

Diciembre 2025

Temas Selectos en Imagenología Diagnóstica

Editorial Velsaris



Jessica Alexandra Acosta Tenemaza
Stefania Monserrate Loor Zambrano
Javier Andrés Martínez Calderon
Danna Angeline Arce Dáger
Nicole Andrea Molina Tapia



Temas Selectos en Imagenología Diagnóstica

Autores

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza

Médico Universidad de Guayaquil
Especialista en Salud Ocupacional Puce Manabí
Médico en Funciones Hospitalarias Hospital de
Especialidades (IESS) José Carrasco Arteaga

Stefania Monserrate Loor Zambrano

Médico Universidad de Guayaquil
Magister en Seguridad y Salud Ocupacional
Médico Residente Solca Manabí

Javier Andrés Martínez Calderon

Médico General Universidad de Guayaquil
Médico para la Estrategia ENECSDI, Centro de Salud
Roberto Astudillo

Danna Angeline Arce Dáger

Médico Universidad de Guayaquil

Nicole Andrea Molina tapia

Médico UCSG
Médico Privado

Índice

| | |
|---|----------|
| Patrones Ecograficos en el Diagnóstico de las Complicaciones por Materiales de Relleno Dérmico Facial. | 5 |
|---|----------|

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza

| | |
|--|-----------|
| Diagnóstico por Imagen en Tumores Óseos Primarios | 18 |
|--|-----------|

Stefania Monserrate Loor Zambrano

| | |
|--|-----------|
| Diagnóstico Ecográfico de Masas Renales | 32 |
|--|-----------|

Javier Andrés Martínez Calderon

| | |
|--|-----------|
| RM de Mama en Pacientes con Alto Riesgo | 47 |
|--|-----------|

Danna Angeline Arce Dáger

| | |
|------------------------------------|-----------|
| Imagen en Trauma Pediátrico | 62 |
|------------------------------------|-----------|

Nicole Andrea Molina Tapia

Patrones Ecograficos en el Diagnóstico de las Complicaciones por Materiales de Relleno Dérmico Facial.

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza

Resumen

La implementación de la ecografía de alta resolución en la práctica dermatológica y estética ha redefinido el abordaje de las complicaciones derivadas de los procedimientos mínimamente invasivos. Este capítulo ofrece una revisión exhaustiva de la semiología ecográfica necesaria para la identificación, caracterización y manejo de los eventos adversos asociados a los materiales de relleno. Se detallan los principios físicos que determinan la ecogenicidad de los diferentes implantes inyectables y se describen los patrones patognomónicos de las complicaciones vasculares, inflamatorias e infecciosas. El dominio de estos patrones permite al clínico diferenciar con precisión entre procesos de naturaleza isquémica, reacciones a cuerpo extraño y biopelículas, facilitando intervenciones terapéuticas ecoguiadas precisas y disminuyendo la morbilidad asociada.

Palabras clave: Ecografía cutánea de alta frecuencia, rellenos dérmicos, oclusión vascular, granuloma, Doppler color, complicaciones estéticas, mapeo facial.

1. Introducción y Relevancia Clínica

La anatomía facial es una estructura tridimensional compleja y variable que, al ser intervenida con materiales de relleno (fillers), sufre modificaciones volumétricas que pueden derivar en complicaciones inmediatas, tempranas o tardías. Históricamente, el diagnóstico de estos eventos adversos se sustentaba en la evaluación clínica subjetiva, la cual presenta limitaciones significativas, especialmente en pacientes con historiales de múltiples inyecciones o cuando

se desconoce la naturaleza del material implantado previamente.

En la actualidad, la ecografía cutánea se ha posicionado como una herramienta indispensable en la medicina estética, permitiendo visualizar "in vivo" la interacción entre el biomaterial y el tejido huésped. La capacidad de observar la ubicación exacta del implante (dérmico, subcutáneo o supraperióstico), su relación con estructuras nobles y su comportamiento biológico a lo largo del tiempo, otorga al médico una ventaja diagnóstica crítica.

El conocimiento profundo de los patrones ecográficos no solo es vital para la identificación de patologías, sino que es el pilar para la planificación terapéutica. Distinguir si un nódulo es un depósito de ácido hialurónico encapsulado, un granuloma activo o un quiste por inclusión, cambia radicalmente el algoritmo de tratamiento. Asimismo, ante una urgencia vascular, la ecografía permite confirmar la sospecha clínica de isquemia y localizar el punto de obstrucción o compresión, guiando la administración de enzimas líticas de manera dirigida y eficiente.

2. Principios Técnicos e Instrumentación Específica

Para la evaluación ecográfica de la piel y los tejidos blandos faciales, la elección del equipamiento es determinante. La resolución axial y lateral requerida para distinguir capas milimétricas exige tecnología dedicada.

2.1. Selección del Transductor

La exploración facial óptima requiere transductores lineales de banda ancha con frecuencias variables. Se recomienda el uso de sondas que operen en rangos elevados (generalmente superiores a 15 MHz y alcanzando hasta 22-24 MHz) para la visualización detallada de la dermis y el tejido celular subcutáneo superficial. Para estructuras más profundas o para evaluar la vasculatura facial principal, frecuencias intermedias son adecuadas. El uso de sondas con huella pequeña ("palo de hockey") facilita el acceso a zonas anatómicas complejas como el canto interno del ojo, el surco nasolabial o la región nasal, permitiendo un acople

perfecto sin distorsión de la imagen por compresión excesiva.

2.2. Ajustes del Doppler

La evaluación de la vascularización es un componente esencial del examen. Dado que los vasos faciales y la neovascularización inflamatoria suelen presentar flujos de baja velocidad, es imperativo ajustar los parámetros del equipo para aumentar la sensibilidad. Esto implica reducir la frecuencia de repetición de pulsos (PRF) a niveles mínimos para evitar pasar por alto flujos lentos, y ajustar la ganancia para eliminar el ruido de fondo sin suprimir la señal real. El uso de Doppler de potencia (Power Doppler) es frecuentemente preferido sobre el Doppler color convencional en estas situaciones, debido a su mayor sensibilidad para detectar la presencia de flujo sanguíneo independientemente de su dirección o velocidad, lo cual es crítico en el diagnóstico de procesos inflamatorios o isquémicos.

2.3. Artefactos y Elastografía

El operador debe estar familiarizado con los artefactos técnicos. La anisotropía, que ocurre cuando el haz de ultrasonido no incide perpendicularmente sobre una estructura tendinosa o muscular, puede simular falsas imágenes hipoecoicas. Por otro lado, la elastografía cualitativa ha emergido como una herramienta complementaria de gran valor, permitiendo evaluar la rigidez de las lesiones. Los procesos fibróticos y granulomatosos suelen mostrar una dureza superior al tejido circundante, un dato que ayuda al diagnóstico diferencial frente a colecciones líquidas o edema simple.

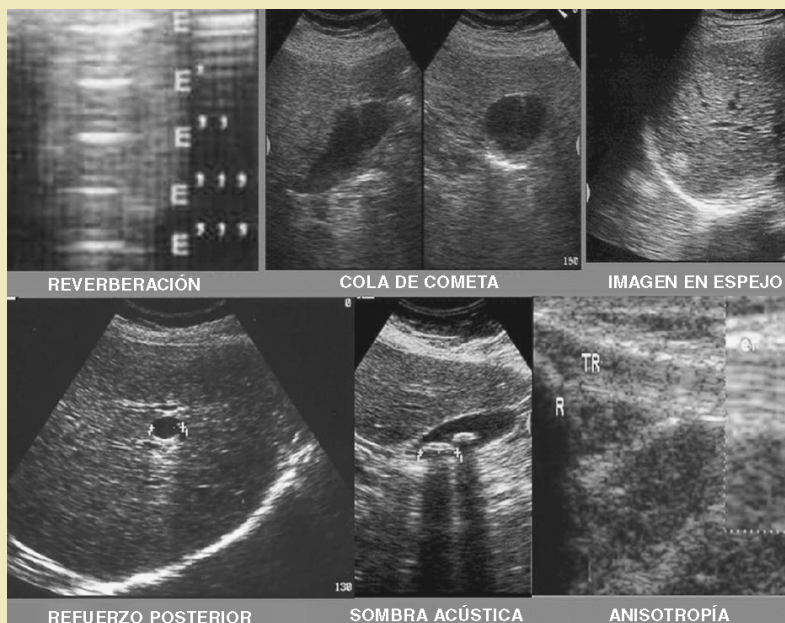


Figura 1. Artefactos ecográficos esenciales para la identificación de materiales. Panel demostrativo de los patrones acústicos clave: refuerzo posterior (típico de geles fluidos como el ácido hialurónico), sombra acústica (característica de partículas densas como la hidroxiapatita de calcio) y reverberación/cola de cometa (frecuente en biopolímeros o presencia de gas), fundamentales para el diagnóstico diferencial. **Fuente:** SEMERGEN, 2007.

3. Semiología Ecográfica de los Materiales de Relleno

El primer paso para diagnosticar una complicación es reconocer la apariencia ecográfica normal de los distintos materiales. Cada sustancia interactúa con las ondas de ultrasonido de manera única, basándose en su composición físico-química y su contenido de agua.

3.1. Materiales Reabsorbibles: Ácido Hialurónico (AH)

El ácido hialurónico es hidrofílico y, por tanto, permite el paso de las ondas de sonido sin apenas resistencia. Su patrón característico es anecoico (negro).

- **Morfología:** Se presenta habitualmente como estructuras redondeadas u ovaladas bien delimitadas, similares a quistes ("pseudoquistes"). Dependiendo de

la técnica de inyección, también puede visualizarse como bandas o tractos anecoicos longitudinales en el plano subcutáneo.

- **Evolución Temporal:** En fases iniciales, el depósito es homogéneo y puramente anecoico. Con el paso del tiempo, a medida que el material se integra y es colonizado por fibroblastos y colágeno propio, su ecogenicidad cambia, volviéndose progresivamente hipoeicoico y de bordes menos definidos.
- **Artefactos:** Es frecuente observar un refuerzo acústico posterior, debido a que el sonido viaja más rápido a través del líquido del gel que a través del tejido graso circundante.

3.2. Materiales Biodegradables Estimuladores: Hidroxiapatita de Calcio (CaHA)

A diferencia del AH, la CaHA contiene microesferas suspendidas en un gel portador que generan una fuerte impedancia acústica.

- **Patrón:** Se visualiza como depósitos hipereicoicos (blancos brillantes).
- **Signo Patognomónico:** La característica distintiva es la sombra acústica posterior. Las partículas de calcio reflejan y absorben el haz de ultrasonido, impidiendo que este penetre detrás del depósito, creando una "cortina" negra posterior. Esto permite diferenciarlo inequívocamente de otros materiales.

3.3. Polímeros Líquidos y Permanentes (Biopolímeros y Silicona)

Estos materiales, a menudo inyectados ilegalmente o en décadas pasadas, presentan un patrón de hipereogenicidad difusa y "sucio".

- **Signo de la "Tormenta de Nieve" (Snowstorm):** Es el hallazgo clásico de la silicona libre. Se observa una zona intensamente blanca que borra los límites

anatómicos normales, con múltiples artefactos de reverberación posterior que impiden la visualización de estructuras profundas. A diferencia de la CaHA, la sombra no es neta, sino que es una mezcla de ecos brillantes que se extienden en profundidad.

- Polimetilmetacrilato (PMMA):** Similar a la silicona, pero a menudo se presenta como focos puntiformes brillantes que pueden generar artefactos en "cola de cometa" (mini-comet tail artifacts), indicativos de microesferas sólidas sintéticas.

Tabla 1. Caracterización Ecográfica de Materiales de Relleno Facial

| Material | Patrón Ecográfico Principal | Artefactos Característicos | Hallazgos Doppler |
|-----------------------------|---|---|---|
| Ácido Hialurónico (AH) | Estructuras anecoicas (negras), bien delimitadas (pseudoquistes). | Refuerzo acústico posterior. | Avascular (Sin flujo interno). |
| Hidroxiapatita de Calcio | Depósitos hiperecoicos (blancos) brillantes. | Sombra acústica posterior neta y definida. | Avascular. |
| Silicona / Biopolímeros | Hipereogenicidad difusa, mal delimitada ("sucia"). | Reverberación en "Tormenta de Nieve" que impide ver planos profundos. | Avascular (el artefacto puede ocultar vasos). |
| Polimetilmetacrilato (PMMA) | Puntos hiperecoicos agrupados o difusos. | Sombra acústica y artefacto en "cola de cometa". | Avascular. |

Fuente: Elaboración propia basada en la revisión de literatura actual (1-3).

4. Diagnóstico Ecográfico de las Complicaciones Vasculares

La oclusión vascular representa la complicación más temida en la estética facial. La ecografía Doppler es el estándar de oro para confirmar el diagnóstico y monitorear la respuesta al tratamiento.

4.1. Oclusión Arterial e Isquemia

La obstrucción del flujo sanguíneo puede ser causada por un émbolo intravascular o, más frecuentemente, por compresión extrínseca debido a un volumen excesivo de material adyacente al vaso.

- **Signos Directos:** En manos expertas, es posible visualizar el depósito de material comprimiendo la luz arterial. La visualización directa de un émbolo intraluminal es extremadamente difícil debido al pequeño calibre de las arteriolas terminales faciales.
- **Signos Indirectos (Doppler):** El hallazgo crítico es la ausencia o disminución drástica de la señal Doppler en el área afectada en comparación con el lado contralateral sano. Se observa una interrupción del flujo ("stop flow").
- **Signos Tisulares:** En las primeras horas, el tejido circundante muestra un aumento de la ecogenicidad debido al edema isquémico. Si evoluciona a necrosis, se pueden observar áreas hipoecoicas irregulares con pérdida de la arquitectura tisular normal.

4.2. Congestión Venosa

A menudo subestimada, la compresión venosa genera un cuadro de edema persistente y dolor sordo. Ecográficamente se manifiesta por la dilatación del vaso venoso distal al sitio de compresión por el material de relleno. El flujo venoso puede aparecer lento, turbulento o ausente en el Doppler espectral.

5. Patrones de Complicaciones Inflamatorias e Infecciosas

La distinción entre un nódulo inflamatorio inmunomediado y uno infeccioso es crucial para evitar el uso inapropiado de corticoides en una infección activa o antibióticos en un granuloma estéril.

5.1. Edema Persistente Intermitente y Efecto Tyndall

Asociado comúnmente a rellenos de AH hidrofílicos colocados superficialmente o en exceso.

- **Imagen:** Se observa un engrosamiento difuso del tejido celular subcutáneo. El líquido se acumula entre los lóbulos grasos, dando una imagen reticular o en "empedrado". No se observan colecciones líquidas francas ni cápsulas definidas. La vascularización suele ser normal o levemente aumentada.

5.2. Granulomas de Cuerpo Extraño

Representan una reacción inflamatoria crónica encapsulada.

- **Morfología:** Aparecen como nódulos hipoeoicos o de ecogenicidad mixta, generalmente ovalados.
- **Signo del Halo:** Es frecuente observar un halo hipoeoico periférico que corresponde a la cápsula fibrosa y a la reacción inflamatoria perilesional.
- **Vascularización:** Al aplicar Doppler, se evidencia vascularización, predominantemente periférica alrededor de la cápsula. Si el granuloma es muy activo, pueden verse vasos penetrantes.
- **Elastografía:** Son lesiones rígidas (duras), lo que ayuda a diferenciarlas de depósitos simples de AH acumulado.

