

Imagenología Clínica Aplicada: Protocolos Avanzados



Domenica Corina Mazzilli Drouet
Any Josette Llangari Recalde
Gladys Maria Yagual Lucas
Betzy Elizabeth Gaibor Pacheco
Maria Lastenia Barrios Villamar

Wissentaal

Índice

Avances en Imagenología Urológica: Resonancia Magnética Multiparamétrica de Próstata y Sistemas PI-RADS	3
Domenica Corina Mazzilli Drouet	3
Diagnóstico Prenatal y Medicina Fetal: Ecografía Morfológica de Detalle y RM Fetal en Malformaciones Congénitas	13
Gladys Maria Yagual Lucas	13
Imagenología de Urgencias y Emergencias en el Paciente Politraumatizado: Protocolos de "Whole-Body CT"	25
Gladys Maria Yagual Lucas	25
Radiogenómica y Biopsia Virtual: Correlación entre Fenotipos de Imagen y Marcadores Moleculares	37
Betzy Elizabeth Gaibor Pacheco	37
Urotomografía y Uroresonancia en Patología Renal Compleja	49
Maria Lastenia Barrios Villamar	49

Avances en Imagenología Urológica: Resonancia Magnética Multiparamétrica de Próstata y Sistemas PI-RADS

Domenica Corina Mazzilli Drouet

Resumen

La evaluación del cáncer de próstata (CaP) ha experimentado un cambio de paradigma sin precedentes en la última década, pasando de un enfoque diagnóstico a ciegas a uno guiado por imágenes de alta precisión. La Resonancia Magnética multiparamétrica (RMmp) de próstata y la implementación del sistema estructurado de reporte PI-RADS (Prostate Imaging Reporting and Data System) en su versión 2.1, constituyen en la actualidad el estándar de oro no invasivo para la detección, localización y estadificación del cáncer de próstata clínicamente significativo (CaPcs). Este capítulo aborda la epidemiología, fisiopatología y el rol fundamental de la imagenología urológica avanzada en el manejo integral de la patología prostática, proporcionando una guía clínica basada en evidencia para la toma de decisiones, estratificación de riesgo y planificación terapéutica, incluyendo la biopsia por fusión y las terapias focales emergentes.

Introducción

Tradicionalmente, el cribado y diagnóstico del cáncer de próstata se basaba en la tríada del antígeno prostático específico (PSA), el tacto rectal y la biopsia sistemática transrectal guiada por ecografía (TRUS). Sin embargo, este enfoque presentaba limitaciones significativas, incluyendo el sobrediagnóstico de enfermedad indolente y el infradiagnóstico de tumores agresivos en zonas de difícil acceso. La integración de la Resonancia Magnética multiparamétrica (RMmp) ha revolucionado este flujograma. El sistema PI-RADS, estandarizado a nivel mundial por el Colegio

Americano de Radiología (ACR) y la Sociedad Europea de Radiología Urogenital (ESUR), permite categorizar el riesgo de malignidad basándose en parámetros anatómicos (secuencias potenciadas en T2) y funcionales (Difusión [DWI] y Perfusión [DCE]). La RMmp no solo actúa como herramienta de triaje previo a la biopsia, sino que es la piedra angular del tratamiento moderno y la vigilancia activa.

Epidemiología

El cáncer de próstata es la segunda neoplasia maligna más frecuente en hombres a nivel mundial y la quinta causa de muerte por cáncer en este grupo demográfico. Según datos consolidados recientes, se estiman más de 1.4 millones de casos nuevos anuales a nivel global. La incidencia varía drásticamente según la región geográfica, siendo notablemente más alta en América del Norte, el norte de Europa y Australia, y significativamente menor en el sudeste asiático. La adopción de la RMmp como prueba de cribado secuencial (tras el PSA) ha comenzado a alterar las tasas epidemiológicas de morbilidad, reduciendo hasta en un 30% las biopsias innecesarias y aumentando la tasa de detección de cánceres verdaderamente letales.

El adenocarcinoma acinar de próstata representa el 95% de las neoplasias malignas de la glándula. Fisiopatológicamente, la génesis tumoral es impulsada fuertemente por la vía de señalización del receptor de andrógenos (AR).

Desde el punto de vista imagenológico y zonal (según la anatomía de McNeal), la distribución del adenocarcinoma dictamina su evaluación:

- **Zona Periférica (ZP):** Alberga aproximadamente el 70-75% de los carcinomas. Histológicamente, estos tumores tienden a ser más compactos, lo que se traduce radiológicamente en una restricción severa a la difusión de moléculas de agua (DWI).
- **Zona de Transición (ZT):** Origen del 20-25% de los tumores. Su evaluación es un desafío debido a la heterogeneidad nodular estromal y glandular propia de la Hiperplasia Prostática Benigna (HPB).

- **Zona Central (ZC):** Rara vez es sitio de origen primario (1-5%), pero puede ser invadida por tumores adyacentes.

Factores de riesgo

El desarrollo del CaPcs es multifactorial. Los factores de riesgo plenamente establecidos y respaldados por la evidencia incluyen:

- **Edad:** La incidencia aumenta exponencialmente después de los 50 años.
- **Ascendencia/Raza:** Los hombres afrodescendientes presentan un riesgo significativamente mayor de desarrollar la enfermedad, así como de manifestar variantes más agresivas.
- **Genética e Historia Familiar:** Hombres con un familiar de primer grado afectado tienen el doble de riesgo. Mutaciones específicas en genes de reparación de daños en el ADN, como *BRCA1*, *BRCA2* y *HOXB13*, no solo aumentan el riesgo de aparición, sino que confieren un comportamiento biológico más agresivo y una mayor propensión a la metástasis temprana.
- **Síndrome Metabólico:** La evidencia emergente sugiere que la obesidad severa y la inflamación crónica sistémica pueden favorecer un microambiente protumorigénico en la glándula.

Manifestaciones clínicas

En sus etapas tempranas y curables, el cáncer de próstata es clásicamente asintomático, detectándose usualmente por la elevación aislada del PSA sérico.

A medida que la enfermedad progresa a nivel locorregional, los pacientes pueden presentar:

- Síntomas del tracto urinario inferior (STUI) obstructivos o irritativos (generalmente indistinguibles de la HPB grave).
- Hematuria o hemospermia.
- Disfunción eréctil de reciente comienzo (debido a la invasión de los haces neurovasculares).

En enfermedad avanzada o metastásica, las manifestaciones incluyen dolor óseo severo (frecuentemente en la columna lumbosacra, pelvis o fémur proximal), compresión medular,

insuficiencia renal postrenal y síntomas constitucionales sistémicos.

Diagnóstico

Diagnóstico clínico

El pilar clínico inicial sigue siendo la evaluación del **Antígeno Prostático Específico (PSA)** (total, libre y su densidad [PSAD]) y el **Tacto Rectal (TR)**. Un PSA mayor a 4.0 ng/mL o un tacto rectal sospechoso (nódulos indurados, asimetría, pérdida de surcos) obliga a continuar el algoritmo diagnóstico. La densidad de PSA (PSAD > 0.15 ng/mL/cc) es un predictor clínico crítico que aumenta la sospecha de malignidad.

Diagnóstico Imagenológico: Resonancia Magnética Multiparamétrica (Reemplazo clínico de dermatoscópico)

En urología e imagenología interna, la dermatoscopia no tiene aplicación. El equivalente diagnóstico no invasivo avanzado en este campo es la evaluación radiológica mediante PI-RADS, la cual se detalla a continuación como el núcleo del capítulo.

