

Importancia de la imagen segmentada en PET/CT para el manejo del paciente oncológico

Importance of Segmented Images in PET/CT for Oncological Patient Management

Autores:

Irigoyen Paulina¹, Bernal Luis², Torres María Alejandra³, Colmener Luis Felipe⁴

¹ Médico Oncóloga. Hospital Militar. Quito, Ecuador.

² Asesor Grupo Conceptualizando. Lima, Perú.

³ Médico Hematóloga. Clínica Metropolitana. Caracas, Venezuela.

⁴ Médico Nuclear. PETCI. Quito, Ecuador.

Palabras clave: Segmentación de imágenes, PET/CT, Radiómica, Oncología, Inteligencia Artificial, volumen tumoral metabólico; glucólisis tumoral total; PERCIST.

Key words: Image segmentation, PET/CT, Radiomics, Oncology, Artificial Intelligence, metabolic tumor volume; total lesion glycolysis; PERCIST.

Comité de ética: Este trabajo fue aceptado, revisado por el Comité de Ética de Oncoimagen.

Correo para correspondencia del autor principal:

Dr. Luis Felipe Colmener.
luiscolmener@hotmail.com

Fecha de recepción: marzo de 2026.

Fecha de aceptación: junio de 2026.

Resumen: La segmentación de imágenes en PET/CT con ¹⁸F-FDG permite la cuantificación objetiva de la enfermedad oncológica mediante parámetros metabólicos reproducibles. A diferencia de la interpretación visual convencional, la segmentación posibilita la obtención del volumen tumoral metabólico (MTV) y de la glucólisis tumoral total (GTT), métricas que integran carga tumoral y agresividad metabólica.

Este artículo revisa los fundamentos técnicos y clínicos de la segmentación en PET/CT y analiza su aplicación práctica en el contexto ecuatoriano, basada en la experiencia de centros que han implementado protocolos estandarizados de cuantificación. La inclusión sistemática de MTV y GTT en los informes PET/CT ha demostrado mejorar la reproducibilidad diagnóstica, optimizar la evaluación de respuesta terapéutica y apoyar la toma de decisiones clínicas personalizadas. Su implementación representa un avance tangible hacia la oncología de precisión en la región.

Abstract: Image segmentation in ¹⁸F-FDG PET/CT enables objective quantification of oncologic disease through reproducible metabolic parameters. Unlike conventional visual interpretation, segmentation allows derivation of metabolic tumor volume (MTV) and total lesion glycolysis (TLG), integrating tumor burden and metabolic aggressiveness.

This review analyzes the technical and clinical foundations of PET/CT segmentation and its practical application in the Ecuadorian context, based on the experience of centers implementing standardized quantitative protocols. Systematic inclusion of MTV and TLG in PET/CT reports has improved diagnostic reproducibility, optimized treatment response assessment, and supported personalized clinical decision-making. These methods represent a concrete step toward precision oncology in the region.

Introducción

La tomografía por emisión de positrones acoplada a tomografía computarizada (PET/CT) con ¹⁸F-fluorodesoxiglucosa (FDG) constituye una herramienta fundamental en la oncología moderna para la estadificación, reestadificación y evaluación de la respuesta al tratamiento. Su principal fortaleza radica en la integración de información anatómica y metabólica, lo que permite una caracterización más precisa del comportamiento tumoral en comparación con las técnicas morfológicas convencionales^{1,2}.

Sin embargo, la interpretación tradicional del PET/CT basada predominantemente en criterios visuales y en parámetros puntuales como el valor máximo de captación estandarizada (SUV_{máx}) presenta limitaciones relevantes, particularmente en términos de reproducibilidad y representación de la carga tumoral global.

Estudios previos han demostrado una variabilidad interobservador que puede oscilar entre el 15% y el 30% en la evaluación de la respuesta metabólica,

lo que impacta directamente la toma de decisiones clínicas y la comparación longitudinal de estudios^{3,4}.

SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES EN PET/CT

En este contexto, la segmentación de imágenes en PET/CT se ha consolidado como un componente esencial de la cuantificación metabólica avanzada.

La segmentación se define como el proceso de identificación y delimitación precisa de las regiones tumorales metabólicamente activas, diferenciándolas del tejido normal y de la captación fisiológica.

