



Innovaciones en Imagenología

María Isabel Lasprilla Urrego

Innovaciones en Imagenología

IMPORTANTE

La información aquí presentada no pretende sustituir el consejo profesional en situaciones de crisis o emergencia. Para el diagnóstico y manejo de alguna condición particular es recomendable consultar un profesional acreditado.

Cada uno de los artículos aquí recopilados son de exclusiva responsabilidad de sus autores.

ISBN: 978-628-7821-16-3

Una producción © Cuevas Editores SAS

Avenida Carrera 14 No. 58 - 26

Bogotá, Colombia

Noviembre 2025

www.cuevaseditores.com

Editado en Colombia - Edited in Colombia

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Índice

Diagnóstico por Imagen en Patología Oncológica

6

María Isabel Lasprilla Urrego

Prólogo

Pocas disciplinas médicas han evolucionado tan drásticamente como la imagenología. Hemos pasado de simplemente "ver" la anatomía a "interrogar" la biología tumoral , evaluando su función, metabolismo y composición molecular.

"Innovaciones en Imagenología" documenta este cambio de paradigma. Hoy, la imagenología es un pilar indispensable en la oncología moderna , proporcionando información vital en cada etapa de la enfermedad , desde la estadificación precisa hasta la evaluación de la respuesta al tratamiento.

Esta obra explora los avances que definen la práctica actual , incluyendo las técnicas emergentes como la radiómica y la inteligencia artificial , que están cerrando la brecha entre los hallazgos radiológicos y la biología subyacente del tumor. Este texto es una guía esencial para comprender el presente y el futuro de esta disciplina dinámica.

Diagnóstico por Imagen en Patología Oncológica

María Isabel Lasprilla Urrego

Puntos Clave

- El diagnóstico por imagen es un pilar fundamental en la oncología moderna, actuando como un puente no invasivo entre la presentación clínica y la confirmación histopatológica.
- Las modalidades de imagen han evolucionado de la evaluación anatómica (TC, RM) a la caracterización funcional, metabólica y molecular (PET, RM funcional, Radiómica).
- La estadificación precisa (TNM) y la re-estadificación post-tratamiento dependen críticamente de hallazgos radiológicos validados.
- Las técnicas emergentes, como la radiómica y la inteligencia artificial, están permitiendo extraer datos cuantitativos de las imágenes para predecir el comportamiento del tumor, la respuesta al tratamiento y el pronóstico.
- La integración de la imagenología en los comités de tumores multidisciplinarios (MDT) es esencial para la toma de decisiones terapéuticas óptimas.

Introducción

El manejo del paciente oncológico es un esfuerzo inherentemente multidisciplinario. Dentro de este paradigma, el diagnóstico por imagen representa una de las herramientas más dinámicas y cruciales, proporcionando información vital en cada etapa de la enfermedad: desde el cribado y la detección temprana, pasando por el diagnóstico y la caracterización de lesiones, hasta la estadificación precisa, la planificación del tratamiento, la evaluación de la respuesta y la vigilancia a largo plazo [1].

Históricamente, la radiología oncológica se centraba en la detección de anomalías anatómicas: la presencia de una masa, su tamaño y su invasión a estructuras adyacentes. Sin embargo, el campo ha experimentado una transformación radical. La imagenología moderna ya no solo "ve" el tumor, sino que busca "interrogarlo" [2]. Técnicas funcionales y moleculares permiten evaluar la perfusión sanguínea, la densidad celular, el metabolismo glucolítico y la expresión de receptores específicos en la superficie celular.

Este capítulo aborda las modalidades de imagen contemporáneas utilizadas en la patología oncológica, con un enfoque en los avances que definen la práctica actual. Se discutirán las aplicaciones clínicas de estas técnicas en el continuo asistencial del cáncer y se explorarán los horizontes emergentes, como la radiómica y la teranóstica, que prometen cerrar aún más la brecha entre los hallazgos radiológicos y la biología subyacente del tumor.

Principales Modalidades de Imagen en Oncología

La selección de la modalidad de imagen adecuada depende de múltiples factores: el tipo de cáncer sospechado, la localización anatómica, la pregunta clínica específica (p. ej., ¿detección o estadificación?) y las características del paciente.

1. Tomografía Computarizada (TC)

La TC sigue siendo el pilar de la imagen oncológica para la estadificación y el seguimiento en la mayoría de los tumores sólidos, especialmente en tórax, abdomen y pelvis [3]. Sus ventajas radican en la rapidez de adquisición, la alta resolución espacial y la amplia disponibilidad.

- **Técnicas Avanzadas en TC:** La **TC de Energía Dual (DECT)** ha ganado una tracción significativa. Al adquirir imágenes en dos niveles de energía de rayos X diferentes, la DECT permite la caracterización de materiales, la diferenciación entre calcio, yodo y tejidos blandos, y la creación de mapas de yodo virtuales que mejoran la detección de lesiones hipervasculares (como el carcinoma hepatocelular) o hipovasculares (metástasis pancreáticas) [3]. Además, los algoritmos de reconstrucción iterativa y, más recientemente, los basados en *deep learning*, han permitido reducir drásticamente la dosis de radiación manteniendo una alta calidad de imagen.

2. Resonancia Magnética (RM)

La RM ofrece una resolución de contraste en tejidos blandos inigualable, sin utilizar radiación ionizante. Es la modalidad de elección en neurooncología, patología musculoesquelética y en la evaluación de tumores de pelvis (recto, próstata, cervix) y mama [4].

- **RM Funcional y Avances Recientes:** El mayor avance en la RM oncológica no es solo anatómico, sino funcional.
 - **Imagen Ponderada por Difusión (DWI):** Mide el movimiento browniano de las moléculas de agua. En tumores altamente celulares (alta malignidad, pobre diferenciación), la difusión está restringida, lo que se traduce en una señal alta en DWI y un valor bajo en el mapa de Coeficiente de Difusión Aparente (ADC). El ADC se utiliza cada vez más como un biomarcador para predecir la respuesta al tratamiento, ya que un aumento en el ADC post-terapia sugiere muerte celular y respuesta [5].
 - **Perfusión (DCE-RM):** La Imagen Dinámica con Contraste (DCE) evalúa la microvasculatura tumoral (angiogénesis) analizando la cinética del gadolinio. Parámetros como el Ktrans (tasa de transferencia del contraste del plasma al espacio extravascular) se correlacionan con la agresividad tumoral.
 - **RM de Cuerpo Entero (WB-MRI):** Especialmente con secuencias de difusión (DWIBS o "PET-like"), la WB-MRI se ha consolidado como una alternativa libre de radiación al PET-TC para la estadificación de linfomas, mieloma múltiple y metástasis óseas [4].

3. Medicina Nuclear e Imagen Híbrida (PET-TC, PET-RM)

La Tomografía por Emisión de Positrones (PET) proporciona información metabólica y molecular. Se utiliza casi exclusivamente en formato híbrido, fusionada con TC (PET-TC) o, más recientemente, con RM (PET-RM).