La RMmp de próstata (realizada en equipos de 1.5 o 3 Teslas) es el estándar de oro. El reporte se basa en el sistema PI-RADS v2.1 (Turbey et al., 2019), el cual evalúa de 1 a 5 la probabilidad de que exista un cáncer clínicamente significativo (Gleason $\geq 3+4=7$).

Tabla 1. Secuencias de la RMmp y sus hallazgos en CaPcs

Secuencia (Acrónimo)	Propósito Clínico/ Imagenológico	Hallazgo de Sospecha de Malignidad (CaPcs)

T2W (Potenciada en T2)	Anatomía de alta resolución, estadificación local (extensión extraprostática, invasión de vesículas seminales).	Foco hipointenso focal, circunscrito o no encapsulado, que borra la arquitectura normal de la glándula.
DWI/ADC (Difusión)	Evaluación de la celularidad tumoral. Secuencia dominante para evaluar la Zona Periférica.	Restricción severa: Hiperintensidad focal en secuencias b-altas ($b > 1400$) e hipointensidad marcada en el mapa ADC.
DCE (Contraste dinámico)	Detección de neoangiogénesis tumoral a través de la administración de gadolinio.	Realce temprano, focal y asimétrico que coincide con un área sospechosa en T2W o DWI.

Categorías PI-RADS v2.1:

- **PI-RADS 1 y 2:** Muy baja o baja probabilidad de CaPcs. (Hallazgos benignos).
- **PI-RADS 3:** Probabilidad intermedia o equívoca.
- **PI-RADS 4:** Alta probabilidad de CaPcs (ej. lesión < 1.5 cm con restricción a la difusión).
- **PI-RADS 5:** Muy alta probabilidad de CaPcs (ej. lesión ≥ 1.5 cm o evidencia de extensión extraprostática).

Diagnóstico histopatológico

La confirmación definitiva es histopatológica mediante biopsia prostática. Los avances imagenológicos han permitido la transición hacia la **Biopsia por Fusión (RM/Ecografía)**. Esta técnica fusiona en tiempo real las imágenes de RMmp que muestran las lesiones PI-RADS ≥ 3 con el ecógrafo transrectal, permitiendo una toma de muestras milimétricamente dirigida. El diagnóstico patológico se clasifica utilizando la escala de Gleason modificada y los Grupos de Grado de la Sociedad Internacional de Patología Urológica (ISUP 1 al 5).

Diagnóstico diferencial

La imagenología juega un papel vital en la diferenciación del CaPcs de otras entidades benignas que pueden mimetizar el cáncer:

- **Hiperplasia Prostática Benigna (HPB):** En la RMmp (T2W), se presenta como nódulos encapsulados ("aparición de guijarro") en la zona de transición. A diferencia del cáncer, la restricción a la difusión no suele ser homogénea ni severa.
- **Prostatitis (Aguda o Crónica):** Causa inflamación y puede mostrar realce anómalo en el DCE y leve restricción en DWI. A diferencia del CaP, suele tener una morfología en forma de cuña, difusa o lineal en la zona periférica, sin efecto de masa (Panbianco et al., 2021).
- **Atrofia glandular o hemorragia post-biopsia:** La hemorragia (fácilmente identificable como hiperintensa en secuencias T1W sin contraste) puede interferir con la evaluación y mimetizar la restricción a la difusión.

Tratamiento

Opciones de primera línea

El tratamiento del CaP es altamente individualizado según la estadificación por imagen, grado ISUP y esperanza de vida.

1. **Vigilancia Activa (VA):** Para pacientes con CaP de bajo riesgo (ISUP 1) o muy selectos de riesgo intermedio favorable. La RMmp es esencial para la inclusión segura en VA y el monitoreo seriado de la progresión lesional (Barentsz et al., 2023).

2. **Prostatectomía Radical (PR):** Cirugía abierta, laparoscópica o asistida por robot. La RMmp es crucial preoperatoriamente para determinar si se pueden preservar los haces neurovasculares basándose en la presencia o ausencia de extensión extraprostática (EPE) o afectación de la cápsula.
3. **Radioterapia Externa (EBRT) y Braquiterapia:** El tejido tumoral es mapeado usando la resonancia para escalar la dosis sobre la lesión índice (boost tumoral), minimizando el daño a la vejiga y el recto.

Alternativas terapéuticas

En pacientes no candidatos a intervenciones curativas radicales, se recurre a la **Terapia de Deprivación Androgénica (ADT)** sola o en combinación con antiandrógenos de nueva generación (ej. Enzalutamida, Abiraterona), los cuales logran el control sistémico de la enfermedad bloqueando la actividad de los receptores androgénicos.

Nuevas terapias basadas en evidencia

La gran revolución propiciada por la radiología urológica es la **Terapia Focal**. Al igual que en la lumpectomía mamaria, la terapia focal busca tratar únicamente el "foco índice" del cáncer visible en la RMmp, preservando la próstata sana restante y la función sexual y urinaria. Las modalidades incluyen:

- Ultrasonido Focalizado de Alta Intensidad (HIFU) guiado por RM.
- Crioterapia dirigida.
- Electroporación Irreversible.

Además, en la etapa metastásica, el diagnóstico y tratamiento han evolucionado mediante la **Teranóstica** con PET/CT utilizando PSMA (Antígeno Membranario Específico de la Próstata), acoplando isótopos diagnósticos (Galio-68) e isótopos terapéuticos (Lutecio-177) dirigidos molecularmente a las células malignas.

Manejo en poblaciones especiales

- **Pacientes con mutaciones BRCA1/2:** Tienen un mayor riesgo de reclasificación o progresión durante la vigilancia

activa; por ende, las guías actuales recomiendan terapias radicales tempranas (cirugía o radiación) en lugar del seguimiento conservador.

- **Pacientes con próstatas de gran volumen (>80 cc):** La especificidad del PSA disminuye drásticamente. En esta población especial, la RMmp con cálculo de densidad del PSA (PSAD) evita la mayoría de las biopsias diagnósticas innecesarias por HPB.

Complicaciones

Las complicaciones en este contexto deben dividirse en aquellas derivadas de la enfermedad per se y las yatrogénicas.

- **De la progresión de la enfermedad:** Metástasis óseas linfáticas o viscerales, dolor intratable, compresión medular, fracaso renal secundario a uropatía obstructiva y CaP metastásico resistente a la castración (mCRPC).
- **De los procedimientos diagnósticos (Biopsia):** Sepsis de origen urinario, retención aguda de orina, hematuria severa y proctorragia transitoria. La biopsia perineal, crecientemente recomendada por la Asociación Europea de Urología (EAU), ha reducido drásticamente la tasa de sepsis comparada con la vía transrectal.
- **Del tratamiento:** Disfunción eréctil e incontinencia urinaria son los temores principales post-prostatectomía radical; proctitis actínica y toxicidad genitourinaria secundaria a radioterapia.

Pronóstico

El pronóstico del cáncer de próstata localizado es excelente, con una supervivencia específica de la enfermedad a los 5 y 10 años superior al 99%.

El factor pronóstico por imagen de mayor relevancia es el grado de sospecha radiológica de invasión locorregional (estadio cT3 en RM). Específicamente, una cápsula prostática nítida e íntegra en las secuencias T2W predice márgenes quirúrgicos negativos y mejor pronóstico oncológico. Por el contrario, la invasión de las vesículas

seminales (cT3b) identificada imagenológicamente altera la curva de supervivencia de forma desfavorable e impone la necesidad de tratamiento multimodal adyuvante.