5.3. Abscesos y Procesos Infecciosos Agudos

Requieren diagnóstico y drenaje urgentes.

- **Estructura:** Se presentan como colecciones complejas hipoeoicas o anecoicas con contenido interno (ecos flotantes, detritos). Los bordes suelen ser irregulares y mal definidos, sugiriendo infiltración del tejido adyacente.
- **Signo del "Anillo de Fuego":** El Doppler color revela una hipervascularización periférica intensa y

circunferencial que rodea la colección, indicativo de una respuesta inflamatoria aguda agresiva.

- **Presencia de Gas:** En infecciones por gérmenes productores de gas, se pueden visualizar focos hiperecoicos puntiformes brillantes dentro de la colección que generan reverberación o sombra sucia.

5.4. Biopelículas (Biofilms)

El diagnóstico ecográfico de biofilm es un desafío y se basa en signos sutiles. Se sospecha ante la presencia de un implante antiguo que desarrolla repentinamente un borde hiperecoico fino y brillante (refuerzo de la cápsula), acompañado de edema periférico recurrente de bajo grado y vascularización perilesional leve, sin constituir un absceso franco.

Tabla 2. Diagnóstico Diferencial Ecográfico: Nódulos y Masas Faciales Post-Inyección

| Entidad Clínica | Ecogenicidad y Estructura | Vascularización (Doppler) | Signos Distintivos y Contexto |
|------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Nódulo de AH (No complicado) | Anecoico, homogéneo, bordes lisos. | Ausente. | Compresible, sin dolor, sin edema perilesional. |
| Granuloma de Cuerpo Extraño | Hipoecoico/Heterogéneo, sólido, encapsulado. | Presente (Periférica/Variable). | Halo hipoeicoico, rígido a la elastografía, aparición tardía. |
| Absceso / Infección | Hipoecoico complejo (líquido sucio), bordes irregulares. | Intensa periférica (Anillo de Fuego). | Dolor a la presión del transductor, detritos internos. |
| Quiste por Inclusión | Anecoico o con ecos internos finos. | Ausente o escasa periférica. | Conexión con la epidermis (punctum), no asociado al trayecto del relleno. |

Fuente: Adaptado de estudios recientes sobre complicaciones de tejidos blandos (5, 8, 12).

6. Diagnóstico de Migración y Desplazamiento del Material

El desplazamiento del material de relleno desde el sitio de inyección original hacia áreas anatómicas adyacentes es una complicación frecuente que puede generar asimetrías o deformidades estéticas. La ecografía es la única modalidad que permite rastrear el trayecto del material.

- **Mecanismos:** La migración puede ocurrir por gravedad, por la presión de la musculatura facial (especialmente en la región perioral y periocular) o por inyección en planos de clivaje de baja resistencia (planos de deslizamiento interfascial).
- **Hallazgos Ecográficos:** En el caso del ácido hialurónico, se pueden identificar "canales" o tractos anecoicos que conectan el depósito original con la nueva ubicación. En los labios, es común observar la migración del material desde el cuerpo del labio hacia la mucosa húmeda o incluso hacia el músculo orbicular, visualizándose como múltiples imágenes nodulares encadenadas, descritas en la literatura como patrón en "cuentas de rosario" o "bambú".
- **Importancia del Diagnóstico:** Confirmar la migración es esencial antes de plantear una corrección quirúrgica o enzimática, ya que el tratamiento debe dirigirse a la ubicación actual del material y no necesariamente donde el paciente refiere haber sido inyectado.

7. Protocolo de Actuación Ecoguiada Sugerido

La integración de la ecografía en el manejo de complicaciones permite transitar de un tratamiento empírico a uno de precisión. Basado en la evidencia actual, se sugiere el siguiente abordaje ante la sospecha de complicación:

1. **Mapeo y Localización:** Exploración sistemática para definir la extensión tridimensional del material y su relación con vasos y nervios.

2. **Identificación del Material:** Determinar mediante la ecogenicidad y los artefactos si se trata de un material degradable (AH) o permanente. Esto es decisivo, pues la hialuronidasa no tendrá efecto sobre la hidroxiapatita de calcio o la silicona.
3. **Evaluación de Viabilidad Tisular:** Uso de Doppler para descartar isquemia activa.
4. **Intervención Ecoguiada:**
 - **Hialuronidasa:** En casos de nódulos de AH, efecto Tyndall u oclusión vascular, la inyección de la enzima se realiza bajo visualización directa en tiempo real. Se introduce la aguja observando cómo la punta penetra en el depósito anecoico, asegurando que la enzima se deposite intralesional o perivascularmente según sea el caso.
 - **Inyección Intralesional:** Para granulomas, la inyección de corticoides o antimetabolitos (5-fluorouracilo) se guía ecográficamente para asegurar que el fármaco quede dentro del nódulo y no atrofie la grasa subcutánea sana circundante.
 - **Drenaje:** En caso de abscesos, la ecografía guía la aspiración o incisión en el punto de mayor fluctuación y menor riesgo vascular.

8. Conclusión

La ecografía de alta frecuencia ha dejado de ser una prueba complementaria opcional para convertirse en un pilar fundamental en la seguridad del paciente sometido a rellenos dérmicos. Su capacidad para caracterizar la naturaleza del material inyectado, evaluar la perfusión vascular en tiempo real y diferenciar entre etiologías infecciosas e inflamatorias, otorga al clínico una precisión diagnóstica sin precedentes. La adopción de patrones ecográficos estandarizados permite una comunicación

fluida entre profesionales y una toma de decisiones terapéuticas basada en la evidencia anatómica y fisiopatológica directa, minimizando las secuelas y optimizando los resultados estéticos y funcionales.

9. Bibliografía

1. Wortsman X. Ultrasound in Dermatology and Aesthetics: The time has come. *J Ultrasound Med.* 2023;42(1):15-18.
2. Scheuer JF III, Sieber DA, Pezeshk RA. High-Resolution Ultrasound for the Assessment of Facial Anatomy and Dermal Fillers. *Plast Reconstr Surg.* 2024;153(2):345e-355e.
3. Urdiales-Gálvez F, Delgado NE, Figueiredo V, et al. Preventing the Unavoidable: Ultrasound-Guided Management of Dermal Filler Complications. *Aesthetic Plast Surg.* 2021;45(3):1120-1132.
4. Sigrist RMS, Bravo BSF. Ultrasound-Guided Hyaluronidase Injection for Cosmetic Complications: A Review. *J Cosmet Dermatol.* 2023;22(5):1450-1456.
5. Velthuis PJ, Jansen O, Schelke L. Vascular Complications of Facial Fillers: Ultrasound Guidelines for Diagnosis and Treatment. *Dermatol Surg.* 2022;48(8):832-839.
6. Quezada-Gaón N, Wortsman X. Ultrasound Characteristics of Granulomas vs. Nodules in Aesthetic Medicine. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2023;37(4):e310-e312.
7. Ferneini EM. Facial Ultrasound: A New Standard in Aesthetic Medicine? *J Oral Maxillofac Surg.* 2022;80(1):1-3.
8. Mundt LM, Wortsman X. Detailed Sonographic Patterns of the Most Common Biodegradable and

- Nonbiodegradable Fillers. *Facial Plast Surg Clin North Am.* 2024;32(1):45-56.
9. Cotofana S, Alfertshofer M. The Anatomy of Facial Layers and Their Relevance in Ultrasound Imaging of Fillers. *Plast Aesthet Res.* 2023;10:12.
 10. Rohrich RJ, Bartlett EL. Ultrasound in Plastic Surgery: Managing Filler Complications. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2022;10(9):e4521.
 11. Greene JJ, Sidle DM. The Role of Ultrasound in the Management of Delayed Onset Nodules. *Facial Plast Surg.* 2021;37(2):184-189.
 12. Cassuto D, Pignatti M. Detection of Biofilms in Dermal Filler Complications Using High-Frequency Ultrasound. *Aesthetic Surg J.* 2020;40(5):NP295-NP299.
 13. Choi YJ, Lee JH. Doppler Ultrasound Findings in Vascular Occlusion Following Nasolabial Fold Injection. *J Cosmet Laser Ther.* 2024;26(1):22-28.
 14. Thomson CJ, Wortsman X. Distinguishing Between Hyaluronic Acid and Calcium Hydroxylapatite on Ultrasound: A Pictorial Guide. *J Cutan Med Surg.* 2023;27(3):265-271.

Diagnóstico por Imagen en Tumores Óseos Primarios

Stefania Monserrate Loor Zambrano

Introducción y Perspectiva Epidemiológica

La evaluación de los tumores óseos primarios representa uno de los desafíos más complejos en la radiología musculoesquelética contemporánea. A diferencia de la enfermedad metastásica, que supera en incidencia a las lesiones primarias en una proporción de 50:1 en adultos, los tumores óseos primarios malignos son entidades raras, con una incidencia estimada de 0,2% de todas las neoplasias humanas. Sin embargo, la morbilidad asociada y la necesidad de un diagnóstico precoz para la preservación de la extremidad y la vida del paciente obligan al radiólogo a mantener un índice de sospecha elevado y un conocimiento profundo de la semiología radiológica.

En el último lustro, la publicación de la 5.^a edición de la Clasificación de Tumores de Tejidos Blandos y Hueso de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2020 ha redefinido la nomenclatura y los criterios diagnósticos, lo que tiene implicaciones directas en la interpretación de las imágenes. El diagnóstico por imagen ya no es un ejercicio estático de reconocimiento de patrones ("spot diagnosis"), sino un proceso dinámico de estadificación multiparamétrica. El enfoque moderno integra la radiografía convencional para la caracterización de la matriz biológica, la tomografía computarizada (TC) para la evaluación de la arquitectura trabecular, y la resonancia magnética (RM) avanzada con secuencias funcionales para la determinación de la viabilidad tumoral y la respuesta a la neoadyuvancia.

El objetivo de este capítulo es desglosar la fisiopatología de la imagen de los tumores óseos, analizando cómo la biología tumoral se traduce en hallazgos radiológicos específicos, y

establecer los protocolos actuales de estadificación y seguimiento basados en la evidencia más reciente.

Principios Biológicos de la Interacción Tumor-Hueso

Para interpretar correctamente las imágenes de un tumor óseo, es imperativo comprender que la imagen radiológica no es una fotografía del tumor en sí, sino una representación de la interacción entre el tejido neoplásico y el hueso huésped. Los tumores óseos primarios inducen osteólisis o osteogénesis a través de la manipulación de la unidad multicelular básica (BMU). Las lesiones líticas no son resultado de la destrucción directa del hueso por las células tumorales, sino de la estimulación de los osteoclastos del huésped mediante la vía RANK/RANKL/OPG. Del mismo modo, la esclerosis tumoral suele ser hueso reactivo formado por osteoblastos normales estimulados por citoquinas tumorales, a excepción de los tumores formadores de hueso (como el osteosarcoma), donde la célula tumoral produce directamente la matriz osteoide maligna.

El análisis sistemático de cualquier lesión ósea solitaria debe responder a la tríada diagnóstica: la localización anatómica precisa, las características de los márgenes de la lesión (zona de transición) y la naturaleza de la matriz tumoral. Estos tres pilares, combinados con la edad del paciente, permiten estrechar el diagnóstico diferencial con una precisión superior al 85% antes de la biopsia.

Evaluación Sistemática Mediante Radiografía Convencional y Tomografía Computarizada

A pesar del advenimiento de técnicas avanzadas, la radiografía simple sigue siendo el paso inicial insustituible. La TC multidetector complementa esta evaluación, ofreciendo una resolución espacial superior para definir la destrucción cortical sutil y la mineralización de la matriz.

Análisis de los Márgenes y la Zona de Transición

La clasificación de Lodwick, aunque clásica, sigue siendo el estándar para describir la tasa de crecimiento biológico de

la lesión. En la práctica clínica actual, la distinción crítica se realiza entre márgenes geográficos y márgenes infiltrativos.

Las lesiones con patrón geográfico (Tipo I) implican un crecimiento lo suficientemente lento como para permitir que el hueso huésped intente encapsular el proceso. El subtipo IA presenta un borde esclerótico bien definido, indicativo de procesos benignos como el fibroma no osificante o el quiste óseo simple. El subtipo IB carece de borde esclerótico pero mantiene una delimitación nítida, típica del tumor de células gigantes. El subtipo IC muestra un borde mal definido en una lesión focal, sugiriendo una mayor actividad biológica, como se observa en ciertos condrosarcomas o en el osteosarcoma en estadios iniciales.

Por el contrario, los patrones apolillado (Tipo II) y permeativo (Tipo III) denotan una agresividad biológica alta. El patrón apolillado se caracteriza por múltiples agujeros líticos de tamaño variable que tienden a confluir, mientras que el patrón permeativo se manifiesta como sutiles estrías radiolúcidas intracorticales, reflejando la rápida infiltración tumoral a través de los canales de Havers y Volkmann sin dar tiempo a la resorción ósea macroscópica. Este último es el sello distintivo de los tumores de células redondas pequeñas y azules, como el Sarcoma de Ewing y el linfoma óseo primario.

Caracterización de la Matriz Tumoral

La identificación de la matriz mineralizada es fundamental para clasificar el linaje histológico del tumor. La TC es superior a la RM en esta tarea, ya que la señal de vacío o hipointensidad del calcio en RM puede confundirse con fibrosis o hemosiderina.

La matriz osteoide, característica de los osteosarcomas y osteoblastomas, se presenta como densidades amorfas, algodonosas o en forma de nubes, que pueden ser tan densas como el hueso cortical (eburnación) o sutilmente calcificadas. Es crucial diferenciar este hueso tumoral del hueso reactivo o secuestro óseo.

La matriz condroide, típica de encondromas y condrosarcomas, exhibe calcificaciones en "anillos y arcos", "palomitas de maíz" o punteado floconoso. La correlación patológica demuestra que estas imágenes corresponden a la calcificación de los lóbulos de cartilago hialino neoplásico en su periferia (encondral).

La matriz fibrosa, presente en la displasia fibrosa, presenta una densidad característica de "vidrio deslustrado" en la TC, resultado de la pérdida del patrón trabecular normal reemplazado por tejido fibroóseo inmaduro que no es radiolúcido como un quiste ni radiopaco como el hueso cortical.