Su objetivo principal es generar volúmenes metabólicos reproducibles que permitan comparaciones objetivas entre estudios seriados, observadores e instituciones, siempre que se mantengan protocolos de adquisición y métodos de segmentación consistentes^{2,5}.

La adecuada aplicación de técnicas de segmentación transforma la información visual del PET/CT en datos

cuantitativos robustos, sentando las bases para el uso clínico de métricas volumétricas avanzadas y su integración en informes estructurados y estandarizados⁶.

Métodos de segmentación

En la práctica clínica, los métodos de segmentación utilizados en PET/CT pueden agruparse en tres categorías principales:

• Umbrales absolutos

Estos métodos se basan en valores fijos de captación, comúnmente $SUV \geq 2,5$ o su equivalente normalizado por masa corporal magra (SUL). Su principal ventaja es la simplicidad y facilidad de implementación; sin embargo, son altamente sensibles a la variabilidad interpaciente, al ruido de la imagen y a la presencia de procesos inflamatorios o infecciosos, lo que puede conducir a una sobreestimación del volumen tumoral^{3,7}.

• Umbrales relativos o adaptativos

Se fundamentan en un porcentaje del valor máximo de captación de la lesión, típicamente entre el 40% y el 41% del $SUV_{m\acute{a}x}$ o $SUL_{m\acute{a}x}$, o en ajustes basados en la actividad metabólica del fondo fisiológico local.

Estos métodos han demostrado una mayor consistencia y reproducibilidad en estudios seriados, particularmente en la evaluación de la respuesta terapéutica, siempre que el mismo método sea utilizado de forma consistente durante el seguimiento^{5,8}.

• Métodos basados en gradiente

Estos enfoques se basan en la detección de cambios abruptos en la intensidad metabólica entre el tejido tumoral y el tejido adyacente, permitiendo una delimitación más fisiológica de los bordes tumorales.

Aunque reducen la dependencia de valores absolutos de captación, su implementación requiere software especializado y un mayor grado de estandarización técnica⁹.

Independientemente del método seleccionado, la consistencia institucional en su aplicación es un requisito indispensable, dado su impacto directo sobre la reproducibilidad de las métricas cuantitativas derivadas y la comparabilidad de los estudios longitudinales^{6,10}.

Métricas cuantitativas derivadas de la segmentación

• Volumen tumoral metabólico (MTV)

El volumen tumoral metabólico (MTV) representa el volumen total de tejido tumoral con captación metabólica patológica por encima de un umbral definido, expresado en centímetros cúbicos. El MTV constituye un marcador directo de la carga tumoral metabólicamente activa y ha demostrado un valor pronóstico independiente en múltiples tipos de cáncer, superando en diversos escenarios clínicos a los parámetros puntuales de captación como el $SUV_{m\acute{a}x}$ ^{7,8,11}.

Estudios multicéntricos y metaanálisis han evidenciado que valores elevados de MTV se asocian con peor pronóstico, con incrementos del riesgo de progresión o muerte que oscilan entre 1,8 y 3,5 veces en comparación con pacientes con baja carga tumoral metabólica, independientemente del tipo tumoral y del tratamiento administrado^{8,12}.

• Glucólisis tumoral total - Total Lesion Glycolysis (TLG)

La glucólisis tumoral total (TLG) se calcula como el producto del MTV por el valor medio de captación dentro del volumen segmentado ($TLG = MTV \times SUV_{mean}$ o SUL_{mean}). Esta métrica integra simultáneamente información volumétrica y de intensidad metabólica, reflejando de manera más completa la actividad glucolítica total del tumor y su agresividad biológica^{11,13}.

Diversos estudios han demostrado correlaciones significativas entre valores elevados de TLG y una peor respuesta terapéutica, menor supervivencia libre de progresión y menor supervivencia global en distintos escenarios oncológicos.

Asimismo, análisis longitudinales han mostrado que reducciones tempranas del MTV y de la TLG durante el tratamiento, particularmente superiores al 50% tras las primeras líneas terapéuticas, se asocian con mejoras significativas en la supervivencia, con reducciones relativas del riesgo cercanas al 40–60%^{12,14}.