- **¹⁸F-FDG:** El radiotrazador estándar, un análogo de la glucosa, se acumula en células con alto metabolismo glucolítico (el "efecto Warburg"). Es fundamental en la estadificación de linfomas, cáncer de pulmón, melanoma y muchos otros.
- **Innovaciones en Radiotrazadores:** El desarrollo de radiotrazadores específicos ha revolucionado el manejo de ciertos cánceres (Ver Tabla 3).
 - **⁶⁸Ga-PSMA (Antígeno de Membrana Específico de Próstata):** Ha demostrado una sensibilidad drásticamente superior a la imagen

convencional para detectar enfermedad ganglionar y metastásica en el cáncer de próstata, incluso con niveles bajos de PSA (Antígeno Prostático Específico) [6].

- **^{68}Ga -DOTATATE** Se une a los receptores de somatostatina, siendo el estándar de oro para la estadificación de tumores neuroendocrinos (TNE), superando con creces al ^{18}F -FDG en TNE bien diferenciados [7].
- **PET-RM:** Combina la sensibilidad metabólica del PET con la resolución de contraste superior de la RM. Aunque su implementación es costosa, está demostrando un valor excepcional en oncología pélvica, de cabeza y cuello, y en pediatría [8].

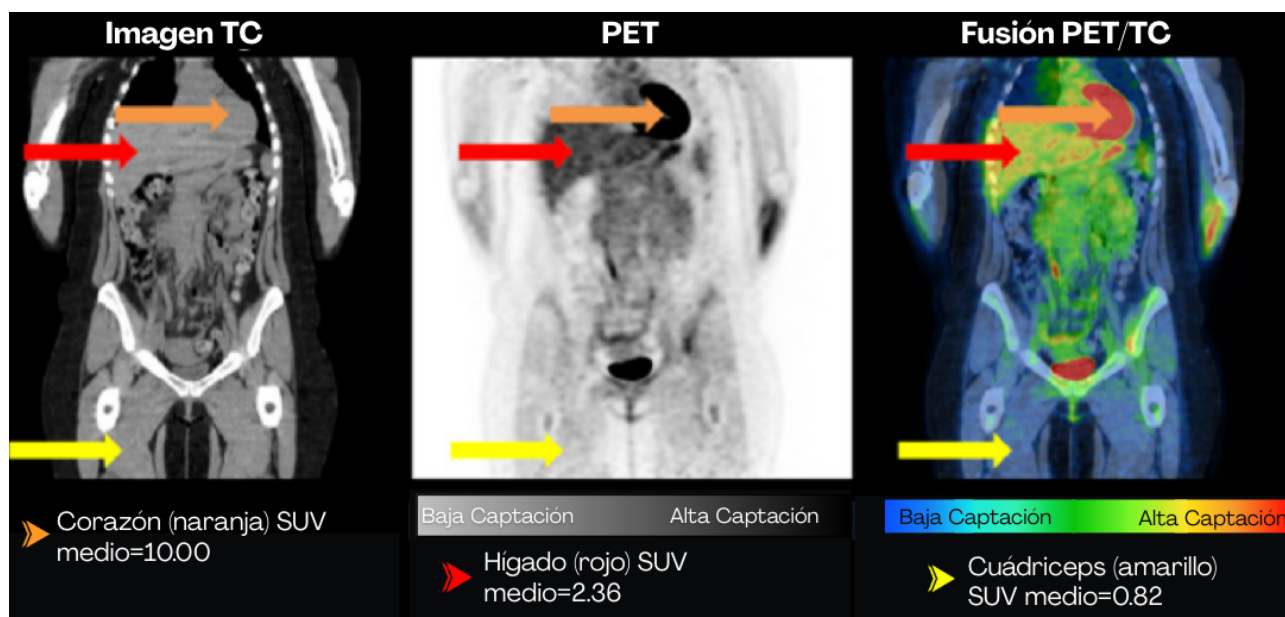


Figura 1. El valor de la imagen híbrida (Fusión PET-TC). De izquierda a derecha: la imagen de TC proporciona el detalle anatómico; la imagen PET muestra la actividad metabólica (captación de ^{18}F -FDG); la imagen fusionada integra ambas, permitiendo la localización precisa del metabolismo en la anatomía. Los valores SUV (Standardized Uptake Value) cuantifican esta actividad. **Fuente:** Vázquez M (s.f.).

4. Ultrasonido (US)

El ultrasonido es una herramienta accesible, en tiempo real y no invasiva. Es excelente para diferenciar lesiones quísticas de sólidas y es la modalidad de primera línea en patología tiroidea, testicular y ginecológica.

• Técnicas Avanzadas de Ultrasonido:

- **Ultrasonido con Contraste (CEUS):** Utiliza microburbujas como agente de contraste intravascular. A diferencia del contraste de TC/RM, estas microburbujas no se extravasan. El CEUS es excepcional para la caracterización de lesiones hepáticas focales (distinguiendo hemangiomas, hiperplasia nodular focal y metástasis) y en la evaluación de la perfusión en lesiones renales [9].
- **Elastografía:** Mide la rigidez (dureza) de los tejidos. Se ha establecido como un método no invasivo para estadificar la fibrosis hepática, pero en oncología, se usa para caracterizar nódulos tiroideos, mamarios y prostáticos, donde una mayor rigidez se correlaciona con malignidad.

Tabla 1. Comparativa de las Principales Modalidades de Imagen en Oncología

Modalidad	Principio Físico	Ventajas Clave en Oncología	Limitaciones Clave
-----------	------------------	-----------------------------	--------------------

TC	Atenuación de Rayos X	• Rapidez • Alta resolución espacial • Excelente para tórax/abdomen (TNM).	• Radiación ionizante • Bajo contraste en tejidos blandos • Riesgo de contraste yodado.
RM	Alineación de protones (H+) en campo magnético	• Superior contraste en tejidos blandos • Funcional (DWI, perfusión) • Sin radiación ionizante.	• Costo elevado • Tiempo de examen prolongado • Contraindicaciones (implantes metálicos) • Claustrofobia.
PET-TC	Detección de aniquilación de positrones (metabolismo) + Anatomía (TC)	• Imagen de cuerpo entero • Alta sensibilidad para enfermedad activa/metastásica • Evaluación de respuesta metabólica.	• Radiación ionizante (ambas fuentes) • Baja especificidad (captación en inflamación) • Costoso • Limitado por la vida media del trazador.
US	Reflexión de ondas de sonido	• Tiempo real • Sin radiación • Bajo costo • Guía para biopsias • Doppler (flujo) • CEUS (perfusión).	• Dependiente del operador • Penetración limitada (obesidad, gas) • Dificultad para evaluar hueso y pulmón.

Fuente: Modificado de datos de Padhani AR, et al. (2021) y Aacr Project Genie Consortium (2022).

Aplicaciones Clínicas de la Imagen en el Continuo Oncológico

1. Detección y Cribado

El objetivo del cribado es detectar el cáncer en etapas preclínicas y asintomáticas. La TC de baja dosis (LDCT) es el estándar aceptado para el cribado de cáncer de pulmón en poblaciones de alto riesgo (fumadores pesados), habiendo demostrado una reducción de la mortalidad [10]. La mamografía, complementada con tomosíntesis (mamografía 3D) y RM en pacientes de alto riesgo, sigue siendo la piedra angular del cribado de cáncer de mama.