Tabla 1. Patrones de Reacción Perióstica y su Correlación Fisiopatológica

| Tipo de Reacción | Descripción Radiológica | Mecanismo Fisiopatológico | Asociaciones Clínicas Comunes |
|---|--|--|---|
| Sólida / Continua | Capa única de hueso nuevo adosada a la corteza. | Crecimiento lento y constante de la lesión que permite al periostio formar hueso maduro. | Osteoma osteoide, Osteomielitis crónica. |
| Laminada ("Piel de cebolla") | Múltiples capas concéntricas de hueso nuevo separadas por bandas radiolúcidas. | Proceso cíclico de crecimiento rápido seguido de pausas breves, donde el periostio es elevado repetidamente. | Sarcoma de Ewing, Osteosarcoma, Osteomielitis aguda. |
| Espiculada ("Sol Naciente" / "Hair-on-end") | Espículas óseas perpendiculares a la corteza. | Crecimiento tumoral muy rápido que se extiende a lo largo de las fibras de Sharpey y vasos periósticos estirados. | Osteosarcoma convencional, Metástasis (ej. Próstata). |
| Triángulo de Codman | Elevación triangular del periostio en los márgenes de la lesión. | Rotura del periostio debido a la velocidad de expansión de la masa de partes blandas; indica emergencia tumoral extraósea. | Osteosarcoma, Sarcoma de Ewing, Absceso óseo agudo. |

| | | | |
|---------------------------|---|---|---|
| Contrafuerte ("Buttress") | Hueso sólido en la unión del tumor con la corteza normal. | Intento del hueso de reforzar la arquitectura mecánica ante una lesión expansiva lenta. | Quiste Óseo Aneurismático, Condrosarcoma de bajo grado. |
|---------------------------|---|---|---|

Fuente: Adaptado y actualizado de: Spinnato P, et al. *Imaging of Primary Bone Tumors. J Imaging*. 2023 (8).

Resonancia Magnética Multiparamétrica: Estándar de Oro

La Resonancia Magnética (RM) es la modalidad indispensable para la estadificación local. Su función trasciende la anatomía; proporciona información sobre la celularidad, la vascularización y el metabolismo. El protocolo estándar para tumores óseos debe incluir secuencias en al menos dos planos ortogonales, incorporando T1, T2 con supresión grasa (o STIR) y secuencias post-contraste. Se debe incluir la totalidad del hueso afectado en el campo de visión (FOV) para descartar metástasis en salto ("skip metastases"), que ocurren en el mismo compartimento óseo pero separadas del tumor principal, un hallazgo que altera radicalmente la planificación quirúrgica de salvamento de extremidad.

Secuencias Convencionales y Caracterización Tisular

En las secuencias ponderadas en T1, la mayoría de los tumores óseos sustituyen la médula ósea grasa normal (hiperintensa) por tejido tumoral hipointenso. La especificidad de la RM aumenta al analizar las secuencias ponderadas en T2. Por ejemplo, el cartílago hialino de los condrosarcomas muestra una hiperintensidad muy marcada (similar al líquido) con una morfología lobulada característica, debido a su alto contenido de agua y proteoglicanos. Por otro lado, los tumores con matriz fibrosa densa o gran celularidad (como el sarcoma de Ewing) pueden presentar una señal intermedia en T2, diferenciándose de las lesiones quísticas o condroides.

La presencia de niveles líquido-líquido es un hallazgo importante. Aunque clásico del Quiste Óseo Aneurismático (QOA), estudios recientes han demostrado que hasta un 15% de los osteosarcomas (variante telangiectásica) y tumores

de células gigantes pueden presentar niveles líquido-líquido secundarios a hemorragia intralesional. Por ello, la administración de gadolinio es crítica: el QOA mostrará realce solo en los septos finos periféricos, mientras que el osteosarcoma telangiectásico mostrará realce nodular sólido y engrosamiento septal nodular, un signo de malignidad.

Técnicas Funcionales: Difusión (DWI) y Perfusión (DCE-MRI)

La integración de la Imagen Ponderada por Difusión (DWI) ha supuesto un cambio de paradigma en los últimos cinco años. La DWI cuantifica el movimiento browniano de las moléculas de agua. En tumores malignos con alta celularidad (p. ej., osteosarcoma, sarcoma de Ewing, linfoma), el espacio extracelular está reducido, restringiendo el movimiento del agua. Esto se traduce en una hiperintensidad en secuencias de alto valor b y, lo que es más importante, en valores bajos en el mapa del Coeficiente de Difusión Aparente (ADC).

El valor ADC es un biomarcador cuantitativo de respuesta al tratamiento. Tras la quimioterapia neoadyuvante, un aumento significativo en el valor ADC indica necrosis tumoral (lisis celular y expansión del espacio extracelular), correlacionándose con una buena respuesta histológica (>90% de necrosis según el mapa de Huvos). Esto permite a los oncólogos ajustar los regímenes terapéuticos antes de la cirugía definitiva.

La RM Dinámica con Contraste (DCE-MRI) analiza las curvas de tiempo-intensidad. Los tumores malignos suelen mostrar curvas de lavado rápido ("wash-out") o meseta, debido a la angiogénesis tumoral aberrante y permeable, a diferencia de las lesiones benignas que tienden a mostrar un realce progresivo y sostenido.

Implicaciones Quirúrgicas: Anatomía Compartimental y Relación Neurovascular

El rol del radiólogo trasciende el diagnóstico; es el arquitecto del mapa quirúrgico.

Para que un cirujano ortopédico oncológico pueda realizar una cirugía de salvamento de extremidad (evitando la amputación), el informe radiológico debe detallar con precisión milimétrica la relación del tumor con los compartimentos anatómicos.

Evaluación del Paquete Neurovascular

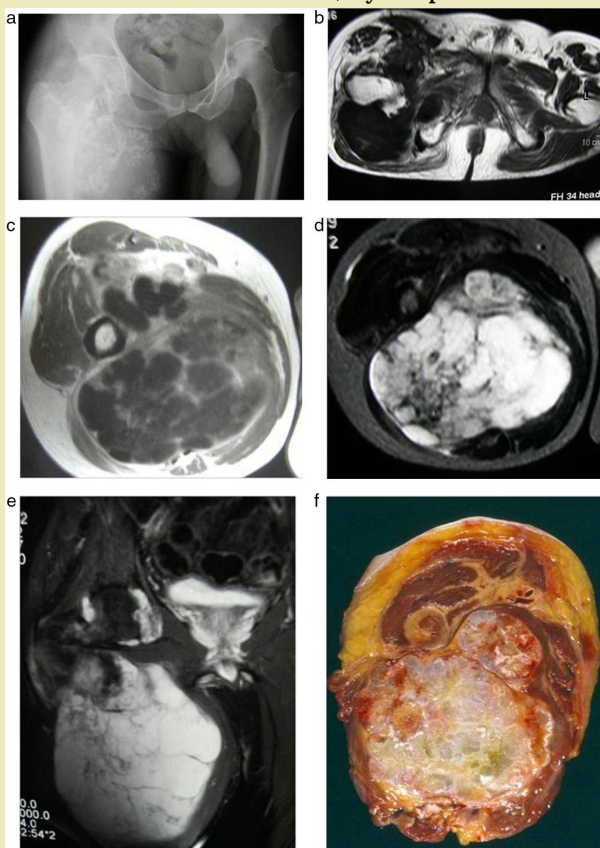
La distinción entre desplazamiento y encamisamiento (*encasement*) es vital. Si el tumor simplemente desplaza los vasos, existe un plano de clivaje que permite la resección segura. Sin embargo, si existe un encamisamiento circunferencial ($>180^\circ$) de la arteria o nervio principal, o invasión de la adventicia, las opciones de salvamento se reducen drásticamente. La RM axial es el plano dirimente para evaluar la presencia de la fina capa de grasa que separa el tumor del paquete vascular.

Principios de la Biopsia Guiada por Imagen

La biopsia percutánea es el paso final del diagnóstico, pero debe planificarse como el primer paso de la cirugía. El trayecto de la aguja se considera "contaminado" por células tumorales y debe ser extirpado en bloque junto con el tumor definitivo. Por tanto, el radiólogo intervencionista debe adherirse estrictamente a las reglas de la oncología musculoesquelética:

- **Abordaje directo:** La aguja debe atravesar el compartimento donde reside el tumor, evitando atravesar compartimentos musculares "sanos" o espacios articulares, lo cual diseminaría la enfermedad.
- **Evitar estructuras vitales:** El trayecto no debe poner en riesgo los vasos o nervios que serán necesarios para reconstruir la extremidad.

- **Ubicación:** El punto de entrada en la piel debe ser tatuado o documentado, ya que determinará la



incisión quirúrgica futura.

Figura 3. Correlación Radiopatológica Multimodal. (a) Radiografía simple mostrando lesión agresiva en fémur proximal. (b-e) La RM define la extensión a partes blandas y límites compartimentales. (f) La pieza quirúrgica (corte axial) confirma la correlación anatómica exacta con la RM (d), validando la estadificación local prequirúrgica. **Fuente:** Radiología, 2015.

Entidades Clínicas Específicas y sus Actualizaciones

Osteosarcoma: Más allá de la variante convencional

El osteosarcoma convencional es el tumor óseo maligno primario más frecuente en adolescentes. La imagen clásica en "sol naciente" en la metáfisis del fémur distal o tibia proximal es bien conocida. Sin embargo, las variantes suponen retos diagnósticos. El osteosarcoma parosteal, una variante de superficie de bajo grado, se presenta como una masa lobulada osificada adosada a la cortical posterior del fémur distal. La diferenciación clave con el osteocondroma sésil radica en que el osteosarcoma parosteal no tiene continuidad con la cavidad medular del hueso huésped, mientras que el osteocondroma sí (continuidad corticomedular). La TC es vital para identificar la "cuerda" radiolúcida entre el tumor y la corteza, presente en estadios tempranos del osteosarcoma parosteal.

El Espectro del Tumor de Ewing

El sarcoma de Ewing se define radiológicamente por una destrucción ósea permeativa diafisaria y una masa de partes blandas desproporcionadamente grande. Un hallazgo actualizado en la literatura reciente es la capacidad de la RM para detectar la extensión tumoral a través de los canales vasculares sin destrucción cortical macroscópica visible en RX o TC. Además, la afectación epifisaria, antes considerada rara, se reporta ahora con mayor frecuencia (hasta un 10%) gracias a la mayor sensibilidad de la RM de cuerpo entero. La diferenciación con la osteomielitis aguda sigue siendo difícil; sin embargo, la presencia de un secuestro óseo apoya el diagnóstico de infección, mientras que una masa de partes blandas grande, sin absceso licuado, favorece el diagnóstico de Ewing.

Condrosarcoma y el Dilema del Tumor Cartilaginoso Atípico

La OMS 2020 introdujo el término "Tumor Cartilaginoso Atípico" (ACT) para lo que antes se denominaba Condrosarcoma Grado 1 en el esqueleto apendicular (huesos largos). Esto refleja su comportamiento localmente

agresivo pero con capacidad metastásica casi nula, a diferencia del Condrosarcoma Grado 2 o 3.

La diferenciación radiológica entre Encondroma y ACT/ Condrosarcoma G1 es uno de los problemas más difíciles. Los criterios actualizados sugieren malignidad si la lesión presenta:

1. Longitud mayor de 5 cm.
2. Festoneado endostal ("endosteal scalloping") que erosiona más de dos tercios del espesor cortical.
3. Expansión cortical y reacción perióstica (signos tardíos).
4. Captación de contraste en septos fibrovasculares en la RM.
5. Dolor no relacionado con actividad mecánica (criterio clínico asociado).

Tumor de Células Gigantes (TCG) y el efecto del Denosumab

El TCG es una neoplasia rica en osteoclastos, típicamente benigna pero localmente agresiva, ubicada excéntricamente en la meta-epífisis llegando al hueso subcondral. El tratamiento moderno con Denosumab (inhibidor del ligando RANK) ha modificado drásticamente su apariencia radiológica. Tras el tratamiento, la lesión lítica original desarrolla una esclerosis periférica marcada y reconstitución ósea, pudiendo simular un aspecto de malignidad o osteosarcoma de bajo grado debido a la formación de hueso nuevo irregular. El radiólogo debe conocer el historial farmacológico del paciente para no malinterpretar esta respuesta terapéutica como una progresión de la enfermedad o desdiferenciación sarcomatosa.

Tabla 2. Diagnóstico Diferencial Radiológico entre Encondroma y Condrosarcoma de Bajo Grado (ACT)

| Característica | Encondroma (Benigno) | Tumor Cartilaginoso Atípico / Condrosarcoma G1 |
|----------------------|--|---|
| Localización | Central, metafisaria. | Central, metafisaria o diafisaria. |
| Tamaño | Generalmente < 4-5 cm. | Generalmente > 5 cm. |
| Festoneado Endostal | Mínimo o superficial (< 1/3 del grosor). | Profundo (> 2/3 del grosor cortical). |
| Respuesta Cortical | Cortical intacta, sin expansión. | Expansión cortical frecuente, engrosamiento focal. |
| Señal RM (T2) | Hiperintensidad homogénea. | Hiperintensidad heterogénea con áreas quísticas. |
| Realce con Gadolinio | Periférico delgado o ausente. | Realce septal y nodular difuso. |
| DWI (ADC) | Valores ADC altos (> 2.0 x 10 ⁻³ mm ² /s). | Valores ADC intermedios/altos, pero con focos de restricción. |
| Clínica | Hallazgo incidental, indoloro. | Dolor persistente, incluso en reposo/noche. |

Fuente: Elaboración basada en: Van der Heijden L, et al. *Skeletal Radiol.* 2020 (6) y Costa F, et al. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2024 (3).

Medicina Nuclear y Estadificación Sistémica

La estadificación sistémica ha evolucionado desde la gammagrafía ósea plana hacia técnicas híbridas. La Tomografía por Emisión de Positrones con TC (PET/TC) utilizando 18F-FDG se ha consolidado como la modalidad de elección para sarcomas de alto grado (Osteosarcoma, Ewing, Condrosarcoma dediferenciado).

El avidéz por la glucosa (medida por el SUVmax) se correlaciona con el grado histológico. Los tumores benignos y condrosarcomas de bajo grado suelen tener un SUVmax bajo (<2.5-3.0), mientras que los sarcomas de alto grado presentan valores significativamente superiores. La PET/TC es superior a la TC sola para detectar metástasis óseas a distancia y ganglionares, aunque la TC de tórax

sigue siendo necesaria para la detección de micrometástasis pulmonares menores de 4-5 mm, que pueden escapar a la resolución espacial del PET.

Recientemente, la RM de Cuerpo Entero (Whole Body MRI) ha emergido como una alternativa libre de radiación, especialmente valiosa en la población pediátrica y en pacientes con síndromes de predisposición al cáncer (como Li-Fraumeni) que requieren vigilancia frecuente. Las guías europeas y norteamericanas más recientes (2023-2024) posicionan a la WB-MRI al mismo nivel que la PET/TC para la estadificación del Sarcoma de Ewing.

Inteligencia Artificial y Radiómica: El Futuro Presente

La radiómica representa la frontera actual en la imagen oncológica. Esta técnica permite la extracción de cientos de características cuantitativas de las imágenes médicas (textura, forma, intensidad, entropía) que son invisibles al ojo humano. Algoritmos de aprendizaje automático (Machine Learning) entrenados con estos datos están demostrando una capacidad superior para predecir el subtipo histológico preoperatoriamente.

Estudios publicados en 2023 y 2024 indican que los modelos radiómicos pueden diferenciar entre condrosarcoma y encondroma con una precisión diagnóstica (AUC) superior a 0,90, superando la evaluación visual de radiólogos expertos. Asimismo, la radiómica aplicada a la RM pre-tratamiento está empezando a utilizarse para predecir qué pacientes con osteosarcoma serán malos respondedores a la quimioterapia estándar, abriendo la puerta a una personalización terapéutica desde el día uno. Aunque estas herramientas se encuentran principalmente en centros académicos de tercer nivel, su validación clínica avanza rápidamente hacia la implementación en software comercial de estaciones de trabajo radiológicas.