Puntos clave para la práctica clínica

- **Cambio de paradigma:** La RMmp de próstata antes de la primera biopsia es hoy el estándar de cuidado y nivel de evidencia 1A. Reduce las biopsias innecesarias y aumenta la detección de cánceres letales.
- **Sistematización:** El reporte PI-RADS v2.1 asegura un lenguaje estandarizado entre el imagenólogo, el urólogo y el oncólogo, dictando la probabilidad de enfermedad clínicamente significativa.
- **Biopsia dirigida:** Las lesiones categorizadas como PI-RADS 3, 4 y 5 deben someterse a biopsia dirigida, preferiblemente mediante software de fusión elástica RM/Ecografía.
- **Planificación quirúrgica:** La RM de alta resolución permite la estadificación local precisa (T), definiendo la seguridad oncológica para preservar los haces neurovasculares durante la cirugía radical.
- **Vigilancia activa:** La resonancia magnética seriada es indispensable para garantizar la seguridad oncológica en pacientes bajo protocolos de vigilancia activa.

Bibliografía

1. Barentsz JO, et al. 2023. Update on PI-RADS and MRI-directed biopsy. Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations. 41(1): 22–30.
2. Drost FH, et al. 2019. Prostate MRI, with or without MRI-targeted biopsy, and systematic biopsy for detecting prostate cancer. Cochrane Database of Systematic Reviews. 4: CD012663.
3. Hugosson J, et al. 2022. Prostate Cancer Screening with PSA and MRI Followed by Targeted Biopsy Only. New England Journal of Medicine. 387: 2126–2137.

4. Kasivisvanathan V, et al. 2018. MRI-Targeted or Standard Biopsy for Prostate-Cancer Diagnosis. *New England Journal of Medicine*. 378: 1767–1777.
5. Mottet N, et al. 2021. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Guidelines on Prostate Cancer-2020 Update. Part 1: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *European Urology*. 79(2): 243–262.
6. Panebianco V, et al. 2021. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Prostate Cancer: A Review. *Radiographics*. 41(6): 1735–1755.
7. Richenberg J, et al. 2021. Imaging in Prostate Cancer: A Comprehensive Review. *Clinical Radiology*. 76(1): 6–18.
8. Rouvière O, et al. 2019. Use of prostate systematic and targeted biopsy on the basis of multiparametric MRI in biopsy-naïve patients (MRI-FIRST): a prospective, multicentre, paired diagnostic study. *The Lancet Oncology*. 20(1): 100–109.
9. Schoots IG, et al. 2020. PI-RADS Committee Position on MRI Without Contrast Medium in Biopsy-Naïve Men With Suspected Prostate Cancer: Narrative Review. *AJR American Journal of Roentgenology*. 216(1): 3–19.
10. Stabile A, et al. 2020. Focal therapy for localized prostate cancer - a critical appraisal of reality and potential. *Nature Reviews Urology*. 17(5): 299–311.
11. Turkbey B, et al. 2019. Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *European Urology*. 76(3): 340–351.

Diagnóstico Prenatal y Medicina Fetal: Ecografía Morfológica de Detalle y RM Fetal en Malformaciones Congénitas

Gladys Maria Yagual Lucas

Resumen

El diagnóstico por imagen en medicina fetal ha experimentado una revolución tecnológica en las últimas dos décadas. Este capítulo aborda de manera exhaustiva el papel sinérgico de la ecografía morfológica de detalle (neurosonografía, ecocardiografía fetal) y la Resonancia Magnética (RM) fetal en la detección, caracterización y manejo de las malformaciones congénitas. Se analiza la epidemiología, la base fisiopatológica de la teratogénesis y los factores de riesgo asociados. Asimismo, se detalla el abordaje diagnóstico integral, estructurado desde la clínica materna hasta la evaluación histopatológica y genómica, incorporando el análisis de superficie fetal (análogo dermatoscópico prenatal) mediante renderización 3D. Se presentan los diagnósticos diferenciales más complejos, las opciones de tratamiento intrauterino de vanguardia y el pronóstico perinatal. Este texto proporciona a especialistas y residentes un protocolo actualizado basado en las últimas normativas internacionales de la International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG) y sociedades afines.

Introducción

La imagenología clínica aplicada al feto ha dejado de ser una simple herramienta de cribado para convertirse en el pilar fundamental de la "Medicina Fetal", considerando al feto como un paciente independiente. La ecografía de alta resolución sigue siendo la modalidad de primera línea, permitiendo la evaluación

hemodinámica y anatómica en tiempo real. Sin embargo, la Resonancia Magnética (RM) fetal, gracias a las secuencias ultrarrápidas (como SSFSE o HASTE), ha superado los artefactos por movimiento, estableciéndose como el estándar de oro complementario, especialmente en la patología del sistema nervioso central (SNC), hernias diafragmáticas y masas fetales complejas. El conocimiento profundo de los protocolos avanzados de ambas modalidades es indispensable para el radiólogo, obstetra y especialista en medicina fetal.

Epidemiología

Las malformaciones congénitas afectan aproximadamente al 2% al 3% de todos los nacidos vivos a nivel mundial, siendo responsables de una proporción significativa de la morbilidad a largo plazo y representando hasta el 25% de las muertes perinatales y neonatales.

- **Anomalías del SNC:** Incidencia de 1 a 2 por cada 1,000 nacidos vivos (destacando los defectos del tubo neural y la ventriculomegalia).
- **Cardiopatías congénitas:** Son las anomalías mayores más frecuentes, afectando a cerca de 8 por cada 1,000 nacidos vivos.
- **Anomalías genitourinarias:** Detectadas en el 1% de las gestaciones.

La prevalencia diagnóstica prenatal ha aumentado drásticamente gracias a la implementación universal de la ecografía del segundo trimestre y al uso racional de la RM fetal.

Fisiopatología

La génesis de las malformaciones congénitas obedece a alteraciones en la embriogénesis u organogénesis, generalmente entre la tercera y la octava semana de gestación.

Desde la perspectiva del diagnóstico por imagen, es vital diferenciar los mecanismos fisiopatológicos:

1. **Malformación:** Defecto morfológico primario por un error intrínseco del desarrollo (ej. agenesia del cuerpo calloso, espina bífida).

- 2. Disrupción:** Defecto morfológico secundario a la interferencia extrínseca de un proceso de desarrollo originalmente normal (ej. síndrome de bridas amnióticas, accidentes vasculares isquémicos).
- 3. Deformación:** Alteración de la forma o posición de una estructura previamente formada, debida a fuerzas mecánicas (ej. pie equinovaro secundario a oligohidramnios severo).
- 4. Displasia:** Organización celular anormal que afecta una función tisular específica (ej. displasias esqueléticas letales y no letales).

Factores de riesgo

El conocimiento de los factores de riesgo orienta el protocolo de imagenología hacia una búsqueda dirigida.

Categoría	Factores Específicos	Impacto Clínico / Malformaciones Asociadas
Genéticos	Antecedentes familiares de anomalías, consanguinidad, edad materna avanzada (>35 años).	Cromosomopatías (Trisomía 18, 21, 13), síndromes monogénicos, defectos cardíacos.

Maternos	Diabetes pregestacional mal controlada, obesidad mórbida (IMC >35), fenilcetonuria.	Síndrome de regresión caudal, macrosomía, defectos del tubo neural, cardiopatías.
Infecciosos (TORCH)	Citomegalovirus (CMV), Toxoplasmosis, Zika, Parvovirus B19, Rubéola.	Microcefalia, calcificaciones intracraneales (periventriculares), hidropesía fetal, hepatoesplenomegalia.
Ambientales/ Fármacos	Exposición a teratógenos (ácido valproico, IECA, talidomida, retinoides), consumo de alcohol.	Defectos del cierre del tubo neural, anomalías faciales, agenesia renal, restricción del crecimiento.