Aplicación clínica e impacto en Latinoamérica

En el contexto ecuatoriano y latinoamericano, la incorporación progresiva de métricas cuantitativas derivadas de la segmentación en PET/CT está permitiendo la generación de informes más objetivos, reproducibles y comparables entre centros.

Esta evolución facilita la discusión de casos en comités oncológicos multidisciplinares, respalda decisiones terapéuticas personalizadas y promueve la estandarización de la práctica clínica en la región, alineándola con las recomendaciones internacionales más recientes^{10,15}.

La adopción sistemática de estos parámetros representa un paso estratégico hacia una oncología de precisión basada en datos metabólicos cuantificables, con impacto directo en la calidad de la atención del paciente oncológico¹⁶.

Aplicación práctica en el contexto ecuatoriano: Nuestra experiencia

Caso 1: Cáncer de mama con respuesta metabólica heterogénea

En una paciente con cáncer de mama metastásico bajo tratamiento sistémico, el análisis cuantitativo seriado evidenció una reducción significativa del MTV total (-78.4%) y de la TLG total (-88.6%), pese a la persistencia de un foco óseo con discreto incremento del SUL.

Este patrón reflejó una respuesta metabólica global favorable con actividad residual localizada, información clave para la toma de decisiones terapéuticas, ver Figura 1 y 2.

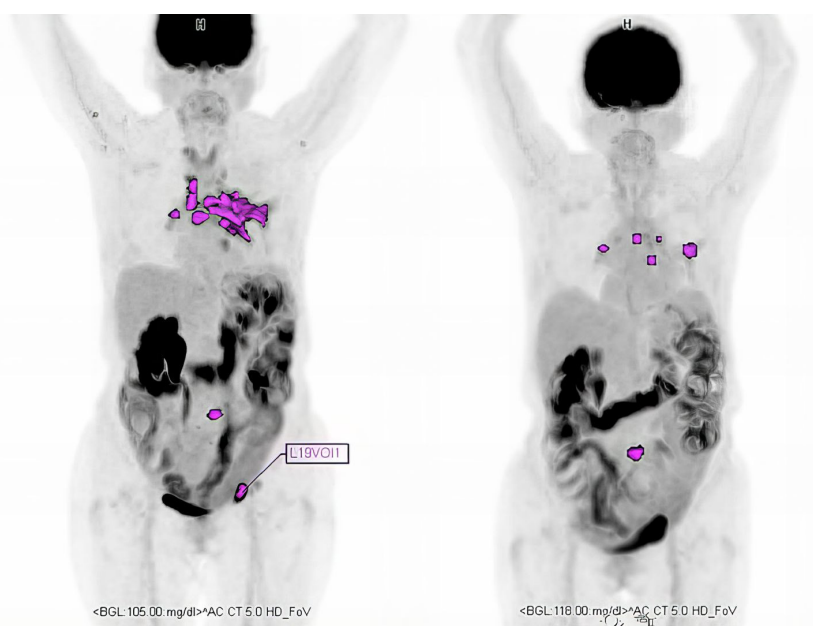
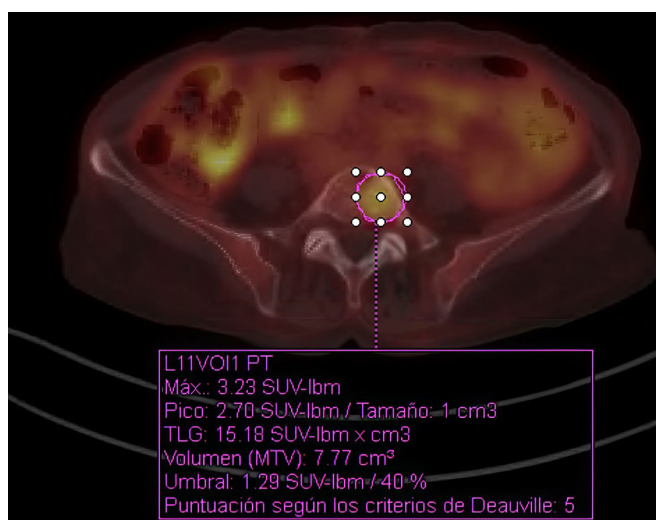


Figura 1. Las imágenes PET segmentadas comparativas demuestran, una respuesta metabólica parcial global por reducción significativa de la carga tumoral metabólica total. Sin embargo, se documenta progresión metabólica focal (PMD según PERCIST) en la lesión ósea de L5, previamente conocida, evidenciada por incremento del SUL. Este patrón define una respuesta metabólica heterogénea, con progresión puntual clínicamente relevante pese a la mejoría global.