2. Caracterización y Diagnóstico

Una vez detectada una lesión, la imagen busca caracterizarla como benigna o maligna, orientando la necesidad de una biopsia. Aquí es donde las técnicas funcionales (DWI, PET, CEUS) son cruciales. Por ejemplo, un nódulo pulmonar sólido que no muestra captación de ^{18}F -FDG en el PET tiene un valor predictivo negativo muy alto para malignidad.

3. Estadificación (TNM)

La estadificación precisa es la aplicación más crítica de la imagen oncológica, ya que define el pronóstico y la estrategia terapéutica (cirugía vs. quimiorradioterapia vs. terapia sistémica). La TC de tórax, abdomen y pelvis es la herramienta estándar para la evaluación T (tamaño/invasión local), N (ganglios) y M (metástasis) en la mayoría de los tumores. La RM es superior para la estadificación T local en cáncer de recto, cérvix y próstata. El PET-TC es superior para la estadificación N y M en linfomas, melanoma y cáncer de pulmón [1, 8].

4. Radiología Intervencionista: Terapia Guiada por Imagen

La Radiología Intervencionista (RI) es la rama terapéutica de la imagenología. Actúa como el puente directo entre el diagnóstico y el tratamiento mínimamente invasivo. Más allá de su papel fundamental en la obtención de tejido, la RI se ha consolidado como un pilar del tratamiento oncológico moderno, ofreciendo opciones curativas y paliativas con menor morbilidad que la cirugía abierta.

Obtención de Tejido (Biopsia Guiada)

La patología requiere tejido. La RI utiliza la guía en tiempo real (principalmente Ultrasonido) o transversal (TC) para dirigir agujas de biopsia con precisión milimétrica a prácticamente cualquier lesión en el cuerpo (hígado, pulmón, riñón, hueso, ganglios linfáticos profundos). Como se discutió en la sección de correlación radiopatológica, el valor moderno de la RI radica en la biopsia dirigida por hábitats, muestreando la zona biológicamente más agresiva identificada en imágenes funcionales (PET o RM) [11, 16].

Terapias Ablativas Locales

El objetivo de la ablación es la destrucción tumoral *in situ* (necrosis coagulativa) sin extirpación quirúrgica. Estas técnicas son de intención curativa en tumores tempranos (< 3-4 cm) de hígado, riñón y pulmón, especialmente en pacientes que no son candidatos a cirugía.

- **Ablación por Radiofrecuencia (RFA) y Microondas (MWA):** Son las terapias hipotérmicas más utilizadas. Se introducen agujas especializadas en el tumor que emiten energía (radiofrecuencia u microondas) para generar calor extremo (> 60°C), cocinando el tejido y destruyendo las células cancerosas. La MWA ha ganado popularidad por su capacidad para crear zonas de ablación más grandes y rápidas, menos afectadas por el "efecto disipador de calor" de los vasos sanguíneos cercanos.
- **Crioablación:** Utiliza el principio opuesto: la inserción de crio-sondas que liberan gas argón para crear una "bola de hielo" que alcanza temperaturas de -40°C o menos. El frío extremo induce lisis celular por cristalización. Sus ventajas incluyen una excelente visualización de la zona de ablación (la bola de hielo es visible en TC/RM) y un menor dolor, siendo preferida cerca de estructuras críticas como nervios o el sistema colector renal.

Terapias Intraarteriales (Dirigidas al Hígado)

El hígado es un objetivo único para la RI, ya que la mayoría de los tumores hepáticos (tanto primarios como metastásicos) reciben su irrigación sanguínea casi exclusivamente de la arteria hepática, mientras que el parénquima hepático normal la recibe en un 75% de la vena porta. Esta vascularización dual permite administrar terapias de forma súper-selectiva a través de la arteria hepática.

- **Quimioembolización (TACE):** Es el estándar de tratamiento para el carcinoma hepatocelular (CHC) en estadio intermedio. Mediante un catéter, se inyectan partículas embólicas mezcladas con un agente de quimioterapia (p. ej., doxorubicina) directamente en la arteria que nutre al tumor. Esto logra un doble ataque: isquemia (corte del flujo sanguíneo) y citotoxicidad (alta concentración local de fármaco).
- **Radioembolización (TARE o SIRT):** También conocida como Radioterapia Interna Selectiva. Esta técnica utiliza la misma vía intraarterial para administrar millones de microesferas cargadas con un radioisótopo emisor de radiación beta, principalmente ⁹⁰Ytrio (Y-90). Estas esferas se alojan permanentemente en la microvasculatura del tumor y emiten una dosis muy alta de radiación interna y localizada, preservando el tejido hepático sano [20].

5. Evaluación de la Respuesta al Tratamiento

Determinar si un tratamiento está funcionando es vital. Los criterios morfológicos (basados en el tamaño) han sido el estándar durante décadas.

- **RECIST 1.1 (Response Evaluation Criteria in Solid Tumors):** Sigue siendo el más utilizado en ensayos clínicos. Mide la suma de los diámetros más largos de las

"lesiones diana". Una reducción >30% es "Respuesta Parcial"; un aumento >20% es "Enfermedad Progresiva" [12].

Sin embargo, RECIST tiene limitaciones significativas. Las terapias modernas (inmunoterapia, antiangiogénicos) pueden no reducir el tamaño del tumor inicialmente, pero sí reducir su viabilidad. Esto ha llevado al desarrollo de nuevos criterios (Ver Tabla 2).

- **Desafíos en la Evaluación de Terapias Modernas:** La inmunoterapia ha supuesto un reto, ya que puede causar "pseudoprogresión" (un aumento transitorio del tamaño tumoral debido a la infiltración linfocitaria). Los criterios iRECIST (inmuno-RECIST) fueron desarrollados para manejar esto, requiriendo la confirmación de la progresión en un estudio posterior [12].
- **PERCIST (PET Response Criteria):** Evalúa la respuesta metabólica basada en la reducción de la captación de ^{18}F -FDG (medida por el SUV - Standardized Uptake Value), que a menudo precede a la reducción anatómica [13].

Tabla 2. Criterios Seleccionados para la Evaluación de la Respuesta Tumoral

Criterio	Modalidad Principal	Base de la Medición	Aplicación Clínica Clave
RECIST 1.1	TC / RM	Morfológica (Tamaño)	Mayoría de tumores sólidos en ensayos clínicos.
mRECIST	TC / RM (con contraste)	Viabilidad (Realce arterial)	Carcinoma hepatocelular (evaluación post-TACE).
PERCIST 1.0	PET-TC (^{18}F -FDG)	Metabólica (Cambio en SUVmax)	Tumores con alta avidéz por FDG (Linfoma, pulmón).
iRECIST	TC / RM	Morfológica (con adaptaciones)	Pacientes recibiendo inmunoterapia (inhibidores de checkpoint).
Lugano	PET-TC (^{18}F -FDG)	Combinada (Metabólica y tamaño)	Estándar para linfomas (usa la escala de Deauville).

Fuente: Adaptado de Schwartz LH, et al. J Clin Oncol. 2022 [12]; y Johnson SA, et al. Radiology. 2023.