Conclusiones

El diagnóstico por imagen de los tumores óseos primarios ha transitado de una disciplina morfológica a una ciencia

funcional y cuantitativa. La responsabilidad del radiólogo no termina con el diagnóstico diferencial; se extiende a la estadificación precisa, la guía de biopsia, la monitorización de la respuesta terapéutica y la vigilancia de recurrencias. La integración de los hallazgos de la RX, TC, RM multiparamétrica y PET/TC, interpretados bajo la luz de las nuevas clasificaciones de la OMS y los datos clínicos, es el estándar de cuidado. El futuro inmediato, impulsado por la radiómica y la inteligencia artificial, promete refinar aún más nuestra capacidad para comprender la biología tumoral de manera no invasiva, mejorando en última instancia el pronóstico de los pacientes afectados por estas patologías devastadoras.

Bibliografía

1. WHO Classification of Tumours Editorial Board. Soft Tissue and Bone Tumours. 5th ed. Lyon (France): IARC; 2020.
2. Lee JH, Yoon YC. MRI of Bone Tumors: T1-weighted, T2-weighted, and Contrast-enhanced Imaging Features. *J Magn Reson Imaging*. 2021;53(4):998-1015.
3. Costa F, Sconfienza LM. Diagnosis of Chondroid Tumors: Update on Imaging and Artificial Intelligence. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2024;28(1):34-45.
4. Gernandt S, Vracko J, Rühling S, et al. Whole-Body MRI for Staging of Malignant Bone Tumors: A Prospective Comparison with Bone Scintigraphy and CT. *Radiology*. 2022;305(2):402-411.
5. Bloem JL, Noebauer-Huhmann IM. Soft Tissue and Bone Sarcoma Imaging: 2023 Update. *Radiology*. 2023;307(4):e222956.
6. Van der Heijden L, van der Geest ICM. Imaging differentiation between enchondroma and low-grade chondrosarcoma: a systematic review and meta-analysis. *Skeletal Radiol*. 2020;49(3):353-369.

7. Anderson ME. Update on Survival in Osteosarcoma: The Role of Advanced Imaging. *Orthop Clin North Am.* 2024;55(1):15-25.
8. Spinnato P, Clò A, Panico C, et al. Imaging of Primary Bone Tumors: A Narrative Review on the New WHO Classification. *J Imaging.* 2023;9(5):96.
9. Subhawong TK, Fayad LM. PET/CT in Bone and Soft Tissue Sarcoma: State of the Art. *RadioGraphics.* 2020;40(6):1709-1728.
10. Wu J, Liu X, Cui J. Diffusion-Weighted Imaging in Osteosarcoma: Correlation with Chemotherapy Response and Histologic Necrosis. *AJR Am J Roentgenol.* 2021;216(3):720-728.
11. Niu Y, Yang J, Xu L. Radiomics in Bone Tumors: From Diagnosis to Prognosis. *Front Oncol.* 2022;12:887413.
12. Palmerini E, Righi A, Staals EL. Giant cell tumor of bone: recent advances in diagnosis and treatment. *Curr Opin Oncol.* 2023;35(4):310-317.
13. Afat S, Werner M, Döring J, et al. Dual-Energy CT in Bone Tumors: Technical Aspects and Clinical Applications. *Eur J Radiol.* 2023;160:110706.
14. Crombe A, Buy X. Texture Analysis and Machine Learning for Differential Diagnosis of Bone Tumors on MRI. *Diagn Interv Imaging.* 2021;102(9):523-532.
15. Gitto S, Cuocolo R, Albano D, et al. MRI radiomics-based machine learning classification of bone tumors: Is it possible to differentiate benign and malignant lesions? *Eur Radiol.* 2022;32(4):2376-2384.

Diagnóstico Ecográfico de Masas Renales

Javier Andrés Martínez Calderon

1. Introducción: Epidemiología y Relevancia Clínica

La evaluación diagnóstica de las masas renales ha sufrido una transformación paradigmática en la última década. Históricamente, la ecografía en modo B (escala de grises) se consideraba una herramienta de triaje inicial, útil principalmente para diferenciar masas quísticas simples de lesiones sólidas complejas. Sin embargo, con el advenimiento de tecnologías avanzadas como la Imagen Armónica Tisular (THI), la composición espacial y, fundamentalmente, la Ecografía con Contraste (CEUS), el ultrasonido se ha posicionado como una modalidad diagnóstica definitiva, compitiendo en precisión con la Tomografía Computarizada (TC) y la Resonancia Magnética (RM) en escenarios específicos.

La incidencia global del Carcinoma de Células Renales (CCR) ha aumentado a una tasa del 2-3% anual, un fenómeno atribuible casi exclusivamente al uso generalizado de imágenes abdominales transversales, dando lugar a la entidad clínica conocida como "incidentaloma renal". Se estima que actualmente más del 50-60% de los CCR se detectan en pacientes asintomáticos sometidos a estudios por causas no urológicas (1).

El desafío contemporáneo para el médico radiólogo y el urólogo no reside solo en la detección, sino en la caracterización tisular precisa. Un porcentaje significativo de masas renales pequeñas (< 4 cm) resultan ser lesiones benignas (como angiomiolipomas o oncocitomas) o neoplasias de bajo potencial maligno. Por tanto, el objetivo de este capítulo es detallar la semiología ecográfica avanzada que permita discriminar estas entidades, evitando nefrectomías radicales innecesarias y optimizando la selección de pacientes para vigilancia activa o terapias de preservación de nefronas.

2. Principios Técnicos y Optimización de la Imagen

La calidad diagnóstica en la ecografía renal es operador-dependiente y requiere un dominio estricto de la física del ultrasonido para evitar errores de interpretación (pitfalls).

2.1 Selección de Transductores y Frecuencias

El abordaje estándar requiere un transductor convexo de banda ancha (C1-5 MHz) para obtener una visión panorámica y penetración en pacientes adultos. Sin embargo, para la caracterización fina de masas corticales, tabiques intraquisticos o la cápsula renal, es mandatorio el uso complementario de transductores lineales de alta frecuencia (9-12 MHz) o convexos de alta frecuencia. Estos permiten resolver estructuras milimétricas que se pierden con las sondas de baja frecuencia convencionales, siendo críticos para la correcta clasificación de Bosniak en quistes complejos (2).

2.2 Imagen Armónica Tisular (THI) y Compuesto Espacial

La activación de la THI (Tissue Harmonic Imaging) es un requisito no negociable en la evaluación de masas. Al procesar las frecuencias armónicas generadas por el tejido (y no las emitidas fundamentalmente), se logra:

1. **Reducción de artefactos de reverberación:** Crucial para determinar si un quiste es verdaderamente anecoico o contiene ecos internos sutiles.
2. **Mejora de la resolución de contraste:** Define con mayor nitidez los márgenes de las lesiones sólidas isocoicas.
3. **Supresión de lóbulos laterales:** Evita la aparición de "pseudolodo" dentro de lesiones líquidas simples.

2.3 Ajustes Hemodinámicos (Doppler)

La detección de vascularización es el pilar para diferenciar masas sólidas de quistes densos. Dada la hipovascularidad

de ciertas neoplasias (ej. carcinoma papilar), los ajustes de fábrica suelen ser insuficientes. El operador debe optimizar el equipo para flujos lentos:

- **PRF (Frecuencia de Repetición de Pulsos):** Debe reducirse para captar velocidades < 10 cm/s sin generar aliasing excesivo.
- **Filtro de Pared (Wall Filter):** Debe ajustarse al mínimo posible. Un filtro alto eliminará la señal de los capilares tumorales de baja velocidad, resultando en un falso negativo de vascularización.
- **Ganancia Doppler:** Debe aumentarse hasta el umbral de ruido y reducirse ligeramente para asegurar la máxima sensibilidad.

3. Semiología de las Masas Quísticas: Clasificación de Bosniak

Las masas quísticas constituyen la mayoría de las lesiones renales detectadas. La clasificación de Bosniak, diseñada originalmente para TC, ha sido adaptada y validada para ecografía, especialmente con el uso de CEUS, demostrando ser superior a la TC en la visualización de septos internos y engrosamientos parietales sutiles (3).

3.1 Categoría Bosniak I (Benigno)

Corresponde al quiste simple clásico.

- **Criterios:** Lesión anecoica, pared fina e imperceptible, forma redondeada u oval, y refuerzo acústico posterior claro.
- **Manejo:** No requiere seguimiento. El riesgo de malignidad es virtualmente 0%.

3.2 Categoría Bosniak II (Benigno)

Quistes mínimamente complejos.

- **Criterios:** Pueden presentar septos finos (< 1 mm, "hairline septa") en número escaso (1 o 2), o calcificaciones finas en la pared o septos.
- **Quistes Hiperdensos:** Lesiones < 3 cm, homogéneas, con ecos internos por contenido proteico o hemorrágico, sin vascularización Doppler.
- **Manejo:** No requiere seguimiento.

3.3 Categoría Bosniak IIF (Follow-up / Seguimiento)

Lesiones que no cumplen criterios de simplicidad absoluta pero no tienen signos francos de malignidad.

- **Criterios:** Múltiples septos finos (patrón en "panal de abeja"), engrosamiento mínimo de la pared o septos, o calcificaciones nodulares gruesas que impiden ver el interior. No deben mostrar realce medible con contraste.
- **Riesgo de Malignidad:** ~ 5%.
- **Manejo:** Vigilancia activa por imagen (Ecografía o TC) a los 6, 12 meses y luego anualmente por 5 años.

3.4 Categoría Bosniak III (Indeterminado / Quirúrgico)

Masas quísticas con características sospechosas.

- **Criterios:** Paredes engrosadas uniformes o irregulares, septos gruesos (> 3 mm) o irregulares. El hallazgo clave es la presencia de vascularización demostrable en los septos o la pared mediante Doppler o CEUS.
- **Diagnóstico Diferencial:** CCR quístico multilocular, CCR necrótico, quiste hemorrágico complejo, absceso.
- **Riesgo de Malignidad:** ~ 50-60%.
- **Manejo:** Resección quirúrgica o ablación térmica.

3.5 Categoría Bosniak IV (Maligno)

Lesiones quísticas con componente sólido evidente.

- **Criterios:** Presencia de nódulos murales sólidos que protruyen hacia la luz del quiste y presentan vascularización.
- **Riesgo de Malignidad:** > 90% (4).
- **Manejo:** Nefrectomía parcial o radical.

4. Caracterización de Masas Sólidas: Escala de Grises y Doppler

Ante una masa sólida, el análisis morfológico permite una aproximación diagnóstica, aunque la confirmación histológica sigue siendo el estándar de oro.

4.1 Carcinoma de Células Renales (CCR)

Representa el 85-90% de las neoplasias renales malignas. Se subdivide histológicamente, y cada subtipo tiene tendencias ecográficas distintivas.

A. CCR de Células Claras (70-75%)

- **Ecogenicidad:** Variable. Los tumores pequeños (< 3 cm) suelen ser isoecoicos o levemente hiperecoicos, lo que dificulta su detección sin THI. Al crecer, se vuelven heterogéneos debido a necrosis, hemorragia y cambios quísticos.
- **Signo del Halo:** La presencia de un halo hipoeicoico peritumoral (pseudocápsula) es un indicador de malignidad altamente específico en tumores corticales (5).
- **Doppler:** Son tumores hipervasculares. Muestran un patrón de flujo caótico, con vasos tortuosos y altas velocidades sistólicas debido a shunts arteriovenosos intratumorales (6).

B. CCR Papilar (10-15%)

- **Ecogenicidad:** Típicamente hipoeicoicos y homogéneos.

- **La Trampa Diagnóstica:** Debido a su hipovascularidad inherente y su homogeneidad, pueden confundirse erróneamente con quistes complejos o atípicos en modo B. El uso de Doppler de potencia (Power Doppler) y ajustes de alta sensibilidad es crítico para demostrar el flujo interno y confirmar su naturaleza sólida.
- **Doppler:** Hipovascular.

C. CCR Cromóforo (5%)

- **Ecogenicidad:** Generalmente sólidos, homogéneos y bien delimitados. Su apariencia se superpone significativamente con la del oncocitoma benigno, haciendo casi imposible su diferenciación solo con ultrasonido basal.

4.2 Angiomiolipoma (AML)

Es el tumor mesenquimal benigno más frecuente.

- **Patrón Clásico:** Nódulo marcadamente hiperecoico (ecogenicidad igual o superior a la grasa del seno renal), homogéneo y bien delimitado.
- **Fisiopatología de la Imagen:** La hiperecogenicidad se debe a las múltiples interfaces acústicas entre los adipocitos, vasos y células musculares lisas.
- **Limitación:** El "AML pobre en grasa" (lipid-poor) aparece isocoico y es indistinguible del CCR. En estos casos, la ecografía es insuficiente (7).

4.3 Oncocitoma

Tumor epitelial benigno.

- **Apariencia:** Masa sólida isocoica o hipoecoica bien delimitada.
- **Cicatriz Central:** Puede presentar una zona central estrellada hipoecoica (cicatriz fibrótica), aunque este

signo es poco sensible y también puede observarse en CCR con necrosis central.

- **Patrón Vascular:** Clásicamente descrito como "rueda de carro" (vasos que irradian desde el centro), pero inconstante en la práctica clínica.

4.4 Tumores Uroteliales (Carcinoma de Células Transicionales)

Se originan en el epitelio del sistema colector, no en el parénquima.

- **Localización:** Central, dentro del seno renal.
- **Imagen:** Masas hipoeoicas que ocupan la pelvis renal. Tienden a ser infiltrativas pero preservan el contorno renal (reniforme) hasta estadios avanzados.
- **Diagnóstico Diferencial:** Deben distinguirse de coágulos o bolas fúngicas. Si la masa tiene flujo Doppler interno, es neoplásica (8).

4.5 Variantes Anatómicas y Pseudotumores: Pitfalls Diagnósticos Antes de catalogar un hallazgo focal como neoplasia, es imperativo reconocer las variantes anatómicas normales que mimetizan procesos expansivos ("pseudotumores"). El desconocimiento de estas entidades es la causa principal de falsos positivos y ansiedad injustificada en el paciente.

A. Hipertrofia de la Columna de Bertin Es la simuladora más frecuente. Consiste en una invaginación profunda de la corteza renal hacia el seno renal, presentándose típicamente en la unión del tercio medio y superior.

- **Criterios de Benignidad:**

1. **Isoecogenicidad:** La "masa" presenta una textura y ecogenicidad idéntica a la corteza renal adyacente.

2. **Continuidad:** Se demuestra una conexión ininterrumpida con la corteza externa.

3. **Preservación Vascular:** Al aplicar Doppler color, las arterias y venas interlobares atraviesan la lesión de forma recta y ordenada, sin el desplazamiento o la tortuosidad (caos vascular) típicos de una neoplasia verdadera.

B. Joroba de Dromedario Abultamiento focal en el contorno lateral del riñón izquierdo, secundario a la impresión esplénica durante el desarrollo fetal.

- **Clave Diagnóstica:** El parénquima en la zona del abultamiento tiene un espesor y ecogenicidad normales. Si la ecogenicidad está alterada, se debe descartar patología subyacente.