Fuente: Propia del autor, cortesía de la Dra. Paulina Irigoyen.

Figura 2. En la imagen de fusión PET/CT segmentada de reestadificación en cáncer de mama bilateral, se evidencia respuesta metabólica parcial global por disminución de la carga tumoral total. No obstante, en comparación con el estudio previo, la segmentación demuestra progresión metabólica focal ósea en L5, con incremento del SUL (3.02 → 3.23), cumpliendo criterios de progresión metabólica según PERCIST 1.0. Este hallazgo define una respuesta metabólica heterogénea, con implicaciones directas en el ajuste terapéutico.

Fuente: Propia del autor, cortesía de la Dra. Paulina Irigoyen.



Caso 2: Cáncer de pulmón con progresión metabólica global

En un paciente con carcinoma pulmonar mucoepidermoide, la cuantificación seriada mostró incremento concordante del MTV, TLG y SULpeak, confirmando progresión metabólica sistémica. La integración de estas métricas permitió objetivar la progresión más allá de la evaluación visual aislada, ver Figura 3 y 4.

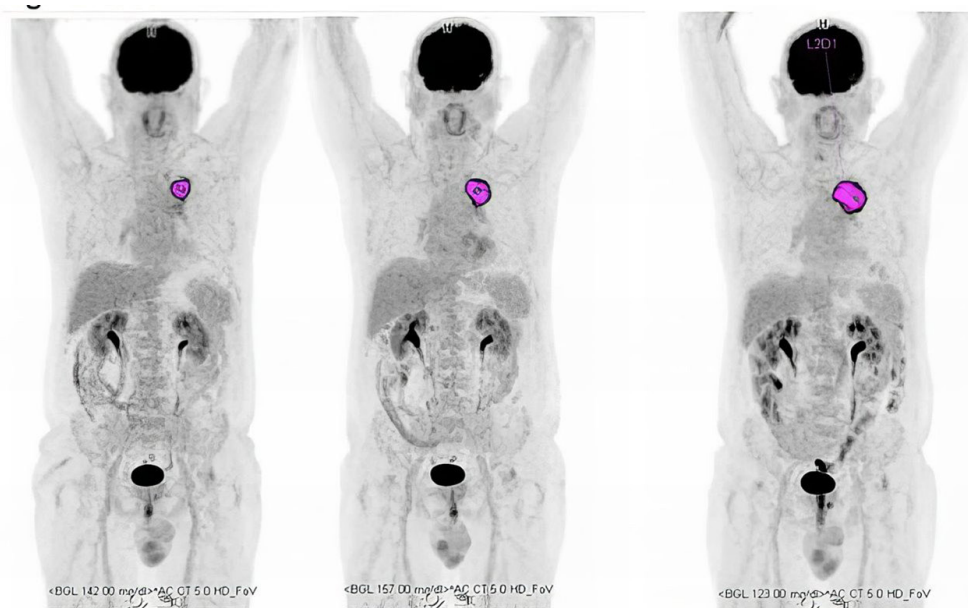


Figura 3. La imagen PET segmentada muestra la delimitación tridimensional del tejido tumoral metabólicamente activo en una lesión pulmonar, resaltando la captación periférica intensa y la presencia de necrosis central.

Fuente: Propia del autor, cortesía de la Dra. Paulina Irigoyen.