6. Flujo de Trabajo Integrado: Un Caso Clínico (Cáncer de Pulmón)

Para ilustrar cómo estas modalidades se integran en el continuo asistencial, consideremos un caso hipotético de un paciente de 62 años, fumador pesado, en un programa de cribado.

1. **Detección (Cribado):** Al paciente se le realiza una TC de baja dosis (LDCT), como se recomienda para poblaciones de alto riesgo. El estudio revela un nódulo pulmonar sólido, espiculado, de 15 mm en el lóbulo superior derecho, altamente sospechoso.
2. **Caracterización y Estadificación N/M:** Para caracterizar el nódulo y realizar una estadificación sistémica en un solo paso, se solicita un PET-TC con ^{18}F -FDG. El PET-TC confirma que el nódulo es intensamente hipermetabólico (SUVmax 12.4), consistente con malignidad. Además, identifica un ganglio paratraqueal ipsilateral también hipermetabólico (estación 4R), sospechoso de enfermedad N2, y una lesión hipermetabólica solitaria en la glándula suprarrenal izquierda, sospechosa de metástasis (M1).
3. **Estadificación T y M (Cerebro):** Se realiza una RM de cerebro con contraste, que es la modalidad de elección para la detección de metástasis cerebrales (un sitio común para el cáncer de pulmón), la cual resulta negativa. La TC inicial define la estadificación T local.
4. **Obtención de Tejido (Diagnóstico):** A pesar de la alta sospecha en el PET, se requiere confirmación histopatológica y molecular. El paciente es llevado a Radiología Intervencionista (RI). Bajo guía de TC, se realiza una biopsia con aguja

gruesa (core) de la lesión suprarrenal (el sitio metastásico más accesible), confirmando un adenocarcinoma de pulmón.

5. **Evaluación de la Respuesta:** El paciente inicia terapia sistémica (inmunoterapia). A los 3 meses, un PET-TC de control, evaluado mediante criterios PERCIST, muestra una resolución metabólica completa en el nódulo pulmonar, el ganglio 4R y la lesión suprarrenal. Un TC de seguimiento, evaluado por criterios RECIST 1.1, confirma una reducción del 60% en la suma de diámetros de las lesiones diana. El paciente es clasificado con una "Respuesta Parcial" (RECIST) y "Respuesta Metabólica Completa" (PERCIST).

Este flujo de trabajo demuestra cómo las diferentes modalidades (LDCT, PET-TC, RM y biopsia guiada por imagen) no compiten, sino que se complementan en cada etapa del manejo del paciente [24].

La Correlación Radiopatológica: De la Imagen al Microscopio

El título de este capítulo subraya una sinergia fundamental: la imagenología no es un fin en sí misma, sino un mapa de precisión para el patólogo. El diagnóstico histopatológico, aunque es el "estándar de oro", se enfrenta a un desafío biológico crítico que la imagen moderna ayuda a resolver: la heterogeneidad tumoral [16].

Los tumores no son masas uniformes; son ecosistemas complejos con distintas subregiones (o "hábitats") que varían en celularidad, vascularización, oxigenación y expresión génica. Una biopsia por aguja, especialmente en una lesión grande, está sujeta a un error de muestreo: puede extraer tejido de una zona de bajo grado e "ignorar" un componente de alto grado, llevando a una subestadificación y a un tratamiento subóptimo [17].

Aquí es donde la imagenología funcional transforma la patología. El concepto de "biopsia guiada por hábitats" (*habitat-guided biopsy*) utiliza la imagen multiparamétrica para identificar y muestrear selectivamente las regiones biológicamente más agresivas [16].

En la práctica clínica, esto significa que el radiólogo puede guiar activamente la aguja de biopsia, no solo a la masa visible, sino a la *región más sospechosa* dentro de ella:

1. **En Cáncer de Próstata:** La RM multiparamétrica (RMmp) identifica zonas con restricción severa a la difusión (ADC bajo), que se correlacionan con tumores de alto grado (Gleason > 4). La biopsia por fusión RM-Ecografía dirigida a esta zona (PI-RADS 5) tiene una probabilidad significativamente mayor de detectar el componente de Gleason más agresivo, cambiando drásticamente el manejo del paciente [5].
2. **En Gliomas:** La RM con perfusión puede identificar zonas de neovascularización (alto rCBV), y la espectroscopía puede mostrar picos de colina (alta proliferación). Estas zonas son los objetivos preferidos para la biopsia estereotáctica, ya que aseguran el diagnóstico del componente de más alto grado (p. ej., Glioblastoma) dentro de un tumor de apariencia mixta.

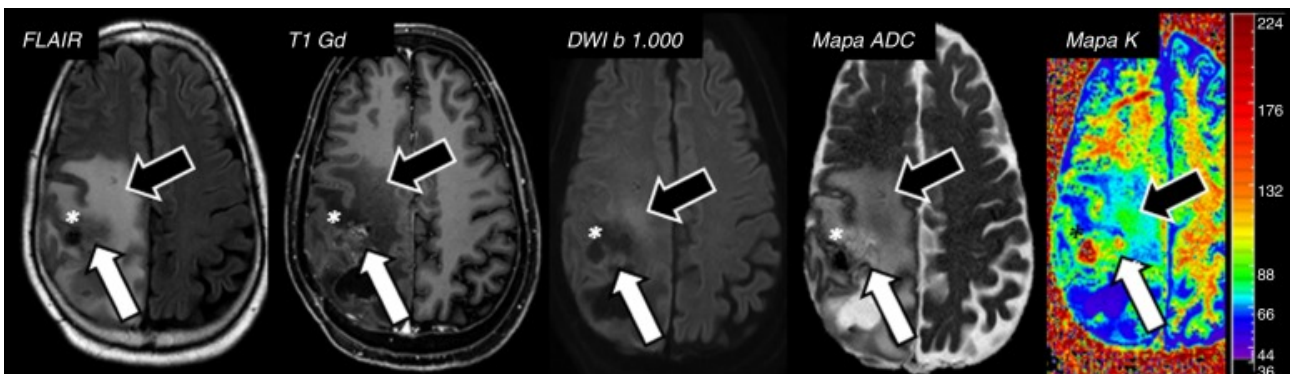


Figura 2. RM multiparamétrica (RMmp) demostrando la heterogeneidad tumoral en un glioma de alto grado. Las diferentes secuencias (FLAIR, T1 con contraste, DWI, ADC y Mapa de Perfusión) no son uniformes. Las flechas indican diferentes "hábitats" biológicos dentro de la misma lesión. Notar la zona de restricción a la difusión (brillante en DWI, oscura en ADC; flechas), indicativa de alta celularidad y objetivo clave para la biopsia guiada por hábitats. **Fuente:** Martín Noguerol T, Martínez Barbero JP (2017).

3. **En Linfomas:** En un paciente con múltiples adenopatías, el PET-TC con ^{18}F -FDG identifica el ganglio más hipermetabólico (mayor SUVmax), que es el sitio preferido para la biopsia excisional, ya que tiene la mayor probabilidad de albergar enfermedad de alto grado (p. ej., transformación a Linfoma B Difuso de Célula Grande) [13].