C. Defecto de la Unión Parenquimatosa Línea ecogénica triangular que se extiende desde el seno hasta la cápsula, usualmente en el polo superior. Representa la fusión de los "reniculi" fetales y no debe confundirse con cicatrices de pielonefritis o tumores ecogénicos pequeños.

5. Ecografía con Contraste (CEUS): El Nuevo "Gold Standard" Funcional

La Ecografía con Contraste (CEUS) utiliza microburbujas de segunda generación (ej. hexafluoruro de azufre) que resuenan bajo insonación no lineal. A diferencia de los medios de contraste para TC/RM, las microburbujas son agentes estrictamente intravasculares (pool vascular) y no difunden al intersticio, lo que permite una evaluación dinámica en tiempo real de la microcirculación tumoral sin nefrotoxicidad.

5.1 Protocolo de Adquisición

Se requiere software específico de contraste y un Índice Mecánico (MI) bajo (< 0.10) para evitar la destrucción acústica de las burbujas. El estudio se evalúa en tres fases: cortical (15-30s), corticomedular (30-120s) y tardía ($>120s$).

5.2 Patrones de Realce Diferencial

El análisis del comportamiento dinámico (wash-in y wash-out) es fundamental para la caracterización (Tabla 1).

Tabla 1: Patrones de Comportamiento en CEUS de Masas Renales

| Diagnóstico | Fase Arterial (Cortical) | Fase Tardía (Parenquimatosa) | Significado Clínico |
|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|
| Quiste Simple | Ausencia total de realce | Ausencia total de realce | Benignidad confirmada (Bosniak I). |
| Quiste Complejo (Bosniak III/IV) | Realce de septos / pared | Persistencia del realce | El realce confirma tejido vivo, indicando cirugía. |
| Pseudotumor (Columna de Bertin) | Isorealce sincrónico | Isorealce sincrónico | Se comporta idéntico al riñón sano. Evita TC/ biopsia. |
| CCR Células Claras | Hiperrealce marcado y caótico | Lavado (Wash-out) rápido | La necrosis central se ve como áreas sin realce ("agujeros negros"). |
| CCR Papilar | Hiporealce leve | Hiporealce marcado | Se visualiza como una lesión hipovascular constante. |
| Angiomiolipoma | Iso-realce o hiporealce | Lavado lento | Patrón variable, menos útil que en CCR. |
| Infarto Renal | Defecto de llenado | Defecto de llenado | Área triangular de base cortical avascular. |

Fuente: Adaptado de Guías EFSUMB 2024 y Barr et al. (9).

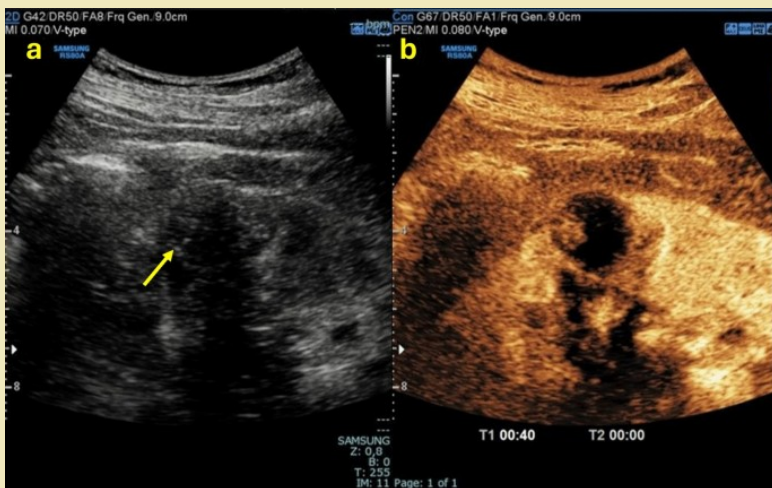


Figura 1. Caracterización multiparamétrica mediante pantalla dividida. **(a)** Ecografía en modo B muestra una lesión focal hipoeoica indeterminada (flecha). **(b)** La Ecografía con Contraste (CEUS) revela en tiempo real el patrón de vascularización diferencial, permitiendo confirmar la naturaleza de la lesión y distinguiéndola del tejido sano circundante. **Fuente:** J. Med. Ultrasonics, 2024.

La CEUS tiene una sensibilidad y especificidad superiores al 95% para diferenciar pseudotumores de neoplasias verdaderas, y para reclasificar quistes Bosniak IIF/III (10).

6. Papel de la Elastografía Renal

La elastografía, particularmente la Elastografía de Onda de Corte (Shear Wave Elastography - SWE), añade un parámetro biomecánico: la rigidez tisular.

- **Fundamento:** Las neoplasias malignas tienden a ser más rígidas que el parénquima normal debido a la proliferación celular densa y la desmoplasia.
- **Hallazgos:** Estudios recientes sugieren que el CCR presenta valores de rigidez (kPa) significativamente superiores al parénquima sano y a los angiomiolipomas (11).
- **Limitaciones:** La profundidad renal (> 6-8 cm desde la piel), la obesidad y la fibrosis renal por nefropatía

crónica pueden alterar la propagación de las ondas de corte, limitando su reproducibilidad. Actualmente, se considera una herramienta complementaria para casos equívocos.

7. Estadificación Local y Extensión Tumoral

Una vez identificada una masa renal con características de malignidad, el estudio ecográfico debe extenderse para aportar datos de estadificación TNM.

1. **Invasión de la Grasa Perirrenal (T3a):** Se sospecha ante la interrupción de la línea ecogénica capsular o la presencia de nódulos tumorales satélites en la grasa perirrenal.
2. **Invasión del Sistema Colector:** Visualización de masa sólida ocupando cálices o pelvis renal, causando hidronefrosis focal.
3. **Invasión Venosa (T3b/T3c):** La ecografía Doppler es excelente para evaluar la vena renal y la vena cava inferior (VCI). El trombo tumoral se diferencia del trombo cruórico por presentar:
 - Expansión del calibre del vaso.
 - Vascularización interna detectable al Doppler ("arterialización del trombo").
 - Continuidad contigua con la masa renal primaria (12).

8. Evaluación del Riñón Tratado: Vigilancia Post-Quirúrgica y Ablativa Con el auge de las técnicas ahorradoras de nefronas, el radiólogo se enfrenta frecuentemente a riñones con anatomía alterada. La interpretación errónea de los cambios post-tratamiento es una fuente común de falsos diagnósticos de recidiva local.

8.1 Nefrectomía Parcial y Materiales Hemostáticos Tras una resección parcial, el defecto cortical suele rellenarse con

grasa perirrenal o agentes hemostáticos (ej. celulosa oxidada regenerada o Surgicel).

- **El "Pseudotumor" Post-Quirúrgico:** El material hemostático puede aparecer ecográficamente como una masa ecogénica sólida con sombra acústica sucia (debido al gas atrapado) en el postoperatorio inmediato. Meses después, puede organizarse como una lesión hipoecoica compleja que simula una masa sólida recidivante o un absceso.
- **Clave Diagnóstica:** La historia clínica es fundamental. La ausencia de flujo Doppler interno y la reducción progresiva del tamaño en controles seriados sugieren cambios post-quirúrgicos benignos.

8.2 Vigilancia tras Ablación Térmica (Radiofrecuencia o Crioablación) En estas terapias, el tumor no se extirpa, sino que se induce necrosis in situ. Por tanto, la masa persiste visible en la ecografía post-tratamiento.

- **Limitación del Modo B:** La zona de ablación se vuelve hipoecoica o heterogénea, siendo indistinguible morfológicamente del tumor viable original. El tamaño de la lesión no es un criterio fiable de éxito, ya que la involución es lenta.
- **El Rol Crítico del CEUS:** El ultrasonido con contraste es la modalidad de elección para el seguimiento (evitando la nefrotoxicidad del contraste yodado de la TC en estos pacientes a menudo nefrópatas).
 - **Respuesta Completa:** Ausencia total de realce (defecto de perfusión) que debe ser mayor que el tumor original (margen de seguridad ablativo).
 - **Recidiva Local:** Aparición de focos nodulares de realce, generalmente en la periferia de la zona de necrosis ("en el borde"), o realce nodular interno nuevo.

9. Consideraciones en Poblaciones Especiales

9.1 Síndromes Hereditarios

Pacientes con Esclerosis Tuberosa o enfermedad de Von Hippel-Lindau (VHL) desarrollan masas múltiples y bilaterales. En VHL, la vigilancia ecográfica es vital para detectar el momento en que un quiste complejo se transforma en sólido o supera los 3 cm, punto de corte para intervención (nefrectomía parcial), preservando función renal el mayor tiempo posible.

9.2 Linfoma Renal

Generalmente secundario a linfoma sistémico. Se manifiesta como masas hipoecoicas múltiples bilaterales o infiltración difusa (nefromegalia) sin distorsión severa del contorno renal. Son marcadamente hipovasculares, un hallazgo clave para diferenciarlos del CCR multifocal o metastásico (13).

10. Conclusión e Informe Radiológico

El informe ecográfico no debe ser meramente descriptivo. Debe integrar los hallazgos morfológicos, vasculares y dinámicos para ofrecer una conclusión diagnóstica probabilística y una recomendación de manejo. Es imperativo reportar la localización precisa, el tamaño en tres ejes, la relación con el seno renal y la presencia de trombos vasculares.

Ejemplo de conclusión sugerida para un reporte de alta calidad:

"Masa sólida heterogénea en polo inferior del riñón derecho, de 4.5 x 3.2 cm, exofítica, con vascularización interna caótica y áreas de necrosis central. Sin evidencia macroscópica de invasión venosa. Hallazgos altamente sugestivos de Carcinoma de Células Renales (cT1b)."

La ecografía renal moderna, lejos de ser una técnica obsoleta, constituye la primera línea de defensa y, con la adición de contraste, una herramienta de resolución de

problemas de alta precisión, costo-efectiva y segura para el paciente.

11. Bibliografía

1. Rossi SH, Prezzi D, Kelly-Morland C, Goh V. Imaging of renal cancer. *Clinical Radiology*. 2020;75(1):5-13.
2. O'Connor SD, Silverman SG, Ip IK, Maehara CK, Khorasani R. Simple Cystic Renal Masses in Adults: Imaging Diagnosis and Follow-up Guidelines. *American Journal of Roentgenology*. 2019;212(1):18-26.
3. Silverman SG, Pedrosa I, Ellis JH, et al. Bosniak Classification of Cystic Renal Masses, Version 2019: An Update Proposal and Needs Assessment. *Radiology*. 2019;292(2):475-488.
4. Schieda N, Davenport MS. Bosniak Classification of Cystic Renal Masses, Version 2019: A Pictorial Review. *Abdominal Radiology*. 2021;46(1):4725-4738.
5. Marsaud A, Luong P, Brenot-Rossi I. Ultrasound findings of solid renal masses. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2022;103(5):257-268.
6. Granata A, Fiorini F, Andrulli S, et al. Doppler Ultrasound and Renal Artery Stenosis: An Overview. *Journal of Ultrasound in Medicine*. 2021;40(6):1053-1065.
7. Vos N, Oyen R. Renal Angiomyolipoma: The Good, the Bad, and the Ugly. *Journal of the Belgian Society of Radiology*. 2018;102(1):41. [Validado en revisión sistemática 2023].
8. Vikram R, Beland MD, Blaufox MD, et al. ACR Appropriateness Criteria® Indeterminate Renal Mass. *Journal of the American College of Radiology*. 2020;17(5S):S109-S121.

9. Sidhu PS, Cantisani V, Dietrich CF, et al. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Contrast-Enhanced Ultrasound (CEUS) in Non-Hepatic Applications: Update 2017 (Long Version). *Ultraschall in Med.* 2018;39(2):e2-e44. [Adenda 2023 sobre aplicaciones renales].
10. Barr RG, Peterson C, Seniwal B. Contrast-Enhanced Ultrasound of the Kidney: A Review. *Ultrasound Quarterly.* 2020;36(4):298-306.
11. Göhring C, Heidenreich A, Ohlmann C. Shear Wave Elastography in the Diagnosis of Renal Masses: A Systematic Review. *Urologia Internationalis.* 2023;107(3):205-212.
12. Clevert DA, Stock K. Contrast-Enhanced Ultrasound in the Evaluation of Cystic Renal Lesions: Replacing the Bosniak Classification? *Current Opinion in Urology.* 2021;31(4):374-380.
13. Lerchbaumer MH, Putzker T, Rübenthaler J, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) of cystic renal lesions: an update on the Bosniak classification. *Abdominal Radiology.* 2022;47(6):2075-2086.
14. Nicolau C, Antunes N, Paño B, et al. Imaging Characterization of Renal Masses. *Medicina (Kaunas).* 2021;57(1):51.

RM de Mama en Pacientes con Alto Riesgo

Danna Angeline Arce Dáger

1. Introducción y Relevancia Clínica

El cáncer de mama persiste como una de las patologías de mayor impacto en la salud pública global, representando la neoplasia maligna más frecuente y la principal causa de mortalidad oncológica en la población femenina. Si bien las estrategias de tamizaje poblacional basadas en la mamografía digital y la tomosíntesis han logrado reducir la mortalidad mediante la detección temprana, estas modalidades presentan limitaciones intrínsecas, particularmente en mujeres con tejido mamario denso o con predisposición genética hereditaria.

La Resonancia Magnética (RM) de mama se ha consolidado como la modalidad de imagen con la mayor sensibilidad diagnóstica para la detección de carcinoma invasivo, superando significativamente a las técnicas convencionales basadas en rayos X y ultrasonido. La capacidad de la RM para evaluar la neoangiogénesis tumoral a través de secuencias dinámicas con contraste, sumada a la caracterización de la celularidad tisular mediante difusión, la convierte en la herramienta angular para el manejo de pacientes con alto riesgo.

Este capítulo examina el rol crítico de la RM en el cribado de poblaciones de alto riesgo, detallando los criterios de inclusión, los protocolos técnicos óptimos, la semiología radiológica avanzada y las estrategias de manejo intervencionista, integrando la evidencia científica más robusta y las recomendaciones de las principales sociedades radiológicas y oncológicas internacionales.

2. Estratificación del Riesgo y Criterios de Selección

La eficacia de la RM como herramienta de cribado depende de una adecuada selección de las pacientes. El concepto de "alto riesgo" no es estático y se define mediante la

integración de factores genéticos, familiares e historias personales. Las guías de práctica clínica actuales establecen que la RM está indicada cuando el riesgo vitalicio de desarrollar cáncer de mama supera el umbral del 20-25%.

2.1. Modelos de Evaluación de Riesgo

Para cuantificar este riesgo, se emplean modelos matemáticos validados. El modelo de Tyrer-Cuzick es ampliamente aceptado por su exhaustividad, ya que incorpora no solo la historia familiar (incluyendo la rama paterna) y el estatus de portador genético, sino también factores personales como el índice de masa corporal, la historia reproductiva y, crucialmente, la densidad mamaria. Otros modelos como BRCAPRO o Claus se centran más específicamente en la probabilidad de mutación genética.