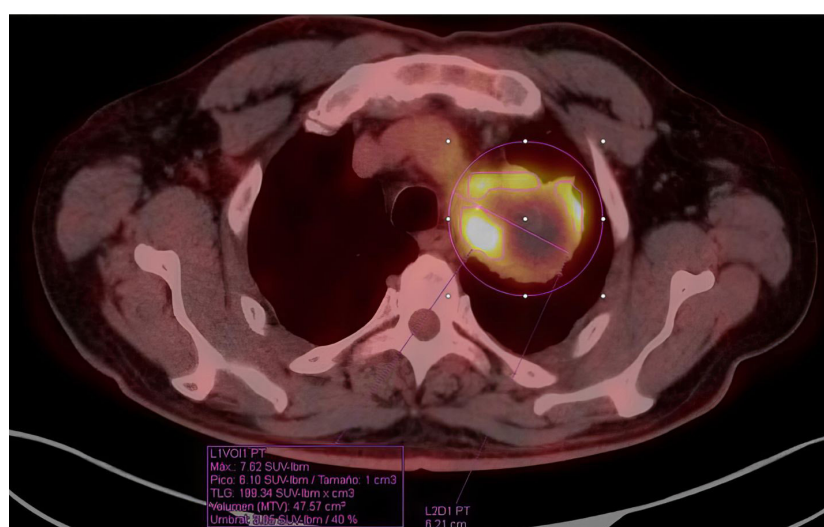


Figura 4. Imagen axial segmentada de fusión PET/CT que evidencia heterogeneidad metabólica intralesional, con captación periférica intensa y necrosis central, explicando la discordancia entre mediciones puntuales y la carga tumoral global. En comparación con el estudio previo, se observa incremento del SULpeak de 5.84 a 7.62 (+30.5%), con aumento del MTV de 35.24 a 47.57 cm³ (+35%) y de la TLG de 148.54 a 199.34 (+34.2%), compatible con progresión metabólica locorregional. No se identifican nuevos focos hipermetabólicos a distancia, confirmando un aumento robusto de la carga tumoral viable.

Fuente: Propia del autor, cortesía de la Dra. Paulina Irigoyen.

Conclusiones

El PET/CT con ^{18}F -FDG ha evolucionado de una herramienta descriptiva a un método cuantitativo clave en oncología. La segmentación de imágenes y el uso de métricas como el volumen tumoral metabólico (MTV) y la glucólisis tumoral total (TLG) permiten evaluar de forma objetiva la carga tumoral, la agresividad biológica y la respuesta al tratamiento.

El impacto real de estas herramientas depende de que el médico clínico comprenda e interprete adecuadamente estos parámetros. El dominio de conceptos como segmentación, MTV, TLG, SUL y criterios PERCIST es indispensable para una toma de decisiones terapéuticas informada.

La imagen segmentada constituye además la base para el desarrollo de la radiómica y de modelos predictivos de respuesta. La formación del clínico en estas nuevas tecnologías no es opcional, sino esencial.

Su adecuada integración impulsa una oncología de precisión basada en datos objetivos.

Conflicto de interés: Los autores declaran no presentar conflicto de interés.

Información sobre fuentes de financiamiento: Financiamiento propio de los autores.

Identificación de la responsabilidad del autor y grado de contribución de los autores: Todos los autores participaron en la concepción y diseño del estudio, análisis e interpretación de la información clínica e imagenológica, revisión bibliográfica, redacción del manuscrito y aprobación de la versión final para su publicación. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo y asumen la responsabilidad de su contenido.