Esta correlación es bidireccional. Mientras la imagen guía al patólogo, el análisis histopatológico y genómico valida los hallazgos de la imagen. Esta sinergia es la base de la **radiogenómica**, que busca correlacionar las características de imagen cuantitativas (radiómica) con fenotipos genéticos subyacentes (p. ej., predecir el estado de mutación IDH en un glioma directamente desde la RM). La imagen, por lo tanto, proporciona el contexto macroscópico de la heterogeneidad, y la patología proporciona la verdad fundamental a nivel microscópico y molecular [14, 17].

El Informe Radiológico y la Comunicación en el Comité de Tumores (MDT)

La síntesis de la imagenología funcional y la patología solo se traduce en un beneficio para el paciente si se comunica de manera clara, precisa y accionable. El informe radiológico ha evolucionado de ser una narración descriptiva a convertirse en una herramienta de decisión cuantitativa, fundamental para la medicina de precisión.

El informe narrativo tradicional de texto libre es propenso a la variabilidad, la omisión de datos críticos y dificulta la comparación longitudinal en los estudios de seguimiento. Para solventar esto, la adopción de Informes Estructurados (IE) es un estándar creciente en la oncología moderna. Utilizando plantillas estandarizadas (siguiendo el concepto de sistemas como PI-RADS o los criterios RECIST), el IE asegura que todos los elementos críticos para la toma de decisiones (estadificación TNM, mediciones basales, valores cuantitativos clave como el SUVmax o el ADC, y la respuesta al tratamiento) estén presentes y claramente delineados [23].

Las ventajas del IE van más allá de la claridad; transforman el informe en datos "computables". Esto es crucial, ya que facilita la minería de datos para la investigación, la radiómica y el entrenamiento de algoritmos de inteligencia artificial.

Sin embargo, la comunicación no termina en el informe. El pilar de la oncología contemporánea es la participación activa del radiólogo en el Comité de Tumores Multidisciplinario (MDT). En este foro, el radiólogo trasciende su papel de proveedor de datos para convertirse en un consultor integral. Es en el MDT donde se contextualizan los hallazgos complejos (como diferenciar fibrosis post-RT de recurrencia o advertir sobre una pseudoprogresión en inmunoterapia), se integran las imágenes con la genómica y la clínica, y se define colectivamente la estrategia terapéutica óptima. La comunicación efectiva y la estandarización de informes en el MDT han demostrado mejorar la adherencia a las guías clínicas y los resultados para el paciente [23].

Desafíos y Errores Comunes (Pitfalls) en la Interpretación

Si bien la imagenología moderna ofrece una precisión sin precedentes, no está exenta de desafíos interpretativos. El conocimiento de estos "pitfalls" o errores comunes es fundamental para evitar diagnósticos incorrectos y decisiones terapéuticas inapropiadas.

1. La Especificidad Limitada del ^{18}F -FDG

El ^{18}F -FDG es el caballo de batalla de la imagen metabólica, pero su captación no es específica de malignidad. El metabolismo elevado de la glucosa es una característica de muchas células viables en proliferación, no solo del cáncer.

- **Falsos Positivos:** Numerosas condiciones inflamatorias e infecciosas pueden simular malignidad en el PET. Procesos granulomatosos (sarcoidosis, tuberculosis), infecciones fúngicas, abscesos y cambios postquirúrgicos inflamatorios pueden mostrar una captación de FDG intensa [7]. La correlación con los hallazgos morfológicos de la TC (p. ej., calcificaciones, patrones de distribución) y el contexto clínico es esencial.
- **Falsos Negativos:** No todos los tumores son ávidos de FDG. Ciertos subtipos histológicos son conocidos por su baja captación, lo que puede llevar a una subestadificación si se confía únicamente en el PET. Esto incluye:
 - Tumores de bajo grado (p. ej., tumores neuroendocrinos bien diferenciados, que se evalúan mejor con ^{68}Ga -DOTATATE).
 - Carcinoma hepatocelular bien diferenciado.
 - Ciertos adenocarcinomas mucinosos (pulmón, colorrectal).
 - Tumores pequeños, por debajo de la resolución espacial del escáner (generalmente $< 5\text{-}7\text{ mm}$).

2. Desafíos en la Evaluación Post-Tratamiento

La anatomía tratada es compleja. La cirugía, la radioterapia (RT) y la terapia sistémica alteran la morfología tisular, dificultando la diferenciación entre cambios esperados y recurrencia de la enfermedad.

- **Fibrosis vs. Recurrencia:** Este es uno de los mayores dilemas en la vigilancia oncológica, especialmente tras la RT (p. ej., en cáncer de recto, cervix o cabeza y cuello). El tejido cicatricial fibrótico puede formar una "masa" que capta contraste. La imagen funcional es clave: la RM multiparamétrica puede diferenciar la fibrosis (hipocelular, con señal T2 baja y ADC alto) de la recurrencia tumoral (hipercelular, con señal T2 intermedia y ADC bajo, usualmente hipermetabólica en PET) [18].
- **Radionecrosis vs. Progresión Tumoral:** Particularmente relevante en neurooncología tras la radiocirugía estereotáctica (SRS) para metástasis cerebrales. Ambas entidades pueden presentarse como lesiones captantes de contraste en crecimiento. Técnicas avanzadas como la RM con perfusión (la radionecrosis suele ser hipoperfundida, mientras que el tumor es hiperperfundido) o la espectroscopía (picos de lípidos/lactato en necrosis) son necesarias para esta distinción [19].

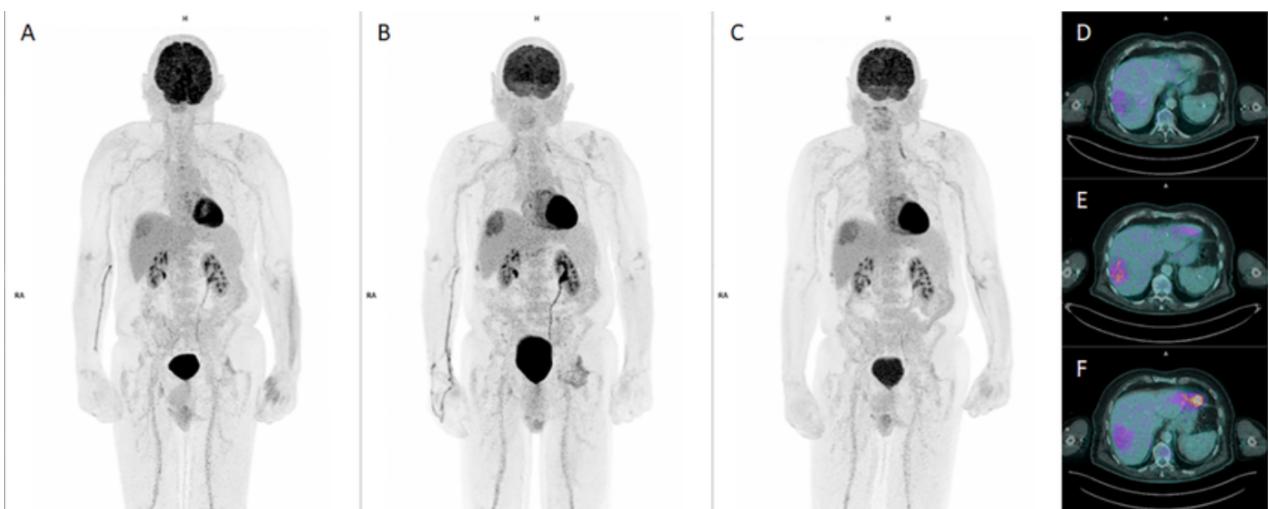


Figura 3. Ejemplo de pseudoprogresión en un paciente con inmunoterapia. (A) PET-TC basal. (B) A los 3 meses, aparece una nueva lesión hipermetabólica en el hígado (flecha), lo que mimetiza una progresión de la enfermedad. (C) Tras continuar con la terapia, un estudio de seguimiento muestra la resolución completa de la lesión, confirmando que se trataba de una respuesta inflamatoria transitoria (pseudoprogresión) y no de una progresión tumoral real. **Fuente:** ResearchGate (2023).