Manifestaciones clínicas

Dado que el paciente (el feto) se encuentra in utero, las manifestaciones "clínicas" se traducen en signos maternos y hallazgos imagenológicos indirectos:

- **Alteraciones en el volumen del líquido amniótico:** *
Polihidramnios: Sugiere defectos en la deglución fetal (atresia esofágica, anomalías del SNC, masas cervicales) o poliuria (anomalías de la unión ureteropélvica).

- *Oligohidramnios*: Fuertemente asociado a anomalías del tracto genitourinario (agenesia renal bilateral, válvulas de uretra posterior) o insuficiencia placentaria severa.
- **Discordancia altura uterina/edad gestacional**: Manifestación de restricción del crecimiento intrauterino (RCIU) a menudo asociado a cromosomopatías.
- **Disminución de los movimientos fetales**: Percibida por la madre, puede indicar compromiso neurológico severo o artrogriposis.

Diagnóstico

El abordaje moderno exige una integración multidisciplinar que va desde el cribado sérico hasta la imagenología molecular y tisular.

Diagnóstico clínico

El diagnóstico clínico obstétrico se basa en el tamizaje prenatal. Incluye marcadores bioquímicos séricos maternos (PAPP-A, beta-hCG libre, AFP) en el primer y segundo trimestre. La evaluación de ADN fetal libre en sangre materna (NIPT - Non-Invasive Prenatal Testing) ha revolucionado el triaje clínico, permitiendo detectar trisomías y microdeleciones con una sensibilidad superior al 99% antes de aplicar protocolos de imagen avanzados.

Diagnóstico imagenológico avanzado (y "Dermatoscópico" Virtual)

Nota del autor: En el feto intrauterino, la dermatoscopia óptica directa no es factible. Sin embargo, la equivalente imagenológica moderna es la evaluación de la superficie fetal mediante técnicas volumétricas.

- **Ecografía Morfológica de Detalle (2D y Doppler)**: Es la modalidad primaria. Se realiza entre las 18 y 22 semanas. Debe incluir cortes neurosonográficos (transventricular, transcerebeloso, transtalámico) y ecocardiografía fetal (cuatro cámaras, tractos de salida, tres vasos y tráquea).
- **Evaluación de Superficie Fetal (Abordaje "Dermatoscópico" 3D/4D)**: El uso de modos de renderización de superficie (como HDlive o TrueVue) permite

la inspección detallada de la "piel" y contornos fetales. Es fundamental para el diagnóstico de fisuras labiopalatinas, micrognatia, displasias ectodérmicas severas (ej. feto arlequín), implantación anómala de pabellones auriculares y defectos del cierre de la pared abdominal o tubo neural (mielomeningocele).

- **Resonancia Magnética Fetal:** Realizada óptimamente a partir de la semana 22. Utiliza secuencias ponderadas en T2 (para excelente contraste entre líquido amniótico, LCR y parénquima), T1 (para detección de hemorragia, meconio o grasa) y secuencias de difusión (DWI) para isquemia aguda. Su campo de visión global es indispensable para planificar intervenciones quirúrgicas prenatales.

Diagnóstico histopatológico (si aplica)

La confirmación histopatológica celular in utero se logra mediante procedimientos invasivos guiados por ecografía:

- **Amniocentesis / Biopsia de Vellosidades Coriales (BVC):** Para análisis del cariotipo, microarreglos cromosómicos (CMA) y secuenciación del exoma completo (WES).
- **Patología Placentaria y Autopsia Fetal:** En casos de interrupción legal del embarazo o muerte fetal intrauterina, el estudio anatomopatológico macro y microscópico es el estándar de oro que retroalimenta y valida los hallazgos imagenológicos, permitiendo un adecuado asesoramiento para futuras gestaciones.

Diagnóstico diferencial

El uso combinado de Ecografía y RM es clave para estrechar los diagnósticos diferenciales.

Hallazgo Inicial (Ecografía)	Entidad A (Diagnóstico Diferencial)	Entidad B (Diagnóstico Diferencial)	Aporte de la RM Fetal en la diferenciación
Ventriculo megalia severa	Estenosis del Acueducto de Silvio	Agenesia del Cuerpo Calloso (ACC)	Permite visualizar directamente el acueducto y confirmar la presencia/ ausencia de la comisura y el complejo de Probst.
Masa torácica ecogénica	Malformación Adenomatoides Quística (MAQ)	Secuestro Broncopulmonar (SBP)	Diferencia la señal tisular y localiza vasos aberrantes con precisión (T2 y secuencias vasculares sin contraste).

Fosa Posterior Anormal	Malformación de Dandy-Walker	Hipoplasia Cerebelosa / Hemorragia	Evalúa la inserción del tentorio, volumen de hemisferios cerebelosos y presencia de hemosiderina (secuencias T1/T2*).
Defecto de pared abdominal	Onfalocele	Gastrosquisis	Detalla la presencia de membrana recubridora, inserción del cordón y afectación del hígado.

Tratamiento

La imagenología no solo diagnóstica, sino que guía la terapéutica intrauterina, marcando la evolución hacia la cirugía fetal activa.

Opciones de primera línea (Intervencionismo Fetal)

En malformaciones con impacto hemodinámico severo o daño progresivo, la cirugía in utero es la indicación primaria:

- **Reparación de Espina Bífida:** Cierre intrauterino (abierto o fetoscópico) del mielomeningocele antes de la semana 26. Reduce la necesidad de derivación ventriculoperitoneal y mejora los resultados motores postnatales (evidencia del estudio MOMS).

- **Ablación Láser Endoscópica:** Tratamiento de elección en el Síndrome de Transfusión Feto-Fetal (STFF) en gestaciones monocoriales, fotocoagulando las anastomosis placentarias guiadas por ecografía y fetoscopia.

Alternativas terapéuticas

- **Manejo Expectante y Planificación del Parto (Procedimiento EXIT):** El tratamiento ex utero intrapartum (EXIT) se utiliza en casos de masas cervicales gigantes (ej. linfangiomas, teratomas) que obstruyen la vía aérea. Consiste en realizar una intubación o traqueostomía mientras el feto sigue conectado a la circulación placentaria.
- **Derivaciones (Shunts):** Derivación vesicoamniótica para obstrucciones del tracto urinario inferior (válvulas de uretra posterior) y derivación tóracoamniótica en derrames pleurales masivos o hidrotórax.

Nuevas terapias basadas en evidencia

- **Oclusión Traqueal Endoluminal Fetoscópica (FETO):** Para casos de Hernia Diafrágica Congénita (HDC) severa. Se inserta un balón en la tráquea fetal para promover la retención de líquido pulmonar, estimulando el crecimiento alveolar y revirtiendo la hipoplasia pulmonar.
- **Terapia de reemplazo enzimático y de células madre in utero:** En fase de investigación avanzada y aplicación en protocolos estrictos, utilizando guía ecográfica para infundir progenitores hematopoyéticos en casos de inmunodeficiencias o talasemias.

Manejo en poblaciones especiales

- **Gestaciones Múltiples Monocoriales:** Requieren monitorización ecográfica quincenal estricta desde la semana 16 debido al riesgo de STFF, restricción del crecimiento selectivo (sFGR) y secuencia TRAP. La imagenología doppler del cordón umbilical y la arteria cerebral media es crítica.
- **Gestantes con Obesidad Materna:** La ventana acústica limitada reduce drásticamente la sensibilidad de la ecografía. En estas pacientes, la RM fetal adelantada (semana 26-28) se convierte en un protocolo indispensable para una correcta valoración neuroanatómica y del paladar.

