al. Background ¹⁸F-FDG uptake in positron emission mammography (PEM): Correlation with mammographic density and background parenchymal enhancement in breast MRI. *Eur J Radiol*. 2013 Oct;82(10):1738-42.
7. Kalles V, Zografos GC, Provatopoulou X, Koulocheri D, Gounaris A. The current status of positron emission mammography in breast cancer diagnosis. *Breast Cancer*. 2013 Apr;20(2):123-30.
8. Garcia EM, Storm ES, Atkinson L, Kenny E, Mitchell LS. Current Breast Imaging Modalities, Advances, and Impact on Breast Care. *Obstet Gynecol Clin North Am*. 2013 Sep;40(3):429-57.
9. Caldarella C, Treglia G, Giordano A. Diagnostic Performance of Dedicated Positron Emission Mammography Using Fluorine-18- Fluorodeoxyglucose in

- Women With Suspicious Breast Lesions: A Meta-analysis. *Clin Breast Cancer*. 2014 Aug;14(4):241-8.
10. Smetherman DH. Screening, Imaging, and Image Guided Biopsy Techniques for Breast Cancer. *Surg Clin North Am*. 2013 Apr;93(2):309-27.
 11. Narayanan D, Madsen KS, Kalinyak JE, Berg WA. Interpretation of Positron Emission Mammography: Feature Analysis and Rates of Malignancy. *AJR Am J Roentgenol*. 2011 Apr;196(4):956-70.
 12. Narayanan D, Madsen KS, Kalinyak JE, Berg WA. Interpretation of Positron Emission Mammography and MRI by Experienced Breast Imaging Radiologist: Performance and Observer Reproducibility. *AJR Am J Roentgenol*. 2011 Apr;196(4):971-81.
 13. Berg WA, Madsen KS, Schilling K, Tartar M, Pisano ED, Larsen LH, et al. Comparative Effectiveness of Positron Emission Mammography and MRI in the Contralateral Breast of Women With Newly Diagnosed Breast Cancer. *AJR Am J Roentgenol*. 2012 Jan;198(1):219-32.
 14. Uzun D, De Lorenzo G, Kolstein M, Chmeissani M. Simulation and evaluation of a high resolution VIP PEM system with a dedicated LM-OSEM algorithm. *J Instrum*. 2014 May 12;9(5). pii: C05011.
 15. Weinberg IN. Applications for Positron Emission Mammography. *Phys Med*. 2006;21 Suppl 1:132-7.
 16. Schilling K. Breast Imaging with a Positron Edge, advances in positron emission mammography. *RT Image* 2009 Feb 2:32-34. Disponible en http://www.onlinedigitalpubs.com/display_article.php?id=113351
 17. Glass SB, Shah ZA. Clinical utility of positron emission mammography. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*. 2013 Jul;26(3):314-9.
 18. Sharma N, Neumann D, Macklis R. The impact of functional imaging on radiation medicine. *Radiat Oncol*. 2008 Sep 15;3:25.
 19. Fanti S, Farsad M, Mansi L. *PET-CT Beyond FDG A Quick Guide to Image Interpretation*. 1st ed. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010. 214-215p.

20. Chan SR, Fowler AM, Allen JA, Zhou D, Dence CS, Sharp TL, et al. Longitudinal noninvasive imaging of progesterone receptor as a predictive biomarker of tumor responsiveness to estrogen deprivation therapy. *Clin Cancer Res.* 2015 Mar 1;21(5):1063-70.
21. Aguiar P, Lois C. Analytical Study of the Effect of the System Geometry on Photon Sensitivity and Depth of Interaction of Positron Emission Mammography. *J Oncol.* 2012;2012:605076.
22. Yamamoto Y, Tasaki Y, Kuwada Y, Ozawa Y, Katayama A, Kanemaki Y, et al. Positron emission mammography (PEM): reviewing standardized semiquantitative method. *Ann Nucl Med.* 2013 Nov;27(9):795-801.
23. Thompson CJ. Instrumentation for Positron Emission Mammography. *PET Clinics* 2006. Jan 1: 33–38.
24. Hendrick RE. Radiation Doses and Cancer Risks from Breast Imaging Studies. *Radiology.* 2010 Oct;257(1):246-53.
25. Argus A, Mahoney MC. Positron Emission Mammography: Diagnostic Imaging and Biopsy on the Same Day. *AJR Am J Roentgenol.* 2014 Jan;202(1):216-22.
26. Berg WA, Madsen KS, Schilling K, Tartar M, Pisano ED, Larsen LH, et al. Breast Cancer: Comparative Effectiveness of Positron Emission Mammography and MR Imaging in Presurgical Planning for the Ipsilateral Breast. *Radiology.* 2011 Jan;258(1):59-72.