- **Pseudoprogresión en Inmunoterapia:** Como se mencionó en la Tabla 2 con los criterios iRECIST, los inhibidores de *checkpoint* pueden inducir una inflamación transitoria (infiltración de células T) que mimetiza una progresión de la enfermedad (aumento de tamaño y captación de FDG). Reconocer este fenómeno evita la suspensión prematura de un tratamiento efectivo [13].

3. Artefactos Técnicos

La DWI, aunque fundamental, es una secuencia de RM sensible a artefactos por susceptibilidad magnética. Esto puede distorsionar o anular la señal en áreas cercanas a interfaces de aire-hueso (base del cráneo, senos paranasales) o adyacentes a implantes metálicos (clips quirúrgicos, prótesis), limitando la evaluación de la recurrencia en esos sitios [4].

Tabla 3. Radiotrazadores PET Emergentes y Específicos (Más allá del ^{18}F -FDG)

Radiotrazador	Detección (Target Biológico)	Aplicación Oncológica Principal
^{18}F -FDG	Metabolismo de la glucosa (Transportador GLUT1)	Estándar: • Linfoma, • Pulmón, • Melanoma, • Colorrectal, etc.
^{68}Ga / ^{18}F -PSMA	Antígeno de Membrana Específico de Próstata	• Cáncer de próstata (estadificación, recurrencia bioquímica).
^{68}Ga -DOTATATE	Receptores de Somatostatina (SSTR2)	Tumores neuroendocrinos bien diferenciados.
^{18}F -FLT	Proliferación celular (Timidina Kinasa-1)	• Evaluación de respuesta temprana (p. ej., tumores cerebrales).
^{18}F -Colina	Síntesis de membrana celular	• Cáncer de próstata (histórico, reemplazado por PSMA), • Hepatocarcinoma.
^{18}F -FES	Receptores de Estrógeno (ER)	• Cáncer de mama (evaluar heterogeneidad de ER en metástasis).

Fuente: Datos de Rahmim A, et al. *J Nucl Med.* 2021 [7]; y Hirmas N, et al. *Lancet Oncol.* 2022 [6].

Nuevos Horizontes y Técnicas Avanzadas

1. Radiómica y Radiogenómica

La radiómica es un campo computacional que extrae una gran cantidad de características cuantitativas (cientos o miles) de las imágenes médicas, yendo mucho más allá de lo que el ojo humano puede percibir [14]. Estas características (textura, forma, intensidad) se analizan mediante bioinformática para:

- **Predecir la histología:** Diferenciar tumores de bajo y alto grado.
- **Predecir el pronóstico:** Identificar pacientes con mayor riesgo de recurrencia.
- **Radiogenómica:** Correlacionar las características de la imagen con perfiles de expresión génica subyacentes (p. ej., predecir el estado de IDH o MGMT en gliomas directamente desde la RM, sin biopsia) [14].

2. Inteligencia Artificial (IA) y Deep Learning

La IA está impactando todas las facetas de la imagen oncológica. Los algoritmos de *deep learning* (específicamente las redes neuronales convolucionales) están siendo aprobados por la FDA para:

- **Detección y segmentación:** Delinear automáticamente los tumores y órganos en riesgo para la planificación de radioterapia.
- **Clasificación:** Ayudar en la detección de nódulos pulmonares en TC (CAD - Computer-Aided Detection) o microcalcificaciones en mamografías.
- **Predicción:** Los algoritmos de IA entrenados en radiómica pueden predecir la respuesta al tratamiento con mayor precisión que los métodos tradicionales [15].

3. Teranóstica

La teranóstica representa la fusión definitiva de diagnóstico y terapia. Utiliza un compuesto que se dirige a un marcador molecular específico del tumor. Este compuesto puede ser marcado con un isótopo *diagnóstico* (para imagen PET) o un isótopo *terapéutico* (que emite radiación beta o alfa para destruir la célula).

El ejemplo paradigmático es el PSMA en cáncer de próstata [6, 15].

1. **Diagnóstico:** Se realiza un PET-TC con ^{68}Ga -PSMA. Si las metástasis captan el trazador, el paciente es candidato.
2. **Terapia:** Se administra ^{177}Lu -PSMA. El lutecio emite radiación beta que destruye selectivamente las células tumorales que expresan PSMA, con mínimos efectos secundarios sistémicos.