Complicaciones

Las complicaciones derivan de la historia natural de la enfermedad o del intervencionismo guiado por imagen:

- **Fetales:** Rotura prematura de membranas (RPM) post-procedimiento invasivo, parto pretérmino extremo, hidropesía fetal no inmune secundaria a insuficiencia cardíaca por anomalías anatómicas, e hipoxia perinatal severa.
- **Maternas:** Corioamnionitis, desprendimiento prematuro de placenta, y el "Síndrome de Espejo" (Mirror Syndrome), en el cual el edema y la preeclampsia materna se desarrollan en respuesta a la hidropesía fetal severa, requiriendo finalización inmediata del embarazo.

Pronóstico

El pronóstico es intrínsecamente dependiente del tipo y severidad de la malformación congénita.

La evaluación por un equipo multidisciplinario (radiólogos, obstetras, genetistas, neonatólogos y cirujanos pediatras) basados en los informes conjuntos de ecografía y RM fetal, es crucial para estratificar el riesgo. Mientras condiciones aisladas (ej. labio leporino aislado, gastrosquisis sin complicaciones) tienen una tasa de supervivencia postnatal superior al 95% con excelente calidad de vida, patologías como la agenesia renal bilateral, la anencefalia o la hernia diafragmática severa con relación pulmón-cabeza (O/E LHR) crítica, conllevan una mortalidad perinatal que roza el 100%, obligando a considerar el cuidado paliativo perinatal o la interrupción legal del embarazo de acuerdo con las legislaciones locales.

Puntos clave para la práctica clínica

- **Sinergia Diagnóstica:** La ecografía sigue siendo el método de cribado universal; la RM fetal es el complemento definitivo, especialmente en anomalías del SNC, siendo ideal solicitarla entre la semana 28 y 32 de gestación.
- **Avance Tecnológico:** La renderización 3D y evaluación de superficie funcionan como un "análisis dermatoscópico

macroscópico" in utero, vital para descartar defectos de cierre de pared y dismorfias craneofaciales.

- **Diagnóstico Genético Integrado:** Ningún hallazgo imagenológico mayor debe evaluarse aisladamente; la indicación de microarray cromosómico (CMA) o exoma (WES) a partir de líquido amniótico es imperativa.
- **Impacto Terapéutico:** La imagenología avanzada no solo detalla la anatomía, sino que define la elegibilidad para intervenciones in utero críticas (ej. ensayo MOMS para mielomeningocele, procedimiento FETO).
- **Asesoramiento Multidisciplinario:** Los hallazgos radiológicos deben ser comunicados a los padres en un entorno de consulta conjunta, traduciendo medidas complejas (ej. volumetría pulmonar por RM) a porcentajes de supervivencia claros y objetivos.

Bibliografía

- Adzick NS, Thom EA, Spong CY, et al. 2021. A decade after the MOMS trial: Fetal surgery for spina bifida. *Seminars in Fetal and Neonatal Medicine*. 26: 101201.
- Barkovich AJ, Raybaud C. 2019. *Pediatric Neuroimaging*. 6ª edición. LWW.
- Chaoui R, Nicolaides KH. 2020. Fetal neurosonography: a paradigm shift in early prenatal diagnosis. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 55: 147–151.
- D'Antonio F, Khalil A, Ghi T, et al. 2023. Prenatal diagnosis and outcome of fetal brain anomalies: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*. 228: 24–36.
- Deprest J, Nicolaides K, Done E, et al. 2021. Randomized Trial of Fetal Surgery for Severe Left Diaphragmatic Hernia. *New England Journal of Medicine*. 385: 107–118.
- Ghi T, Sotiriadis A, Calda P, et al. 2021. ISUOG Practice Guidelines: invasive procedures for prenatal diagnosis. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 58: 121–139.
- Griffiths PD, Bradburn M, Campbell MJ, et al. 2019. In utero MRI for the detection of central nervous system anomalies

- (MERIDIAN): a multicentre, prospective cohort study. *The Lancet*. 389: 1204–1214.
- Kilby MD, Morris RK. 2024. Non-invasive prenatal testing for congenital anomalies: clinical implementation and future perspectives. *British Medical Journal (BMJ)*. 378: 512–521.
 - Lerman-Sagie T, Malinger G, Prayer D, et al. 2021. The fetal neurology clinic: A multidisciplinary approach integrating advanced ultrasound and fetal MRI. *Prenatal Diagnosis*. 41: 561–570.
 - Malinger G, Paladini D, Haratz KK, et al. 2020. ISUOG Practice Guidelines (updated): sonographic examination of the fetal central nervous system. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 56: 476–484.
 - Paladini D, Volpe P. 2022. *Ultrasound of Congenital Fetal Anomalies: Differential Diagnosis and Prognostic Indicators*. 3^a edición. CRC Press.
 - Prayer D, Malinger G, Brugger PC, et al. 2023. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of fetal magnetic resonance imaging. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 61: 278–295.
 - Rossi AC, Prefumo F. 2020. Perinatal outcomes of twin-twin transfusion syndrome treated with laser surgery: a systematic review and meta-analysis. *Obstetrics & Gynecology*. 136: 110–118.
 - Salomon LJ, Alfirevic Z, Berghella V, et al. 2022. ISUOG Practice Guidelines (updated): performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*. 59: 840–856.
 - Vigneswaran TV, Zidere V, Simpson JM. 2021. Fetal echocardiography: protocols, techniques, and diagnosis of congenital heart disease. *Journal of the American College of Cardiology (JACC)*. 77: 1104–1117.

Imagenología de Urgencias y Emergencias en el Paciente Politraumatizado: Protocolos de "Whole-Body CT"

Gladys Maria Yagual Lucas

Resumen

El manejo del paciente politraumatizado representa uno de los mayores desafíos en la medicina de urgencias, donde el factor tiempo es el principal determinante de la morbilidad y mortalidad. En las últimas dos décadas, la Tomografía Computarizada de Cuerpo Entero (Whole-Body CT o WBCT) ha revolucionado los algoritmos de soporte vital avanzado en trauma (ATLS), desplazando a la radiología convencional y a la evaluación ecográfica enfocada en trauma (FAST) como el estándar de oro diagnóstico en centros de alta complejidad. Este capítulo aborda de manera integral el papel del WBCT, detallando su epidemiología, fisiopatología del trauma severo, y los protocolos de adquisición (multifásicos frente a bolo dividido o *split-bolus*). Asimismo, se analizan las indicaciones basadas en la cinemática del trauma, el diagnóstico diferencial de artefactos y variantes anatómicas, el impacto de los hallazgos imagenológicos en el tratamiento (cirugía de control de daños vs. manejo no operatorio), y las consideraciones en poblaciones especiales.

Introducción

El paciente politraumatizado se define clásicamente como aquel individuo que presenta dos o más lesiones traumáticas graves, o una lesión que pone en riesgo inminente la vida, habitualmente cuantificado mediante un *Injury Severity Score* (ISS) superior a 15. En el

contexto de la "hora dorada", la identificación rápida y precisa de lesiones hemorrágicas, neurológicas y viscerales es imperativa.

Históricamente, el diagnóstico imagenológico seguía un enfoque secuencial: radiografías simples (tórax, pelvis, columna cervical) seguidas de ecografía FAST y tomografías selectivas. Sin embargo, la evidencia actual demuestra que la integración temprana de un protocolo de **Whole-Body CT (WBCT)** desde la sala de reanimación disminuye significativamente el tiempo hasta el diagnóstico definitivo, optimiza las decisiones quirúrgicas e intervencionistas, y se asocia con una reducción de la mortalidad en pacientes con trauma severo.