Bibliografía

- García Vicente, A.M., Lucas Lucas, C., Pérez-Beteta, J. et al. Analytical performance validation of aPROMISE platform for prostate tumor burden, index and dominant tumor assessment with ^{18}F -DCFPyL PET/CT. A pilot study. *Sci Rep* 14, 3001 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53683-z>
- Boellaard R, Herrmann K, Barrington SF, Cranston I, Mottaghy FM, Hoekstra CJ, et al. ^{18}F FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 3.0. *The EANM Journal*. 2025;1:100006. doi: 10.1016/j.eanmi.2025.100006.
- Ebner R, Sheikh GT, Brendel M, Ricke J, Cyran CC. ESR Essentials: staging and restaging with FDG-PET/CT in oncology—practice recommendations by the European Society for Hybrid, Molecular and Translational Imaging. *Eur Radiol*. 2025;35(4):1894-1902. doi: 10.1007/s00330-024-11094-8. PMID: 39384589
- Sunderland JJ, Boellaard R, Dickson JC, Graves SA, Bailey DL. Standardization of PET/CT Performance Requirements for Whole-Body Quantitative Imaging: An International Proposal. *J Nucl Med*. 2025;66(10):1506-1515. doi: 10.2967/jnumed.124.269349.
- Im HJ, Bradshaw T, Solaiyappan M, Cho SY. Current Methods to Define Metabolic Tumor Volume in Positron Emission Tomography: Which One is Better? *Nucl Med Mol Imaging*. 2018 Feb;52(1):5-15. doi: 10.1007/s13139-017-0493-6. Epub 2017 Sep 19. PMID: 29391907; PMCID: PMC5777960.
- Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, Aerts HJWL, Andrearczyk V, Apte A, et al. The Image Biomarker Standardisation Initiative: Standardized Quantitative Radiomics for High-Throughput Image-based Phenotyping. *Radiology*. 2020;295(2):328-38.
- Cottreau AS, Rebaud L, Trotman J, Feugier P, Nastoupil LJ, Bachy E, Flinn IW, Haioun C, Ysebaert L, Bartlett NL, Tilly H, Casasnovas O, Ricci R, Portugues C, Buvat I, Meignan M, Morschhauser F. Metabolic tumor volume predicts outcome in patients with advanced stage follicular lymphoma from the RELEVANCE trial. *Ann Oncol*. 2024 Jan;35(1):130-137. doi: 10.1016/j.annonc.2023.10.121. Epub 2023 Oct 28. PMID: 37898239.
- Cárcamo Ibarra PM, López González UA, Esteban Hurtado A, Navas de la Cruz MA, Asensio Valero L, Díez Domingo S. Progreso y utilidad actual de la radiómica dentro del estudio PET/TC en cáncer de mama no metastásico: una revisión sistemática. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol*. 2023;42(2):83-92. doi: 10.1016/j.remnm.2022.08.005.
- GÖKSEL S, CENGİZ A, ÖZTÜRK H, YÜREKLİ Y. The Prognostic Significance of Metabolic Tumor Volume and Total Lesion Glycolysis Measured by ^{18}F -FDG PET/CT in Patients with NSCLC. *J Oncol Sci*. ;7(3):150-158. doi: 10.37047/jos.2021-86651.
- Aide N, et al. FDG PET/CT for assessing tumour response to immunotherapy: Report on the EANM symposium on immune modulation and recent review of the literature. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(1):238-250. doi: 10.1007/s00259-018-4171-4
- Laforest R, et al. Harmonization of PET image reconstruction parameters in simultaneous PET/MRI. *EJNMMI Phys*. 2021;8(1):75. doi: 10.1186/s40658-021-00416-0.
- Filippi L, Urso L, Manco L, et al. Insights into PET-based radiogenomics in oncology: an updated systematic review. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2025;52(11):4184-4199. doi: 10.1007/s00259-025-07262-7.
- Moghrabi S, Rahmin A, McKee T, Aerts HJWL, Hirsh A. Integrating PET/CT into Breast Cancer Care: A Review of Recent Developments and Future Perspectives. *Expert Rev Anticancer Ther*. 2025;25(1):15-28.
- Salimi Y, Mansouri Z, Shiri I, Mainta I, Zaidi H. Deep Learning-Powered CT-Less Multitracer Organ Segmentation From PET Images: A Solution for Unreliable CT Segmentation in PET/CT Imaging. *Clin Nucl Med*. 2025 Apr 1;50(4):289-300. doi: 10.1097/RLU.0000000000005685. Epub 2025 Jan 28. PMID: 39883026; PMCID: PMC11878580.
- Gutman F, Poncin D, Guedec-Ghelfi R, Génin R, David PM, Cuif A, Popinat G, Nogueira V, Aide N. Systematic double reading for oncological PET/CT scans: insights from a prospective multicentre study in 678 patients. *EJNMMI Rep*. 2025 Jun 13;9(1):19. doi: 10.1186/s41824-025-00253-9. PMID: 40506659; PMCID: PMC12162450.
- Arshad, M.F.; Chowdhury, A.T.; Sharif, Z.; Islam, M.S.B.; Sumon, M.S.I.; Mohammedkasim, A.; Chowdhury, M.E.H.; Pedersen, S. Artificial Intelligence and Machine Learning in Lung Cancer: Advances in Imaging, Detection, and Prognosis. *Cancers* 2025, 17, 3985. <https://doi.org/10.3390/cancers17243985>