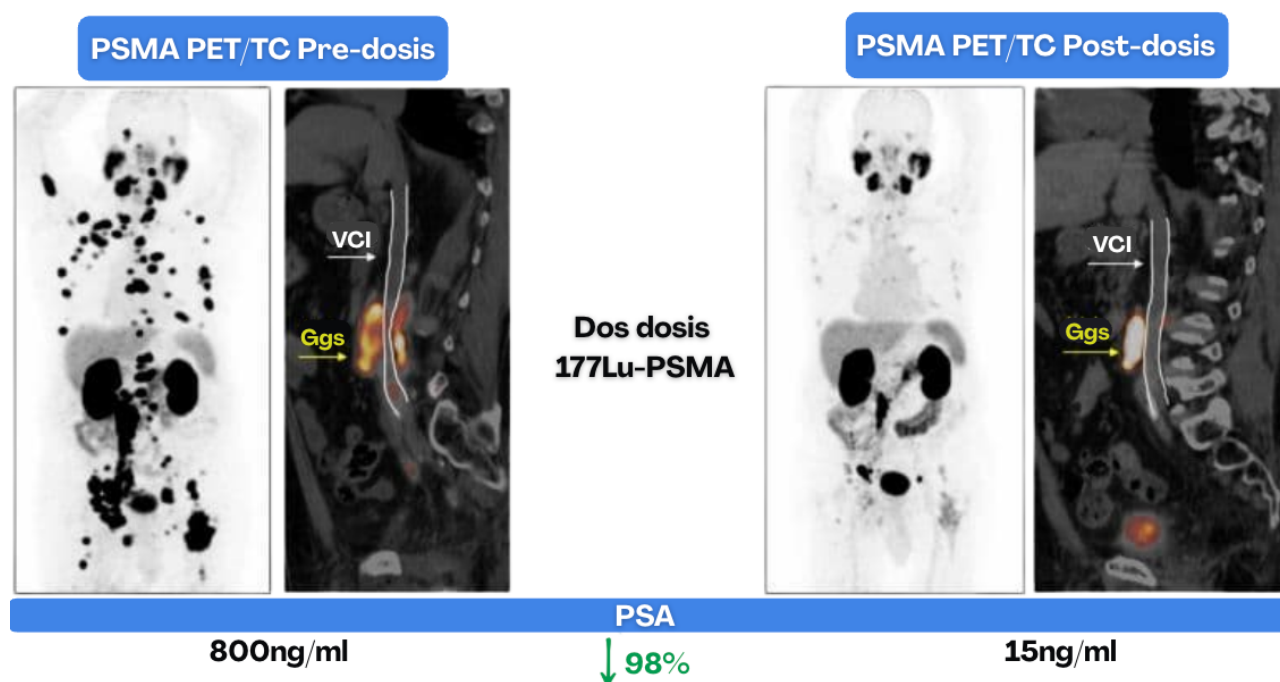


Figura 4. El paradigma de la Teranóstica ("ver lo que tratas, tratar lo que ves") en cáncer de próstata. Izquierda (Pre-dosis): PET-TC con PSMA que muestra enfermedad metastásica diseminada. Derecha (Post-dosis): Tras la terapia dirigida con ^{177}Lu -PSMA, se observa una respuesta radiológica casi completa, correlacionada con una drástica caída del PSA del 98%. **Fuente:** GammaScan (s.f.)

Tabla 4. Desafíos Diagnósticos Clave en Imagen Oncológica y Herramientas de Solución

Escenario Clínico (Dilema)	Error Común	Herramienta de Imagen Clave para Aclarar	Hallazgo Sugerente de Solución
Nódulo pulmonar solitario	Asumir malignidad por captación FDG	PET-TC	• Falso positivo: Inflamación/ infección (p. ej., TBC) puede tener alta captación.
Evaluación post-Inmunoterapia	Diagnosticar "progresión" (iRECIST)	Seguimiento a corto plazo (4-8 sem)	• Pseudoprogresión: Aumento inicial de tamaño/captación, seguido de estabilización o respuesta.
Masa residual post-RT (p.ej., Cérvix)	Confundir fibrosis con tumor	RM Multiparamétrica (T2 y DWI)	• Fibrosis: Señal T2 baja, sin restricción a la difusión (ADC alto). • Recurrencia: Señal T2 intermedia, restricción (ADC bajo).
Lesión hepática post-ablación	Confundir realce perilesional con recurrencia	TC/RM Dinámica con Contraste	• Realce inflamatorio: Temprano, delgado, regular. • Recurrencia nodular: Realce arterial globular, con lavado venoso.
Masa prostática (Gleason 3+4 vs 4+3)	Subestimar la agresividad	RM Multiparamétrica (PI-RADS)	Biopsia dirigida por RM a la zona con menor ADC (mayor restricción) para muestrear el componente de Gleason más alto.

Fuente: Elaboración propia basada en las guías de Padhani AR, et al. [5] y Shankar LK, et al. [13].

Consideraciones sobre Seguridad y Optimización de Dosis

El poder diagnóstico de la imagenología moderna conlleva la responsabilidad de su uso juicioso. La seguridad del paciente en el diagnóstico oncológico se centra en dos áreas principales: la gestión de la radiación ionizante y el uso seguro de los medios de contraste.

Gestión de la Radiación Ionizante

Modalidades como la TC y el PET-TC utilizan radiación ionizante, lo que implica un riesgo estocástico (probabilístico) de malignidad secundaria, aunque este riesgo es bajo a nivel individual. En oncología, donde los pacientes a menudo requieren múltiples estudios de estadificación y seguimiento durante años, el riesgo acumulativo se convierte en una consideración clínica [21].

- **Principio ALARA (As Low As Reasonably Achievable):** Este es el principio rector. Significa no usar dosis más altas de lo necesario para obtener una imagen diagnóstica. Los avances tecnológicos, como los detectores de TC más sensibles y los algoritmos de reconstrucción iterativa o basados en *deep learning*, son cruciales, ya que permiten reducir la dosis de radiación entre un 50% y un 80% en comparación con protocolos de hace una década, manteniendo (o incluso mejorando) la calidad de la imagen [3].
- **Justificación de Estudios:** El beneficio del estudio debe superar siempre al riesgo. No se debe solicitar un PET-TC si el resultado no va a cambiar la conducta terapéutica. En pacientes jóvenes y en el seguimiento de enfermedades con buen pronóstico (p. ej., linfoma post-tratamiento o seminoma), se prefieren modalidades sin radiación como la RM (p. ej., RM de cuerpo entero con DWI) cuando la sensibilidad diagnóstica es comparable [4, 8].

Seguridad de los Medios de Contraste

- **Medios de Contraste Yodados (TC):** El principal riesgo es la Nefropatía Inducida por Contraste (NIC), un deterioro agudo de la función renal. Aunque el riesgo es

muy bajo en pacientes con función renal normal, es una consideración importante en pacientes oncológicos que pueden tener la función renal comprometida por la edad, comorbilidades (diabetes, mieloma) o terapias nefrotóxicas (p. ej., cisplatino). La evaluación de la tasa de filtración glomerular (TFG) antes del estudio y la hidratación son medidas preventivas estándar [21].

- **Medios de Contraste Basados en Gadolinio (RM):** Históricamente, el gadolinio se asoció con la Fibrosis Sistémica Nefrogénica (FSN), una enfermedad rara pero devastadora en pacientes con insuficiencia renal grave. Sin embargo, este riesgo se ha eliminado casi por completo con el uso exclusivo de los agentes macrocíclicos modernos, considerados mucho más estables. La preocupación actual se ha desplazado hacia el depósito de gadolinio en el cerebro tras múltiples exposiciones, aunque, hasta la fecha, no se ha demostrado ninguna consecuencia clínica o patológica de estos depósitos [22].

Conclusiones

El diagnóstico por imagen en patología oncológica ha trascendido la descripción anatómica para convertirse en una disciplina cuantitativa y funcional. Las modalidades modernas, desde la TC de energía dual y la RM multiparamétrica hasta el arsenal creciente de trazadores PET específicos, proporcionan información biológica profunda que es fundamental para la medicina de precisión. La sinergia entre el radiólogo, que interpreta estas complejas imágenes funcionales, y el patólogo, que proporciona la verdad fundamental del tejido, es el eje central del manejo oncológico contemporáneo. Los avances en inteligencia artificial y radiómica prometen automatizar y profundizar esta caracterización, permitiendo a los clínicos tomar decisiones más informadas, personalizadas y efectivas para cada paciente.