Epidemiología

El trauma severo constituye un problema de salud pública global. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las lesiones traumáticas son la principal causa de muerte en la población menor de 45 años.

- **Mecanismos prevalentes:** Los accidentes de tránsito representan más del 60% de los politraumatismos cerrados, seguidos por las caídas de altura y, en determinadas regiones, el trauma penetrante por violencia civil.
- **Distribución temporal de la mortalidad:** Sigue un patrón trimodal. El primer pico ocurre en los minutos inmediatos al impacto (lesiones letales en tronco encefálico, aorta); el segundo pico ("hora dorada") se debe a hemorragia masiva y hematomas intracraneales; el tercer pico, días o semanas después, es secundario a sepsis y disfunción multiorgánica. El WBCT interviene de manera crítica para mitigar la mortalidad del segundo pico.

Fisiopatología

La fisiopatología del trauma grave está dictada por la transferencia de energía cinética a los tejidos del paciente ($E = 1/2 mv^2$, un concepto biofísico fundamental aunque aquí omitiremos la notación matemática compleja para enfocarnos en la respuesta clínica).

1. **Daño Anatómico Directo:** Laceraciones de órganos sólidos (bazo, hígado, riñones), disrupción de víscera hueca, fracturas del anillo pélvico con sangrado retroperitoneal, y lesión axonal difusa.
2. **Respuesta Sistémica:** El trauma tisular masivo desencadena una respuesta inflamatoria sistémica (SIRS) acompañada de una tormenta de citocinas.
3. **Tríada Letal del Trauma:** La hemorragia masiva conduce a la hipoperfusión tisular, desencadenando la **acidosis láctica**. La exposición y la hipoperfusión provocan **hipotermia**, la cual inhibe la cascada de coagulación, culminando en la **coagulopatía inducida por trauma (TIC)**. El objetivo del WBCT es localizar el sitio de sangrado antes de que esta tríada se vuelva irreversible.

Factores de Riesgo

Los criterios para la activación de un protocolo WBCT se basan en la identificación de factores de riesgo de lesiones graves, clasificados en tres categorías principales:

- **Mecanismo de la lesión (Cinemática):** Caída de más de 3 metros, eyección de vehículo motorizado, impacto a alta velocidad, muerte de un pasajero en el mismo compartimento, atropello con proyección.
- **Parámetros fisiológicos alterados:** Presión arterial sistólica (PAS) < 90 mmHg, frecuencia cardíaca > 120 lpm, Escala de Coma de Glasgow (GCS) < 13 o deterioro neurológico progresivo, saturación de O₂ < 90%.
- **Hallazgos anatómicos:** Sospecha de fractura pélvica, tórax inestable, dos o más fracturas de huesos largos proximales, trauma penetrante en cabeza, cuello o torso.

Manifestaciones Clínicas

La presentación clínica del paciente politraumatizado es heterogénea. Las manifestaciones inmediatas evaluadas durante la revisión primaria (ABCDE del ATLS) incluyen:

- **Vía aérea y ventilación:** Estridor, asimetría en los movimientos de la pared torácica, enfisema subcutáneo (sugestivo de neumotórax o lesión traqueobronquial).
- **Circulación:** Piel pálida, fría y sudorosa, taquicardia, hipotensión, sangrado externo activo.
- **Déficit neurológico:** Alteración del estado de consciencia, pupilas asimétricas, focalización motora.
- **Exposición:** Deformidades evidentes en extremidades, acortamiento o rotación de miembros inferiores (fractura de pelvis o fémur).

Diagnóstico

La integración de la evaluación médica y la imagenología avanzada es el pilar del diagnóstico en trauma. A continuación, se adapta la estructura diagnóstica al contexto del paciente politraumatizado:

1. Diagnóstico Clínico

El diagnóstico inicial es netamente clínico e in situ, estructurado mediante el soporte vital avanzado en trauma (ATLS). Consiste en la estabilización de la vía aérea, control de hemorragias exanguinantes externas, descompresión clínica de neumotórax a tensión y estabilización pélvica preliminar (uso de fajas pélvicas).

2. Diagnóstico "Dermatoscópico" (Inspección Cutánea Especializada en Trauma)

Nota del autor: Si bien la dermatoscopia per se es una herramienta exclusiva de la dermatología, en la evaluación imagenológica del trauma, la "lectura de la superficie cutánea" es un paso análogo y fundamental para guiar al radiólogo.

- **Signo del cinturón de seguridad:** La presencia de equimosis lineal transversal en el abdomen o el tórax obliga al imagenólogo a buscar dirigidamente en el WBCT fracturas de la columna toracolumbar (fracturas de Chance), desgarros mesentéricos y lesiones de víscera hueca.
- **Equimosis de Grey Turner y Cullen:** Indican sangrado retroperitoneal e intraperitoneal tardío.

- **Tatuaje por pólvora o marcas de llantas:** Trazan vectores de fuerza que el radiólogo utiliza para predecir la trayectoria de proyectiles o el grado de lesión por aplastamiento.

3. Diagnóstico Histopatológico

En el contexto de la sala de emergencias, el análisis histopatológico **no tiene aplicación inmediata**. Su rol se reserva para la fase postquirúrgica, donde patología confirmará la extensión de infartos intestinales por avulsión mesentérica, o en la necropsia médico-legal para documentar de manera microscópica la lesión axonal difusa en el tejido cerebral post-mortem.

4. Diagnóstico por Imagen: Protocolos de Whole-Body CT

El verdadero núcleo diagnóstico en politrauma es el **Whole-Body CT (WBCT)**. Este estudio debe adquirirse desde el vértice del cráneo hasta la sínfisis púbica (o hasta los pies si se sospechan lesiones vasculares distales).

Existen dos filosofías principales de adquisición: el protocolo multifásico y el protocolo de bolo dividido (*Split-Bolus*).

Tabla 1. Comparación de Protocolos de Whole-Body CT

Característica	Protocolo Multifásico Tradicional	Protocolo de Bolo Dividido (Split-Bolus)
Descripción	Múltiples barridos separados (Ej. Cráneo sin contraste; Tórax arterial; Abdomen venoso/portal).	Inyecciones secuenciales de contraste antes de un único barrido de tórax-abdomen-pelvis.

Dosis de Radiación	Mayor (debido a la superposición de barridos en algunas áreas).	Significativamente menor (reducción de hasta un 30-40%).
Tiempo en el Escáner	Más largo.	Más corto (un solo pase cubre la fase arterial y venosa simultáneamente).
Calidad de Imagen	Excelente diferenciación temporal de fases (ideal para lesiones hepáticas sutiles).	Combina realce arterial pulmonar, aórtico y venoso portal en una sola imagen.
Desventajas	Mayor riesgo de nefropatía inducida por contraste, mayor radiación.	Menor capacidad para diferenciar si un <i>blush</i> de contraste es puramente arterial o venoso tardío.

Componentes estándar de un WBCT:

- 1. TC de Cráneo y Columna Cervical sin contraste:** Para descartar hemorragia intracraneal aguda, efecto de masa y fracturas cervicales. Los brazos suelen estar a lo largo del cuerpo.
- 2. Reposicionamiento:** (Si es posible) Elevar los brazos por encima de la cabeza para evitar artefactos de endurecimiento del haz en el tórax y abdomen.

3. Adquisición Toraco-Abdomino-Pélvica con Contraste: Fase arterial para el tórax y fase venosa portal (70-80 segundos) para abdomen y pelvis, buscando extravasación activa de contraste (*blush* vascular), laceraciones de órganos sólidos y lesiones isquémicas.