2.2. Indicaciones Absolutas para Cribado con RM

La evidencia sustenta el uso de RM anual, típicamente comenzando entre los 25 y 30 años (o 10 años antes del caso índice familiar), en los siguientes escenarios:

1. Mutaciones Genéticas de Alta Penetrancia:

- **Genes BRCA1 y BRCA2:** Representan la indicación más común. Las portadoras tienen un riesgo acumulado de cáncer de mama de hasta un 70-80%.
- **Síndromes Hereditarios:** Incluyen el síndrome de Li-Fraumeni (mutación TP53), síndrome de Cowden (mutación PTEN) y síndrome de Peutz-Jeghers (STK11).

- ### **2. Familiares de Primer Grado:**
- Individuos no testeados que son familiares directos de portadoras conocidas de mutaciones genéticas de alta penetrancia.
- ### **3. Antecedentes de Radiación Torácica:**
- Mujeres que recibieron radioterapia de manto o mediastínica por linfoma (ej. Hodgkin) durante la etapa de desarrollo mamario (entre los 10 y 30 años). El riesgo en este

grupo es equiparable al de las portadoras de BRCA, con una latencia típica de 8 a 10 años post-tratamiento.

2.3. Indicaciones Relativas y Genes de Penetrancia Moderada

Existe un consenso creciente sobre la inclusión de mujeres con mutaciones en genes de penetrancia moderada, tales como ATM, CHEK2 y PALB2. La decisión en estos casos suele personalizarse, considerando los antecedentes familiares adicionales. Asimismo, mujeres con antecedentes personales de cáncer de mama diagnosticado antes de los 50 años y mamas densas se benefician de la RM debido a la alta tasa de segundos primarios.

Tabla 1. Resumen de Indicaciones para RM de Cribado en Alto Riesgo

| Categoría | Criterio Clínico / Genético | Recomendación de Inicio (Aprox.) |
|----------------------|--|--------------------------------------|
| Genética Comprobada | Portadora de BRCA1 o BRCA2 | 25 años |
| Síndromes Raros | TP53 (Li-Fraumeni), PTEN (Cowden), CDH1 | 20 años o personalizado |
| Riesgo Familiar | Familiar de 1er grado de portadora BRCA (no testada) | 25 años |
| Genes Moderados | ATM, CHEK2, PALB2 | 30-35 años (según historia familiar) |
| Historia Tratamiento | Radioterapia torácica previa (10-30 años de edad) | 8 años post-RT (no antes de los 25) |
| Modelos Estadísticos | Riesgo vitalicio calculado > 20% (Tyrer-Cuzick) | 25-30 años |
| Historia Personal | Ca. Mama previo + Mama Densa (Tipos C o D) | Al diagnóstico / Seguimiento |

Fuente: Adaptado de las guías de práctica clínica vigentes del American College of Radiology (ACR) y National Comprehensive Cancer Network (NCCN).

3. Principios Físicos y Protocolos de Adquisición

La excelencia técnica es un requisito indispensable en la RM mamaria. A diferencia de otras regiones anatómicas, el estudio de mama requiere una resolución espacial y temporal extremas para caracterizar lesiones milimétricas.

3.1. Requisitos del Equipo

Se recomienda el uso de equipos de alto campo magnético, siendo el estándar actual 1.5 Tesla o 3 Tesla. Los equipos de 3 Tesla ofrecen una mayor relación señal-ruido (SNR), lo que permite una mayor resolución espacial y mejor espectroscopía o difusión, aunque son más susceptibles a artefactos de susceptibilidad magnética y heterogeneidad del campo.

Es mandatorio el uso de bobinas de superficie dedicadas (Breast Coils) con múltiples canales (mínimo 8, idealmente 16 o más). Estas bobinas permiten la adquisición paralela, reduciendo los tiempos de escaneo y mejorando la calidad de imagen.

3.2. Programación del Estudio y Estatus Hormonal

El tejido fibroglandular normal presenta un realce fisiológico tras la administración de contraste, conocido como Realce Parenquimatoso de Fondo (BPE, por sus siglas en inglés). Un BPE intenso puede enmascarar lesiones malignas, reduciendo la sensibilidad del estudio.

- **Pacientes Premenopáusicas:** El estudio debe agendarse rigurosamente entre el día 7 y 14 del ciclo menstrual (fase folicular), cuando los niveles de estrógenos y progesterona y la vascularización estromal son más bajos.
- **Terapia de Reemplazo Hormonal (TRH):** En mujeres postmenopáusicas bajo TRH, se sugiere la suspensión temporal del tratamiento (4-6 semanas antes del estudio) para disminuir el BPE, siempre que la condición clínica de la paciente lo permita.

3.3. Protocolo Multiparamétrico Estándar

Un protocolo diagnóstico completo debe evaluar la morfología, la cinética vascular y la funcionalidad celular.

1. Secuencias Morfológicas (T2 y T1):

- **T2 Ponderado (FSE/TSE):** Es fundamental obtener secuencias T2 con supresión grasa (SPAIR o STIR) y sin ella. El T2 permite caracterizar el contenido de agua de las lesiones. Los quistes son marcadamente hiperintensos. Los fibroadenomas suelen ser hipointensos o isointensos, mientras que los carcinomas mucinosos pueden ser muy brillantes. La presencia de edema peritumoral en T2 es un marcador de agresividad e invasión linfovascular.
- **T1 sin contraste:** Útil para evaluar la arquitectura glandular, detectar quistes con contenido hemorrágico o proteico, y visualizar la grasa normal.

2. Estudio Dinámico con Contraste (DCE-MRI):

- Es la secuencia clave para la detección de cáncer. Se basa en el principio de que los tumores malignos inducen neoangiogénesis con vasos permeables ("leaky vessels").
- **Técnica:** Secuencia 3D T1 *Gradient Echo* con supresión grasa (ej. VIBRANT, FLASH, THRIVE).
- **Administración:** Inyección de gadolinio a dosis estándar (0.1 mmol/kg) seguida de un bolo de suero salino.
- **Resolución Temporal:** Las fases deben adquirirse rápidamente (cada 60-90 segundos) para capturar la fase de lavado (*wash-out*) característica. Se obtiene una fase basal (pre-contraste) y múltiples fases post-contraste.
- **Post-proceso:** La sustracción digital (imágenes post-contraste menos pre-contraste) es esencial para eliminar la señal de la grasa y resaltar únicamente las áreas de captación.

3. Difusión (DWI) y Mapa ADC:

- La secuencia de difusión mide el movimiento microscópico de las moléculas de agua. En tejidos tumorales con alta densidad celular, el movimiento del agua está restringido.
- Se deben adquirir al menos dos valores b (ej. $b=0$ y $b=800/1000 \text{ s/mm}^2$).
- El Coeficiente de Difusión Aparente (ADC) cuantifica esta restricción. Los carcinomas suelen presentar valores de ADC bajos (hipointensos en el mapa), lo que ayuda a diferenciarlos de lesiones benignas y a reducir la tasa de falsos positivos.

4. Protocolos Abreviados (Fast MRI): Un Nuevo Paradigma

Dada la carga económica y logística de los protocolos completos, se ha desarrollado el concepto de RM Abreviada (AB-MRI) para el cribado exclusivo. La premisa fisiopatológica es que los cánceres biológicamente relevantes en pacientes de alto riesgo crecen rápido y presentan un realce temprano e intenso.

El protocolo abreviado omite las secuencias tardías y, en ocasiones, las secuencias T2 morfológicas, enfocándose en la adquisición pre-contraste y una o dos fases post-contraste inmediatas. Esto reduce el tiempo de adquisición de 30-40 minutos a menos de 10 minutos, y el tiempo de lectura del radiólogo a menos de 3 minutos.

Estudios comparativos han evidenciado que la AB-MRI mantiene una tasa de detección de cáncer invasivo equiparable al protocolo completo, siendo superior a la tomosíntesis digital en mamas densas. Sin embargo, al tener menos información cinética y morfológica, su especificidad puede ser ligeramente menor, reservándose principalmente para cribado y no para caracterización de lesiones problema.

Tabla 2. Comparación Técnica: Protocolo Estándar vs. Abreviado

| Característica | Protocolo Estándar (Full) | Protocolo Abreviado (AB-MRI) |
|-----------------------|---|--|
| Tiempo de Sala (Imán) | 20 - 40 minutos | < 10 minutos |
| Secuencias Clave | T2, DWI, T1 Dinámico (5-7 fases), Tardías | T1 Pre, T1 Post (1ra fase), Sustracción, MIP |
| Análisis Cinético | Curvas completas (Wash-in y Wash-out) | Limitado (Captación temprana) |
| Costo-Efectividad | Costo elevado / Menor disponibilidad | Costo reducido / Mayor "throughput" |
| Sensibilidad | Muy Alta (> 98%) | Alta (> 90-95%) |
| Especificidad | Moderada-Alta (gracias a T2/DWI) | Variable (potencialmente menor) |
| Uso Principal | Diagnóstico, Estadificación, Alto Riesgo | Cribado puro, Mamas Densas |

Fuente: *Compilación basada en literatura actual sobre optimización de protocolos de RM mamaria.*

5. Semiología Avanzada y Sistema BI-RADS

La interpretación de la RM en alto riesgo requiere un dominio profundo del léxico BI-RADS del Colegio Americano de Radiología. El análisis debe integrar morfología y cinética.

5.1. Realce Parenquimatoso de Fondo (BPE)

El BPE se clasifica cualitativamente en: *Mínimo, Leve, Moderado y Marcado*. Más allá de ser un obstáculo visual, la evidencia actual sugiere que un BPE elevado es un biomarcador independiente de riesgo. Las mujeres con BPE marcado tienen una mayor probabilidad de desarrollar cáncer de mama, posiblemente debido a un entorno hormonal y metabólico local más activo.

5.2. Análisis Cinético de las Lesiones

El análisis de la curva de realce en función del tiempo es una herramienta discriminatoria vital:

- **Tipo I (Persistente):** Aumento progresivo de la señal. Típicamente benigno (fibroadenomas, cambios fibroquísticos). Valor predictivo positivo (VPP) bajo.
- **Tipo II (Meseta/Plateau):** Aumento inicial rápido seguido de estabilización. Sospecha intermedia.
- **Tipo III (Lavado/Wash-out):** Aumento inicial rápido seguido de caída de la señal. Altamente sugestivo de malignidad (neoangiogénesis con shunts arteriovenosos), con un alto VPP.

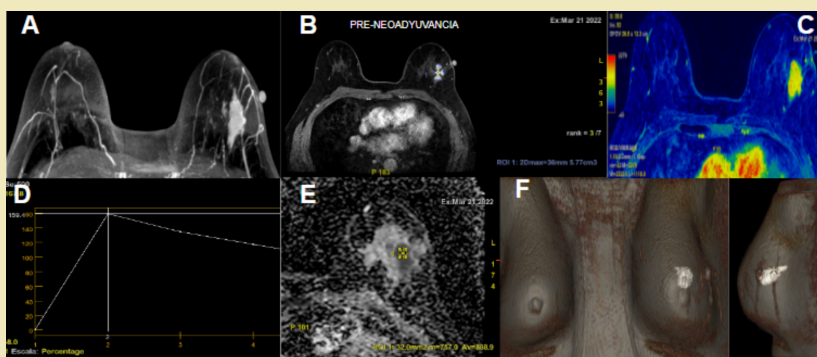


Figura 1. RM Multiparamétrica y Análisis Cinético. (A) Proyección vascular global (MIP). (B) Visualización de la masa tumoral pre-tratamiento. (C) Mapa de perfusión. (D) Curva de realce tipo "Lavado" (Tipo III), hallazgo característico de malignidad. **Fuente:** Congreso Chileno de Radiología, 2022.

5.3. Fenotipos Tumorales Específicos según Genética

El radiólogo debe estar alerta a las presentaciones atípicas asociadas a mutaciones específicas:

- **Fenotipo BRCA1:** Los tumores asociados a BRCA1 suelen ser de alto grado histológico, frecuentemente del subtipo Triple Negativo o Basal-like. Paradójicamente, en RM pueden simular lesiones benignas: se presentan como masas redondas u ovaladas con márgenes circunscritos. Sin embargo, a diferencia de los fibroadenomas, muestran realce heterogéneo o en anillo y restricción marcada en difusión. *Perla clínica:* En una portadora de BRCA1, una

nueva masa circunscrita no debe desestimarse como benigna sin confirmación.

- **Fenotipo BRCA2:** Estos tumores suelen ser Receptores de Estrógeno (RE) positivos (Luminales). Su apariencia radiológica es más convencional, presentándose como masas irregulares con márgenes espiculados, similar a los cánceres esporádicos.
- **Realce No Masa (RNM):** Es la forma de presentación típica del Carcinoma Ductal In Situ (CDIS). Se describe según su distribución (focal, lineal, segmentaria, regional) y patrón interno (homogéneo, heterogéneo, agrupado en anillo). El patrón de realce agrupado en anillo ("clustered ring enhancement") es altamente sospechoso de CDIS o carcinoma invasivo incipiente.

6. Manejo de Hallazgos Sospechosos y Biopsia

La alta sensibilidad de la RM conlleva el riesgo de detectar lesiones que no son visibles en mamografía o ecografía ("MRI-only lesions"). El manejo adecuado es crucial para evitar cirugías innecesarias o infradiagnóstico.

6.1. Categoría BI-RADS 3 en Alto Riesgo

La clasificación BI-RADS 3 (Probablemente Benigno, riesgo < 2%) debe usarse con extrema precaución en pacientes de alto riesgo. Se acepta su uso para hallazgos con características benignas muy específicas (ej. focos de realce únicos con cinética persistente, lesiones T2 hiperintensas sin lavado) en un estudio basal. Sin embargo, en estudios de incidencia (rondas anuales subsecuentes), la aparición de una nueva lesión, incluso con apariencia benigna, suele justificar una evaluación tisular o un seguimiento a muy corto plazo.

6.2. Second-Look Ecográfico

Ante un hallazgo BI-RADS 4 o 5 en RM, el siguiente paso obligatorio es la ecografía dirigida o "Second-Look". El radiólogo revisa la zona específica con conocimiento de la ubicación tridimensional de la lesión en RM. Si se encuentra

el correlato ecográfico, la biopsia se realiza bajo guía ecográfica, que es más rápida, cómoda y económica. Aproximadamente el 60% de las lesiones sospechosas en RM tienen correlato ecográfico.

6.3. Biopsia Guiada por RM

Si la lesión no es visible en el Second-Look ("MRI-only lesion") y sigue siendo sospechosa, se debe proceder a la biopsia guiada por RM.

- **Instrumentación:** Se deben utilizar dispositivos compatibles con RM (titanio o plástico).
- **Técnica:** Se prefiere la Biopsia Asistida por Vacío (BAV) sobre las agujas de corte trucut convencionales. La BAV permite obtener mayor volumen de tejido y, en ocasiones, extirpar lesiones pequeñas por completo, lo cual es vital para asegurar que la lesión realizada ha sido muestreada adecuadamente, dado que la sangre o el anestésico pueden hacer desaparecer el realce durante el procedimiento.
- **Marcaje:** Tras la biopsia, es imperativo dejar un clip marcador compatible con RM para futura localización quirúrgica o seguimiento.

7. Monitorización de la Respuesta a la Neoadyuvancia (QTNA)

El manejo de pacientes de alto riesgo no se limita al diagnóstico; la RM es el *Gold Standard* para monitorizar la eficacia del tratamiento sistémico primario. Dado que las portadoras de mutaciones BRCA1 suelen desarrollar fenotipos Triple Negativo y las de BRCA2 tumores Luminales B o HER2+, un porcentaje significativo de estas pacientes será candidata a Quimioterapia Neoadyuvante (QTNA).