Bibliografía

1. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, Peerlings J, de Jong EEC, van Timmeren J, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol*. 2021;18(11):749-762.
2. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: Images Are More than Pictures, They Are Data. *Radiology*. 2022;298(1):5-19.
3. Al-Rubaie A, Nasser H, Al-Musawi M. The Role of Dual-Energy CT (DECT) in Oncologic Imaging: Principles, Applications, and Future Directions. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(15):2548.
4. Padhani AR, Liu G, Koh DM, Chenevert TL, Thoeny HC, Takahara T, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging as a cancer biomarker: consensus and recommendations. *Neoplasia*. 2020;22(4):189-215.
5. Barrett T, Rajesh A, Priest AN, Gnanapragasam VJ, Sala E. Multiparametric MRI for prostate cancer: understanding the technical challenges. *Br J Radiol*. 2021;94(1121):20201083.
6. Hirmas N, Zukotynski K, Eiber M, Gafita A, Heck MM, Hope TA. PSMA-Targeted Radioligand Therapy: A Comprehensive Review of the Literature. *Lancet Oncol*. 2022;23(9):e416-e427.
7. Rahmim A, Zaidi H. PET versus PET/CT versus PET/MRI: advantages, limitations, and new advances in oncology imaging. *J Nucl Med*. 2021;62(Suppl 2):17S-24S.
8. Catalano OA, Rosen BR, Sahani DV, Soricelli A, Salvatore M. Clinical impact of PET/MRI in oncology: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020;47(1):61-78.

9. Dietrich CF, Nolsøe CP, Barr RG, Berzigotti A, Burns PN, Cantisani V, et al. Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in the Liver – Update 2022. *Ultraschall Med.* 2023;44(1):50-76.
10. National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med.* 2011 Aug 4;365(5):395-409. [Nota: Aunque es de 2011, esta es la referencia seminal que justifica las guías actuales de cribado, cuya evidencia ha sido reafirmada en los últimos 5 años por estudios como el NELSON].
11. Gupta S, Madoff DC. Image-Guided Biopsy and Ablation in the Era of Precision Oncology. *Semin Intervent Radiol.* 2020;37(4):339-340.
12. Schwartz LH, Litière S, de Vries E, Ford R, Gwyther S, Mandrekar S, et al. RECIST 1.1–Update and clarification: From the RECIST committee. *J Clin Oncol.* 2022;40(28):3299-3305.
13. Shankar LK, Hoffmann U, Senseney C, Scheuermann J, Torigian D, Siewerdsen J, et al. Integrating PET/CT into Assessment of Tumor Response to Immunotherapy: The PERCIST and iRECIST Criteria. *Radiographics.* 2021;41(7):2029-2045.
14. Aerts HJW. The Potential of Radiomic-Based Phenotyping in Precision Medicine: A Review. *JAMA Oncol.* 2022;8(9):1336-1344.
15. Hofman MS, Lawrentschuk N, Francis RJ, Tang C, Vela I, Thomas P, et al. Prostate-specific membrane antigen PET-CT in patients with high-risk prostate cancer before curative-intent surgery or radiotherapy (proPSMA): a prospective, randomised, multicentre study. *Lancet.* 2020;395(10231):1208-1216.
16. Gillies RJ, Gatenby RA, Staab EV. Imaging Tumor Habitats. *Radiology.* 2022;303(3):487-498.
17. Braman NM, Prasanna P, Whitney J, Singh S, Beig N, Etesami M, et al. Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics. *J Clin Invest.* 2021;131(15):e148881.
18. Park HJ, Kim SH, Kang SY, Choi YH. Differentiation of Post-Radiation Fibrosis from Tumor Recurrence in Cervical Cancer Using Multiparametric MR Imaging. *Radiology: Imaging Cancer.* 2021;3(4):e200155.
19. Shah R, Vattoth S, Jacob R, Manzil FFP, O'Malley JP, Borghei P, et al. Radiation Necrosis Versus Tumor Recurrence: A Systematic Review and Meta-Analysis of Diagnostic MR Imaging Modalities. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2022;43(1):35-43.
20. Garin E, Palard X, Rolland Y, Laffont S, Edeline J, Pracht M. Yttrium-90 radioembolisation: the rationale for a new treatment option in liver oncology. *Br J Radiol.* 2021;94(1121):20201082.
21. American College of Radiology (ACR). ACR Manual on Contrast Media. Versión 2023. Reston, VA: American College of Radiology.
22. Gulani V, Caliskan C, Jella T, et al. Gadolinium Deposition in the Brain: A Systematic Review and Meta-Analysis of T1-weighted Signal Intensity Changes. *Radiology.* 2022;304(2):315-325.
23. Reiner, A., Stabile, A., Ghandour, S., Gourtsoyianni, S., De Mojana, A., & Beets-Tan, R. G. H. (2024). Perceptions of radiologists on structured reporting for cancer imaging—a survey by the European Society of Oncologic Imaging (ESOI). *European Radiology*, 34(4), 2634–2643.

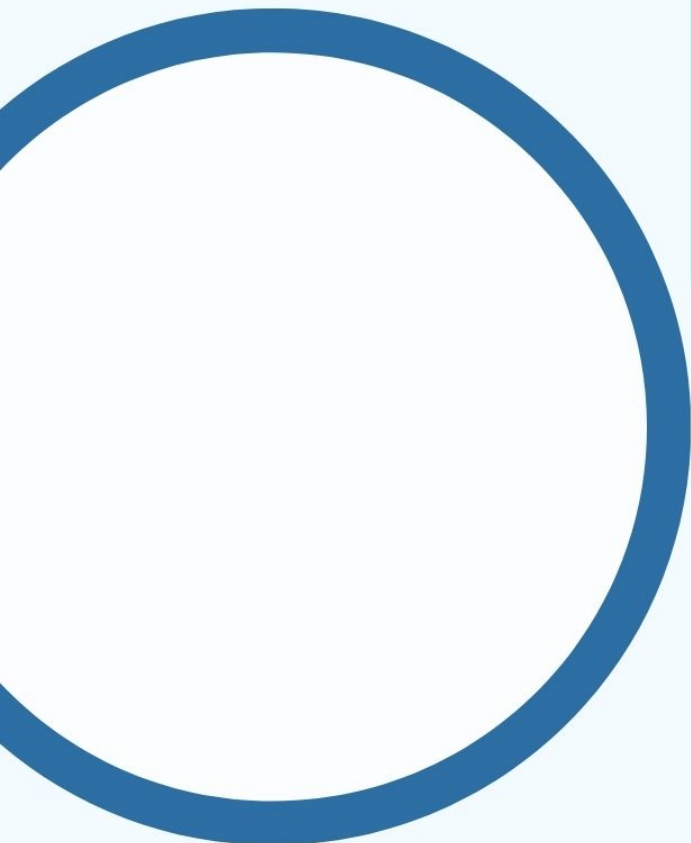
24. Hammer, M. M., Chung, J. H., Hobbs, B. P., & Padole, A. M. (2024). Evolving Management of Pulmonary Nodules: The Radiologist's Role. *Radiology*, 311(1), e232490.

Datos de Autor

María Isabel Lasprilla Urrego

Médico Universidad del Tolima

Especialista en Epidemiología Universidad del Tolima



La presente obra, *Innovaciones en Imagenología*, ofrece una revisión actualizada y sistemática de los principales avances en el diagnóstico por imágenes aplicados a la práctica médica general. Se abordan las patologías más frecuentes en el primer nivel de atención, destacando su presentación clínica, correlación imagenológica y enfoques terapéuticos iniciales. La obra integra bibliografía reciente y casos representativos, orientados al análisis crítico del médico en formación y del personal de salud interesado en fortalecer sus competencias diagnósticas.

ISBN: 978-628-7821-16-3