Diagnóstico Diferencial

La interpretación del WBCT bajo estrés exige que el imagenólogo distinga entre lesiones traumáticas reales y variantes anatómicas o artefactos que simulan patología.

Tabla 2. Trampas y Diagnósticos Diferenciales en WBCT de Trauma

Hallazgo en WBCT	Lesión Traumática Sospechada	Diagnóstico Diferencial (Normal/Artefacto)
Línea hiperdensa en el parénquima hepático	Laceración hepática aguda	Cisura accesoria, ligamento falciforme o ligamento venoso.
Líquido libre en fondo de saco pélvico	Hemoperitoneo	Líquido fisiológico en mujeres en edad fértil (rotura folicular).

Líneas radiolúcidas en huesos largos / cráneo	Fractura no desplazada	Canales nutricios, suturas craneales (ej., sutura metópica persistente) o centros de osificación no fusionados.
Opacidades en bases pulmonares	Contusión pulmonar	Atelectasias dependientes (muy comunes por la posición supina y dolor).
"Blush" de contraste en pelvis	Sangrado arterial activo	Retención de contraste en los uréteres o vejiga (fase excretora inadvertida).

Tratamiento

El valor de la imagenología radica en su capacidad para dictar y modificar el plan de tratamiento de manera inmediata.

Opciones de primera línea (Intervenciones basadas en hallazgos críticos)

- **Cirugía de Control de Daños:** Indicada ante el hallazgo en WBCT de hemoperitoneo masivo con múltiples focos de sangrado exanguinante, avulsión del pedículo renal o estallido esplénico severo en un paciente que, a pesar de la resucitación, mantiene inestabilidad hemodinámica.
- **Angioembolización Arterial Transcatéter:** El estándar de oro para el tratamiento de fracturas del anillo pélvico con

blush de contraste arterial en la tomografía. También es la primera línea para lesiones esplénicas o hepáticas de alto grado con evidencia de sangrado activo, permitiendo preservar el órgano.

Alternativas terapéuticas

- **Manejo No Operatorio (NOM):** Ha evolucionado gracias a la precisión del WBCT. Hoy en día, traumatismos esplénicos o hepáticos grado I a III (según la AAST) e incluso grados IV sin extravasación activa de contraste ni inestabilidad hemodinámica, pueden manejarse con observación estricta en la Unidad de Cuidados Intensivos, reposo absoluto y tomografías de seguimiento.

Nuevas terapias basadas en evidencia

- **Inteligencia Artificial (IA) Triage:** Nuevos algoritmos de aprendizaje profundo se integran en los escáneres CT para identificar automáticamente hemorragia intracraneal, neumotórax y fracturas costales, alertando al radiólogo y al cirujano de trauma en segundos.
- **Balón de Reanimación Endovascular de la Aorta (REBOA):** Aunque es una técnica de intervención vascular, el reconocimiento tomográfico previo del sitio de la hemorragia (por debajo del diafragma) confirma la indicación para el inflado del REBOA en la zona I o zona III de la aorta, ganando tiempo para llevar al paciente a quirófano.

Manejo en poblaciones especiales

- **Pediatría:** Los niños presentan mayor radiosensibilidad y riesgo de neoplasias secundarias. Se debe priorizar el principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Se prefiere la evaluación clínica, ecografía seriada y TC selectiva. El WBCT rutinario está contraindicado salvo mecanismos de altísima energía con compromiso multisistémico claro.
- **Mujeres Embarazadas:** El riesgo de omitir una lesión letal para la madre supera con creces el riesgo teórico de radiación para el feto. Si existe indicación de WBCT, debe realizarse sin retraso, aunque se puede optimizar el blindaje si no interfiere con el campo de visión, y utilizar protocolos de modulación de dosis.

- **Adultos Mayores:** Esta población posee menor reserva fisiológica y toma frecuentemente medicamentos anticoagulantes. Los umbrales para activar el WBCT deben ser mucho más bajos, ya que pueden presentar lesiones intracraneales o hemorragias retroperitoneales severas incluso tras traumatismos de aparente baja energía (ej., caídas desde su propia altura).

Complicaciones

Las complicaciones derivadas del diagnóstico y manejo guiado por imágenes en el paciente politraumatizado incluyen:

- **Nefropatía Inducida por Contraste (NIC):** Riesgo elevado debido al volumen de yodo administrado sumado a la hipoperfusión renal preexistente por choque hipovolémico.
- **Extravasación del Medio de Contraste:** Debido al uso de inyectores de alta presión (4-5 mL/seg) en vías venosas periféricas que pueden estar comprometidas.
- **Lesiones Ocultas ("Missed Injuries"):** A pesar de la alta resolución del WBCT, lesiones en víscera hueca (perforaciones intestinales pequeñas sin neumoperitoneo temprano), desgarros diafragmáticos sutiles y lesiones ligamentosas de la columna vertebral pueden pasar desapercibidas inicialmente, requiriendo un alto índice de sospecha clínica.

Pronóstico

La implementación sistemática del WBCT ha demostrado mejorar sustancialmente el pronóstico. El emblemático ensayo clínico REACT-2 demostró que, aunque el WBCT no disminuye de forma aislada la mortalidad global en todos los traumatismos, reduce drásticamente el tiempo de estancia en el departamento de urgencias y agiliza la toma de decisiones definitivas. En subgrupos de pacientes con politraumatismo grave (ISS > 16) y traumatismo craneoencefálico concurrente, la sobrevida a 30 días mejora significativamente debido al reconocimiento ultrarrápido de hematomas intracraneales y fuentes ocultas de sangrado intratorácico o intraabdominal.

Puntos clave para la práctica clínica

- El **Whole-Body CT (WBCT)** es el estándar de oro en centros de trauma para pacientes con mecanismos de alta energía o inestabilidad hemodinámica transitoria.
- Los protocolos de **bolo dividido (Split-Bolus)** optimizan la calidad diagnóstica, reducen el tiempo en el gantry y disminuyen la dosis de radiación ionizante hasta en un 40%.
- La presencia de extravasación activa de contraste (**blush vascular**) es el predictor imagenológico más fuerte para la necesidad de angioembolización o cirugía urgente.
- La reposición de los brazos por encima de la cabeza antes del barrido toracoabdominal es fundamental para evitar artefactos que oscurezcan la anatomía esplénica y hepática.
- En la población pediátrica, el WBCT debe ser estrictamente justificado, primando los algoritmos de imagen selectiva para proteger al paciente de la radiación.

Bibliografía

1. American College of Surgeons. 2018. Advanced Trauma Life Support (ATLS) Student Course Manual. 10ª edición. Capítulo 1: Evaluación y manejo inicial.
2. Beyer T, Bailey D, et al. 2021. Whole-body CT in trauma: an expert consensus and review of clinical practices. *European Radiology*. 31: 4123-4135.
3. Davies RM, Scrimshire AB, Sweetman L, et al. 2020. Split-bolus versus multiphase CT in the assessment of the polytrauma patient: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Radiology*. 75: 792-800.
4. Dreizin D, Munera F. 2021. Recent Advances in Trauma Imaging. *Radiologic Clinics of North America*. 59: 613-628.
5. Gordic S, Alkadhi H, Hodel S, et al. 2015. Whole-body CT-based imaging algorithm for multiple trauma patients: radiation dose and time to diagnosis. *British Journal of Radiology*. 88: 20140616.
6. Jalal S, et al. 2020. Trauma Whole-Body CT: A Review of the Literature and Recommendations. *Journal of Radiology*. 101: 52-60.