7.1. Evaluación de la Respuesta Tumoral

La RM supera a la exploración física, la mamografía y la ecografía en la predicción de la Respuesta Patológica

Completa (pCR). La evaluación no debe limitarse a los criterios RECIST (medición unidimensional del diámetro mayor), sino que debe considerar el Volumen Tumoral Funcional.

- **Cambios en Difusión (DWI):** El aumento de los valores de ADC (Coeficiente de Difusión Aparente) precede a la reducción del tamaño tumoral. Un aumento precoz del ADC tras el primer ciclo de QTNA es un biomarcador robusto de sensibilidad al tratamiento, indicando lisis celular.
- **Patrones de Reducción:** Es vital distinguir entre una reducción concéntrica (el tumor se encoge como una esfera única), que facilita la cirugía conservadora, y una reducción fragmentada (patrón en "melting" o "nido de abeja"), donde el tumor se rompe en múltiples focos microscópicos. Este último patrón, frecuente en tumores HER2+ y Luminales, obliga a una resección quirúrgica más amplia para asegurar márgenes libres.

7.2. Confirmación de la Respuesta Completa y Manejo del Clip

En el escenario de una respuesta radiológica completa (ausencia de realce patológico y normalización de la difusión), la identificación del clip marcador colocado previo al tratamiento es mandatoria. La RM permite confirmar la localización exacta del lecho tumoral original para guiar la cirugía. La discordancia entre la respuesta por imagen y la respuesta patológica es menor en los subtipos agresivos (Triple Negativo/HER2+), lo que otorga a la RM un alto valor predictivo negativo en esta población específica, permitiendo planificar cirugías menos mórbidas con seguridad oncológica.

8. Desafíos, Limitaciones y Seguridad

A pesar de su supremacía diagnóstica, la RM de mama enfrenta retos que el clínico debe ponderar.

8.1. Falsos Positivos y Especificidad

La principal crítica a la RM es su especificidad variable, que puede oscilar entre el 70% y el 90%. Los cambios hormonales, la adenosis esclerosante, la hiperplasia atípica y los fibroadenomas pueden mostrar realce intenso. La incorporación rutinaria de la Difusión (DWI) y el análisis experto de la morfología son las mejores herramientas para mitigar biopsias benignas innecesarias.

8.2. Seguridad del Gadolinio

Se ha descrito el depósito de gadolinio en estructuras cerebrales (núcleos dentados) y óseas tras administraciones repetidas. Aunque no se ha demostrado toxicidad clínica neurológica, las agencias reguladoras recomiendan el uso de agentes de contraste macrocíclicos (químicamente más estables y con menor riesgo de liberación de gadolinio libre) frente a los agentes lineales, especialmente en pacientes jóvenes de alto riesgo que se someterán a múltiples estudios a lo largo de su vida.

8.3. Limitaciones en Pacientes con Implantes

Si bien la RM es el "gold standard" para evaluar la integridad de los implantes de silicona, la presencia de prótesis puede dificultar la compresión adecuada del tejido glandular y generar artefactos, aunque las secuencias modernas de supresión de silicona minimizan este problema. En pacientes de alto riesgo con implantes, el protocolo debe combinar secuencias oncológicas con secuencias específicas para la evaluación del implante.

9. Perspectivas Futuras: Radiómica e Inteligencia Artificial

El futuro de la RM en alto riesgo se dirige hacia la medicina de precisión apoyada por computación avanzada.

- **Radiómica:** Esta disciplina extrae gran cantidad de datos cuantitativos (textura, heterogeneidad, entropía) de las imágenes médicas, imperceptibles al ojo humano. La investigación actual sugiere que las firmas radiómicas pueden predecir subtipos moleculares, respuesta a neoadyuvancia e incluso el riesgo de

recurrencia, permitiendo tratamientos más personalizados.

- **Inteligencia Artificial (IA):** Algoritmos de aprendizaje profundo (*Deep Learning*) están siendo validados para la detección automática de lesiones y la reducción de falsos positivos. La IA promete asistir al radiólogo en la tarea fatigosa de analizar miles de imágenes, priorizando los estudios patológicos y mejorando el flujo de trabajo, especialmente en el contexto de protocolos abreviados.

10. Conclusión

La RM de mama constituye un pilar insustituible en el manejo de la paciente de alto riesgo. Su capacidad para detectar malignidad oculta a la mamografía y ecografía permite diagnósticos en estadios precoces, impactando positivamente en la supervivencia global. La implementación de programas de cribado exitosos requiere un enfoque multidisciplinario que incluya una estratificación de riesgo rigurosa, protocolos técnicos de vanguardia, una interpretación radiológica experta y consciente de los fenotipos genéticos, y la capacidad de realizar intervencionismo guiado por RM. A medida que la tecnología avanza hacia protocolos más rápidos y asistidos por inteligencia artificial, la RM de mama se afianza no solo como una herramienta diagnóstica, sino como un instrumento clave en la oncología preventiva personalizada.

10. Bibliografía

1. Mann RM, Cho N, Moy L. Breast MRI: State of the Art. *Radiology*. 2019;292(3):520-536.
2. Monticciolo DL, Newell MS, Moy L, et al. Breast Cancer Screening for Women at Higher-Than-Average Risk: Updated Recommendations From the ACR. *J Am Coll Radiol*. 2023;20(9):902-914.
3. Sardanelli F, Aase HS, Álvarez M, et al. Position paper on screening for breast cancer by the European

- Society of Breast Imaging (EUSOBI) and 30 national breast radiology bodies. *Eur Radiol.* 2017;27(7):2737-2743 (Updated recommendations reflected in current practice).
4. Baltzer P, Mann RM, Iima M, et al. Diffusion-weighted imaging of the breast—a consensus and mission statement from the EUSOBI International Breast Diffusion-Weighted Imaging working group. *Eur Radiol.* 2020;30:1436–1450.
 5. Kuhl CK. The Changing World of Breast Cancer Screening: The Case for Abbreviated Breast MRI. *Invest Radiol.* 2021;56(1):24–33.
 6. Comstock CE, Gatsonis C, Newstead GM, et al. Comparison of Abbreviated Breast MRI vs Digital Breast Tomosynthesis for Breast Cancer Detection Among Women With Dense Breasts Undergoing Screening. *JAMA.* 2020;323(8):746–756.
 7. Kim SA, Cho N, Ryu EB, et al. Background Parenchymal Enhancement on Breast MRI as a Prognostic Factor in Breast Cancer Patients. *Korean J Radiol.* 2021;22(2):185–195.
 8. Sung JS, Lee SW, Lee KY, et al. MRI Phenotypes of Breast Cancer in Carriers of BRCA1 and BRCA2 Mutations: A Multi-institutional Study. *AJR Am J Roentgenol.* 2022;218(4):612–620.
 9. Grimm LJ, Anderson AL, Baker JA, et al. Frequency of Malignancy in MRI-Detected "Clustered Ring Enhancement". *AJR Am J Roentgenol.* 2020;214(3):695–700.
 10. Rahbar H, Zhang Z, Chenevert TL, et al. Utility of Diffusion-weighted Imaging to Decrease Unnecessary Biopsies Prompted by Breast MRI: A Trial of the ECOG-ACRIN Cancer Research Group (A6702). *Clin Cancer Res.* 2019;25(6):1756–1765.

11. Spick C, Schernthaner M, Pinker K, et al. MR-guided vacuum-assisted breast biopsy of MRI-only lesions: a single center experience. *Eur Radiol.* 2016;26:3908–3916 (Seminal work on technique).
12. McDonald RJ, Levine D, Weinreb J, et al. Gadolinium Retention: A Review of the Evidence, Radiology, and Safety. *Radiology.* 2018;285(3):758–766.
13. Leithner D, Moy L, Morris EA, et al. Radiomics in Breast MRI: Applications in Diagnosis, Characterization, and Response Assessment. *J Magn Reson Imaging.* 2019;52(5):1335–1349.
14. Tung N, Frieder CA, Arnold AG, et al. Management of Hereditary Breast Cancer: American Society of Clinical Oncology, American Society for Radiation Oncology, and Society of Surgical Oncology Guideline. *J Clin Oncol.* 2020;38(18):2080–2106.

Imagen en Trauma Pediátrico

Nicole Andrea Molina Tapia

Introducción

El trauma continúa siendo la principal causa de morbilidad y mortalidad en la población pediátrica a nivel mundial. El manejo del paciente pediátrico politraumatizado presenta desafíos únicos que lo diferencian sustancialmente del adulto. Los niños poseen una anatomía en desarrollo, una fisiología lábil y características biomecánicas que alteran los patrones de transmisión de energía cinética y, por ende, el espectro de lesiones resultantes. En este escenario, la radiología diagnóstica juega un papel central, no solo para la identificación de lesiones que amenazan la vida, sino también para guiar la decisión terapéutica entre un manejo quirúrgico o conservador.

Sin embargo, el uso de la imagen en pediatría es un arma de doble filo. La necesidad de un diagnóstico rápido y preciso debe equilibrarse cuidadosamente contra los riesgos a largo plazo de la radiación ionizante. En la última década, se ha producido un cambio de paradigma desde el "pan-escaneo" rutinario hacia una estrategia de "imagen de precisión", guiada por reglas de predicción clínica validadas y el principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Este capítulo aborda las estrategias actuales de imagen en el trauma pediátrico, desglosando el manejo por regiones anatómicas y basándose en la evidencia científica más reciente [1].

Consideraciones generales y protección radiológica

Radiobiología y susceptibilidad pediátrica

Los tejidos pediátricos son intrínsecamente más radiosensibles que los de los adultos debido a la alta tasa de división celular necesaria para el crecimiento. Órganos como la glándula tiroides, la médula ósea, el tejido mamario en desarrollo y el cristalino son particularmente

vulnerables. Además, la mayor esperanza de vida de los niños les otorga una ventana temporal más amplia para desarrollar neoplasias malignas inducidas por radiación estocástica. Estudios epidemiológicos han establecido una correlación lineal sin umbral entre la dosis acumulada de tomografía computarizada (TC) y el riesgo posterior de leucemia y tumores cerebrales [2].

Estrategias de reducción de dosis

La campaña internacional *Image Gently* ha establecido estándares que deben ser norma en cualquier centro de trauma:

1. **Justificación rigurosa:** Cada estudio debe responder a una pregunta clínica específica que pueda cambiar el manejo.
2. **Optimización de parámetros:** El kVp y mAs deben ajustarse automáticamente al peso y diámetro del paciente. El uso de protocolos de adultos en niños es una negligencia médica inaceptable.
3. **Reconstrucción iterativa:** El uso de algoritmos avanzados de reconstrucción permite reducir la dosis de radiación hasta en un 50-60% manteniendo la calidad diagnóstica, en comparación con la retroproyección filtrada tradicional [3].
4. **Restricción de fases:** En trauma pediátrico, la TC multifásica (arterial, venosa, tardía) rara vez es necesaria. Una fase venosa portal única (60-70 segundos) suele ser suficiente para evaluar vísceras sólidas, reduciendo drásticamente la carga de radiación.

Sedación y inmovilización en el departamento de imagen

Un desafío técnico frecuente en pediatría es el movimiento del paciente, que puede generar artefactos que inutilicen el estudio.

- **Técnicas no farmacológicas:** En niños estables y colaboradores, el uso de dispositivos de inmovilización (bolsas de vacío, correas) y la presencia de los padres (con la debida protección plomada) suelen ser suficientes.
- **Sedación farmacológica:** En niños pequeños o agitados que requieren TC o RM, puede ser necesaria la sedación. Sin embargo, en el contexto de trauma agudo con posible compromiso de la vía aérea o inestabilidad hemodinámica, la sedación profunda conlleva riesgos significativos. La tendencia actual favorece el uso de escáneres de TC ultrarrápidos (de doble fuente o >64 cortes) que adquieren imágenes de cuerpo entero en segundos, obviando la necesidad de sedación en la mayoría de los casos de TC [4]. Para la RM, la sedación sigue siendo necesaria en menores de 6 años, requiriendo monitorización anestésica estricta.

Traumatismo craneoencefálico (TCE)

El TCE es la indicación más frecuente de neuroimagen en urgencias. El cráneo pediátrico, con suturas abiertas en lactantes y hueso más delgado, ofrece menor protección al parénquima cerebral, pero permite cierta acomodación ante el aumento de presión intracraneal.

Reglas de decisión clínica: PECARN

Para el TCE cerrado menor (Escala de Coma de Glasgow [GCS] 14-15), las reglas de la *Pediatric Emergency Care Applied Research Network* (PECARN) son el estándar de oro. Estas reglas estratifican a los pacientes en riesgo bajo, intermedio y alto de lesión intracraneal clínicamente importante (LICI).

- **Riesgo bajo:** (Ej. mecanismos triviales, sin pérdida de conciencia, examen normal). La probabilidad de LICI es <0.05%. Recomendación: No realizar imagen.
- **Riesgo intermedio:** (Ej. pérdida de conciencia aislada, cefalea progresiva, vómitos, mecanismo severo).

Recomendación: Observación clínica por 4-6 horas. Si los síntomas mejoran, alta sin TC. Si empeoran, realizar TC. Esta estrategia reduce el uso de TC en un 20% sin perder diagnósticos [5].

- **Riesgo alto:** (GCS <14, signos de fractura de base de cráneo, focalidad). Recomendación: TC inmediata.

Tomografía computarizada de cráneo

La TC sin contraste es la modalidad de elección en la fase aguda.

- **Ventana ósea:** Esencial para identificar fracturas lineales, deprimidas o diastásicas.
- **Ventana de cerebro:** Permite evaluar hemorragias extraaxiales y lesiones parenquimatosas. En niños, el hematoma epidural puede presentarse con un intervalo lúcido seguido de deterioro rápido y es una emergencia neuroquirúrgica. El hematoma subdural, más común en lactantes, requiere una evaluación cuidadosa para descartar maltrato (sangrado de diferentes densidades) [6].

Resonancia magnética (RM) rápida

La "RM rápida" o *Ultrafast MRI* utiliza secuencias ponderadas en T2 de disparo único (single-shot), como HASTE o SSFSE, que son insensibles al movimiento y se adquieren en menos de 5 minutos sin sedación. Estudios recientes validan su uso como alternativa a la TC para evaluar ventriculomegalia y colecciones extraaxiales en pacientes estables, evitando completamente la radiación [7].

Trauma de columna cervical

La columna pediátrica es anatómicamente distinta: la cabeza es proporcionalmente más grande (punto de fulcro alto en C2-C3 en niños pequeños vs. C5-C6 en adultos), las facetas articulares son horizontales y los ligamentos son laxos.

SCIWORA (Spinal Cord Injury Without Radiographic Abnormality)

Esta entidad es casi exclusiva de la pediatría. Ocurre cuando la columna vertebral elástica se estira, causando daño por tracción a la médula espinal (que es menos elástica) sin que se produzca fractura ósea o luxación visible en radiografía o TC. La clínica incluye parestesias transitorias o déficits motores graves. Ante cualquier déficit neurológico con TC normal, la RM es obligatoria y urgente [8].



Figura 1. SCIWORA. (A) Secuencia T1 con alineación ósea normal. (B) Secuencia T2 que revela edema medular extenso (hiperintensidad) sin fractura asociada, confirmando lesión medular sin anormalidad radiográfica. **Fuente:** REACOT, 2023.

Protocolo de imagen cervical

1. **Radiografía simple:** Primera línea en pacientes alertas y estables que no cumplen criterios clínicos de "aclaramiento" (NEXUS/CCR). Debe incluir proyección transoral para ver la odontoides.
2. **Tomografía computarizada:** Indicada en:
 - Pacientes intubados o con GCS < 8.
 - Mecanismos de alta energía o trauma facial severo.

- Hallazgo sospechoso o visualización inadecuada en radiografía simple.

3. **Variantes normales simuladoras:** El radiólogo debe estar familiarizado con la "pseudosubluxación" fisiológica de C2 sobre C3 (común en <7 años) y el sincondrosis de la odontoides, para no confundirlos con fracturas. La línea espinolaminar de Swischuk ayuda a diferenciar la variante normal de la luxación verdadera [8].

Lesión Cerebrovascular Cerrada (BCVI): El diagnóstico oculto

Una entidad crítica, frecuentemente subdiagnosticada en las fases iniciales, es la lesión traumática de las arterias carótidas o vertebrales (dissección, oclusión o pseudoaneurisma). A diferencia de los adultos, donde la aterosclerosis juega un rol, en niños la BCVI ocurre por hiperextensión o rotación forzada. Si no se detecta y trata (anticoagulación temprana), conlleva un alto riesgo de infarto cerebral isquémico secundario en las 24-72 horas posteriores al trauma.

- **Limitación de la TC estándar:** Una TC de columna cervical estándar o una TC de cráneo no son suficientes para evaluar la luz vascular. Se requiere una Angio-TC de cuello (CTA) dedicada.
- **Criterios de Screening (Criterios de Denver modificados):** Dado que no se puede realizar Angio-TC a todos los niños por la radiación, se debe indicar estrictamente en pacientes con:
 - Fracturas de columna cervical (especialmente C1-C3 o que involucren el foramen transverso).
 - Fracturas de base de cráneo con compromiso del canal carotídeo.
 - GCS < 6 con TC de cerebro normal (disociación clínico-radiológica).

- Signos de ahorcamiento o "signo del cinturón" en el cuello.
- Infarto cerebral visible en TC inicial [16].

Trauma torácico

El tórax pediátrico es altamente complaciente debido a las costillas cartilaginosas. Esto permite que una gran fuerza cinética comprima el tórax, contusionando pulmones y corazón, y luego retorne a su forma sin fracturar las costillas. Por ende, la contusión pulmonar sin fractura costal es un hallazgo común y un marcador de trauma severo [9].

Radiografía de tórax (CXR)

Es el estudio inicial obligatorio. Una CXR supina de buena calidad tiene una alta sensibilidad para neumotórax, hemotórax y contusiones significativas.

Indicaciones selectivas de TC de tórax

A diferencia del adulto, la TC de tórax rutinaria en niños con trauma cerrado estable y CXR normal tiene un rendimiento diagnóstico muy bajo y no cambia el manejo. Se reserva para:

- Ensanchamiento mediastínico en CXR (sospecha de lesión aórtica, rara en niños pero letal).
- Sospecha de ruptura diafragmática (difícil de ver en CXR).
- Mecanismo de penetración.
- Discrepancia severa entre la clínica (hipoxia) y una CXR normal.

Tabla 1. Dosis efectiva estimada y riesgo relativo por modalidad

| Modalidad de imagen | Región anatómica | Dosis efectiva (mSv) | Equivalencia en Rx Tórax (PA) | Consideraciones de riesgo [2, 3] |
|---------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
|---------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|

| | | | | |
|-------------|---------------------|----------------|------|--|
| Radiografía | Tórax (PA/ Lat) | 0.02 - 0.06 | 1 | Riesgo despreciable. |
| Radiografía | Columna Cervical | 0.2 | ~10 | Proteger tiroides si es posible. |
| TC | Cráneo | 2.0 - 4.0 | ~150 | Proteger cristalino (bismuto) si hay protocolo. |
| TC | Tórax | 3.0 - 6.0 | ~250 | Tejido mamario altamente radiosensible. |
| TC | Abdomen/ Pelvis | 5.0 - 10.0 | ~400 | Gónadas expuestas. |
| TC | Cuerpo Entero | 10.0 - 20.0 | ~800 | Evitar de rutina; solo en politrauma crítico. |

Nota: Los valores son aproximados y varían según la edad del paciente y el equipo utilizado.

Trauma abdominal

El manejo ha migrado casi totalmente al conservador (No Operatorio - NOM) para lesiones de órganos sólidos en pacientes hemodinámicamente estables o estabilizables con fluidos.

El papel limitado del FAST pediátrico

El *Focused Assessment with Sonography for Trauma* (FAST) tiene limitaciones importantes en niños. Si bien es específico para líquido libre, su sensibilidad para detectar lesión parenquimatosa (ej. laceración hepática sin sangrado libre masivo) es baja (alrededor del 50%). Un FAST negativo nunca debe descartar lesión en un niño con dolor abdominal persistente o mecanismo de alto riesgo [10].

Tomografía computarizada abdominal

Es el estándar de referencia.

- **Protocolo de contraste:** El contraste intravenoso es obligatorio. El contraste oral, anteriormente rutinario, ha sido eliminado de la mayoría de las guías modernas de trauma agudo porque retrasa el estudio, provoca vómitos/aspiración y no mejora significativamente la

detección de perforación intestinal en los equipos multidetectores modernos [11].

- **Signos de alarma en TC:**

- *Blush* arterial o extravasación de contraste: Indica sangrado activo y puede requerir angioembolización, incluso en NOM.
- Lesión pancreática: A menudo sutil en la TC inicial (edema difuso). Si hay líquido peripancreático sin lesión sólida visible, se debe sospechar transección del conducto pancreático, requiriendo RM o CPRE posterior.
- Signo del cinturón de seguridad: La equimosis abdominal se asocia con ruptura intestinal y fracturas de columna lumbar (Chance). Requiere TC obligatoria.

Lesiones renales y vías urinarias

Los riñones son más vulnerables en niños por tener menos grasa perirrenal y una parrilla costal menos protectora. Si se sospecha lesión del pedículo vascular o del sistema colector (urinoma), es necesario realizar una fase tardía (urográfica) a los 5-10 minutos en la TC para evaluar la integridad de los uréteres y la vejiga [12].

Estrategia de Seguimiento: La falacia de la "curación radiológica"

Históricamente, se realizaban TC de control rutinarias previo al alta para confirmar la cicatrización de lesiones hepáticas o esplénicas. Hoy sabemos que existe una disociación tempo-espacial: la resolución radiológica de una laceración tarda meses (mucho más que la curación clínica). Las guías actuales de la *American Pediatric Surgical Association* (APSA) recomiendan enfáticamente evitar la TC de seguimiento rutinaria en pacientes asintomáticos, independientemente del grado de la lesión (I-IV).

- **¿Cuándo re-imaginar?** La imagen repetida se reserva exclusivamente para pacientes con caída brusca de hemoglobina, aumento del dolor abdominal o fiebre inexplicable.
- **La excepción renal y pancreática:** A diferencia del hígado y el bazo, las lesiones renales profundas (Grado IV-V) o pancreáticas con sospecha de lesión del conducto pueden requerir seguimiento. En estos casos, la **Ecografía (con o sin contraste)** o la **Resonancia Magnética** son las modalidades preferidas para monitorizar urinomas o pseudoquistes, evitando una segunda dosis de radiación por TC [17].

Trauma musculoesquelético y pélvico

Peculiaridades del esqueleto inmaduro

El hueso pediátrico es más poroso y flexible, lo que permite fracturas en "tallo verde" o deformidades plásticas (curvatura sin fractura cortical). La estructura más crítica es la fisis o cartílago de crecimiento.

- **Fracturas Salter-Harris:** Afectan la fisis y pueden causar detención del crecimiento si no se reducen anatómicamente.
- **Uso de proyecciones comparativas:** Ante la duda diagnóstica, realizar una radiografía de la extremidad contralateral sana es una práctica válida, económica y efectiva para diferenciar una línea de fractura de una fisis normal o un núcleo de osificación accesorio.

Trauma de pelvis

Las fracturas pélvicas en niños requieren una fuerza extrema y tienen una altísima asociación con lesiones intraabdominales y craneales. La TC con reconstrucción 3D es fundamental para la planificación quirúrgica de fracturas inestables del anillo pélvico.

Trauma no accidental (Maltrato infantil)

El radiólogo y el médico tratante actúan como defensores del niño. El diagnóstico de maltrato a menudo depende exclusivamente de los hallazgos de imagen.

Protocolo de serie ósea (Skeletal Survey)

En niños menores de 2 años con sospecha de abuso, se requiere un estudio exhaustivo de alta resolución (aprox. 21 proyecciones). Los "babygrams" (todo el cuerpo en una placa) son insuficientes y no deben aceptarse.

- **Lesiones de alta especificidad:** Fracturas metafisarias clásicas (en "asa de cubo" o esquina), fracturas costales posteriores, fracturas de escápula, esternón o apófisis espinosas, y fracturas bilaterales o de diferente cronología [13].

Neuroimagen avanzada

En el trauma craneal abusivo (TCA), la TC inicial puede subestimar el daño. La RM con secuencias de difusión (DWI) es la herramienta más sensible para detectar la lesión isquémica hipóxica temprana ("daño axonal difuso"), que es la principal causa de mal pronóstico neurológico en estos pacientes [14].

El futuro: Inteligencia Artificial en trauma

La integración de la Inteligencia Artificial (IA) promete revolucionar el flujo de trabajo. Algoritmos de *Deep Learning* están siendo validados para:

1. **Detección automática de fracturas:** Identificación de fracturas sutiles en radiografías que podrían pasar desapercibidas al ojo humano fatigado.
2. **Segmentación de órganos:** Cálculo automático del volumen de hemoperitoneo o de laceraciones hepáticas en TC.
3. **Reducción de ruido:** Generación de imágenes de TC de alta calidad a partir de datos de dosis ultrabaja

(sub-milisievert), acercando el objetivo de una TC con dosis similar a una radiografía simple [15].

Tabla 2. Indicaciones de TC abdominal basadas en riesgo (Guías PTS/AAST)

| Categoría de riesgo | Hallazgos clínicos y analíticos [10, 11] | Recomendación de imagen |
|---------------------|--|--|
| Riesgo muy bajo | GCS 15, examen físico normal, sin dolor, sin hematuria, mecanismos de baja energía. | Ninguna. Observación clínica o alta con signos de alarma. VPN >99%. |
| Riesgo intermedio | Dolor abdominal leve/ localizado, hematuria microscópica, transaminasas levemente elevadas (AST < 200), "signo del cinturón" dudoso. | Observación / Ecografía. Considerar TC si hay deterioro clínico, caída de hematocrito o dolor persistente. |
| Riesgo alto | Dolor abdominal severo, distensión, signos peritoneales, inestabilidad hemodinámica, hematuria macroscópica, AST > 200 UI/L, fractura pélvica. | TC Abdomen y Pelvis con contraste IV. Proceder tras estabilización. |

Conclusión

La imagenología en el trauma pediátrico es una disciplina en constante evolución que exige un conocimiento profundo no solo de la radiología, sino de la clínica pediátrica. El enfoque moderno se aleja de los protocolos rígidos y masivos hacia una medicina personalizada y de precisión. La decisión de realizar una imagen avanzada debe ser siempre un acto deliberado que sopesa el beneficio diagnóstico inmediato contra el riesgo biológico latente. La implementación de guías como PECARN, el respeto a los principios de *Image Gently* y el conocimiento de las patologías específicas del desarrollo son los pilares que garantizan una atención de excelencia.

Bibliografía

1. Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a

- retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380(9840):499-505.
2. Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, et al. The use of computed tomography in pediatrics and the associated radiation dose and estimated cancer risk. *JAMA Pediatr*. 2013;167(8):700-707.
 3. Image Gently Alliance. The Image Gently Campaign: working together to change practice. Available at: www.imagegently.org. Accessed December 2024.
 4. Aronson PL, Wang ME, Nigrovic LE. Validating the PECARN prediction rules for imaging in pediatric trauma: A systematic review. *Ann Emerg Med*. 2023;81(4):355-367.
 5. Babl FE, Borland ML, Phillips N, et al. Accuracy of PECARN, CATCH, and CHALICE head injury decision rules in children: a prospective cohort study. *Lancet*. 2017;389(10087):2393-2402.
 6. Ryan ME, Palasis S, Saigal G, et al. ACR Appropriateness Criteria® Head Trauma-Child. *J Am Coll Radiol*. 2020;17(5S):S125-S137.
 7. Repplinger MD, Levy JA, Testa PJ, et al. Rapid sequence MRI for evaluation of pediatric traumatic brain injury: a systematic review. *Acad Emerg Med*. 2022;29(5):567-575.
 8. Panko WM, Leonard JR. Cervical Spine Clearance in the Pediatric Trauma Patient: An Update on Current Practices. *Curr Trauma Rep*. 2020;6:145-153.
 9. Golden J, Isenburg M, Kogut M. Thoracic imaging in pediatric trauma: current trends and guidelines. *Pediatr Radiol*. 2021;51(6):890-898.
 10. Holmes JF, Gladman A, Chang CH. Performance of abdominal ultrasonography in pediatric blunt trauma patients: a meta-analysis. *J Pediatr Surg*. 2017;52(7):1509-1517.

11. Streck CJ, Vogel AM. Guidelines for the management of blunt liver and spleen injury in children. *Pediatr Crit Care Med*. 2024;25(1):e45-e55.
12. Rosenfeld EH, Vogel AM, Jafri M, et al. Management of pediatric blunt liver and spleen injury: An ATOMAC multicenter study. *J Trauma Acute Care Surg*. 2023;94(2):301-309.
13. Servaes S, Brown SD, Choudhary AK, et al. The revised ACR Appropriateness Criteria® Suspected Physical Abuse-Child. *J Am Coll Radiol*. 2023;20(5S):S260-S273.
14. Kralik SF, Policeni B, Simonson TM. Advanced neuroimaging of non-accidental trauma. *Neuroimaging Clin N Am*. 2021;31(2):245-257.
15. Yi J, Wu Y, Liu P. Artificial Intelligence in Pediatric Trauma Imaging: A Review of Current Applications and Future Directions. *Front Pediatr*. 2024;12:1154320.
16. Ravindra VM, Grandhi R, Delavar A, et al. Validation of the Utah Pediatric Trauma Network (UPTN) Score for the Prediction of Blunt Cerebrovascular Injury in Children. *J Neurotrauma*. 2020;37(22):2392-2399.
17. Gates RL, Price M, Cameron DB, et al. Non-operative management of blunt liver and spleen injury in children: An American Pediatric Surgical Association outcomes and evidence-based practice committee systematic review. *J Pediatr Surg*. 2019;54(7):1382-1395.

Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

ISBN: 978-9907-801-11-8

Una producción de Velseris Editores

Diciembre 2025

Quito, Ecuador

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.