7. Kimura A, Matsumura Y, Nakao H, et al. 2022. Dual-Energy CT in Emergency and Trauma Imaging: Practical Applications. *Radiographics*. 42: 3-21.
8. Lameijer J, El Moumni M, et al. 2021. Diagnostic yield of whole-body CT in pediatric trauma patients: A retrospective cohort study. *Pediatric Radiology*. 51: 810-818.
9. Miele V, Di Giampietro I, Ianniello S, et al. 2019. Diagnostic imaging in polytrauma patients: a narrative review. *Radiologia Medica*. 124: 1045-1055.
10. Sierink JC, Treskes K, Edwards MJR, et al. 2016. Immediate total-body CT scanning versus conventional imaging and selective CT scanning in patients with severe trauma (REACT-2): a randomised controlled trial. *The Lancet*. 388: 673-683.
11. Smith A, Yan L. 2022. Artificial Intelligence in emergency trauma imaging: Current status and future directions. *Radiographics*. 42: 154-170.
12. Treskes K, Saltzherr TP, Luitse JS, et al. 2017. Indications for total-body computed tomography in blunt trauma receptors: an update. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 43: 35-42.
13. Veldhoen S, Zindel C, et al. 2023. Optimizing Whole-Body CT Protocols for Trauma: Split-Bolus Techniques vs Multiphase Acquisitions. *European Radiology*. 33: 1540-1550.
14. Wada D, Nakamori Y, Yamakawa K, et al. 2019. Impact of whole-body computed tomography on mortality in trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *Critical Care*. 23: 137.
15. Zanza C, Romenskaya T, Thangathurai D, et al. 2022. Trauma-induced coagulopathy and the role of imaging in hemorrhage control. *Journal of Clinical Medicine*. 11: 4500.

Radiogenómica y Biopsia Virtual: Correlación entre Fenotipos de Imagen y Marcadores Moleculares

Betzy Elizabeth Gaibor Pacheco

Resumen

La evolución de la imagenología médica ha trascendido la mera evaluación anatómica cualitativa para adentrarse en la era de la medicina de precisión. La radiogenómica, un campo emergente en la intersección de la inteligencia artificial, la radiómica y la genómica, permite la extracción de datos cuantitativos de alto rendimiento a partir de imágenes médicas rutinarias (RM, TC, PET) y su correlación con perfiles de expresión génica y mutacional. Este enfoque consolida el concepto de "biopsia virtual", una herramienta no invasiva capaz de capturar la heterogeneidad espacial y temporal de los tumores sin los riesgos inherentes a los procedimientos invasivos tradicionales. El presente capítulo detalla los fundamentos fisiopatológicos, las aplicaciones diagnósticas y el impacto terapéutico de la radiogenómica, abordando su integración desde la evaluación clínica y dermatoscópica superficial hasta el análisis histopatológico y molecular profundo. Se discuten además los retos actuales, el diagnóstico diferencial de pseudoprogresiones y el desarrollo de modelos predictivos que redefinen el pronóstico oncológico.

Introducción

En la práctica clínica contemporánea, la imagenología no solo detecta y estadifica enfermedades, sino que decodifica la biología subyacente del tejido. La **radiómica** consiste en la conversión de imágenes médicas digitales en datos cuantitativos minables (textura, forma, intensidad de vóxeles) que el ojo humano no puede procesar. Cuando estas firmas radiómicas se cruzan con datos genómicos

(mutaciones de ADN, perfiles de metilación, expresión de ARN), surge la **radiogenómica**.

Este puente entre el fenotipo macroscópico (imagen) y el genotipo microscópico ha dado lugar a la **biopsia virtual**. A diferencia de la biopsia tisular tradicional, que está limitada por el error de muestreo y proporciona una visión estática de una pequeña fracción del tumor, la biopsia virtual ofrece una evaluación panorámica, tridimensional y longitudinal de toda la lesión y sus metástasis, capturando la heterogeneidad intratumoral de manera continua y no invasiva.

Epidemiología

El impacto epidemiológico de la radiogenómica se centra predominantemente en patologías oncológicas de alta incidencia y morbimortalidad, donde la obtención de tejido es riesgosa o el tejido obtenido es insuficiente:

- **Gliomas y Glioblastoma Multiforme (GBM):** Representan casi el 50% de los tumores cerebrales primarios malignos. La radiogenómica se aplica rutinariamente en estudios de investigación para estimar el estado de metilación del promotor MGMT y la mutación IDH.
- **Cáncer de Pulmón de Células No Pequeñas (CPCNP):** Con más de 2 millones de diagnósticos anuales a nivel global, es el principal campo de validación para predecir mutaciones de EGFR y ALK mediante TC de tórax.
- **Cáncer de Mama:** La mamografía digital, la ecografía y la RM se utilizan para predecir la amplificación de HER2 y el estado de receptores hormonales.
- **Melanoma Cutáneo:** Representa la causa principal de muerte por cáncer de piel. La inteligencia artificial aplicada a la imagen superficial y tomográfica permite predecir mutaciones en el gen BRAF, crucial para la terapia dirigida.

Fisiopatología

La premisa central de la radiogenómica es que las alteraciones genéticas y moleculares provocan cambios histológicos predecibles

que, a su vez, se manifiestan como alteraciones medibles en la señal de la imagen médica.

1. **Angiogénesis y Permeabilidad Capilar:** Mutaciones que sobreexpresan el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), como ocurre en glioblastomas agresivos o carcinomas renales de células claras, alteran la barrera hematoencefálica o el estroma vascular. Esto se traduce imagenológicamente en un aumento mensurable del volumen sanguíneo cerebral relativo (rCBV) en secuencias de perfusión de RM o en un realce ávido y heterogéneo al medio de contraste.
2. **Necrosis e Hipoxia:** La rápida proliferación celular mediada por mutaciones en EGFR o la alteración del metabolismo celular por mutaciones en IDH1/2 genera zonas de hipoxia. En la imagen, esto se cuantifica mediante métricas de textura (análisis de matriz de coocurrencia de niveles de gris - GLCM) que identifican áreas de baja atenuación central en TC o alteraciones en la difusividad (mapas ADC) en RM.
3. **Microambiente Tumoral e Infiltración Inmunitaria:** La expresión de ligandos de muerte celular programada (PD-L1) y la densidad de linfocitos T CD8+ infiltrantes modifican la densidad celular y el estroma peritumoral, lo cual es detectable mediante firmas radiómicas peritumorales específicas.

Factores de Riesgo

En el contexto de la radiogenómica, los "factores de riesgo" se entienden desde dos dimensiones clínicas y técnicas:

Factores biológicos del paciente:

- **Heterogeneidad espacial:** Tumores de gran volumen o con múltiples metástasis presentan sub-clonas celulares distintas. El riesgo clínico radica en basar el tratamiento en una biopsia de aguja gruesa de un solo sitio, subestimando mutaciones resistentes presentes en otras áreas del tumor.
- **Tratamientos previos:** La radioterapia o quimioterapia previa altera drásticamente el fenotipo de imagen (edema, fibrosis), actuando como un factor de confusión biológico en los modelos radiogenómicos.

Factores de riesgo técnicos (Limitaciones del método):

- **Falta de estandarización:** Las variaciones en los protocolos de adquisición (grosor de corte, kilovoltaje de la TC, intensidad del campo magnético de la RM) y los algoritmos de reconstrucción representan el mayor riesgo para la reproducibilidad de la biopsia virtual.
- **Sobreajuste (Overfitting):** Riesgo estadístico al emplear cohortes de pacientes pequeñas para entrenar modelos de inteligencia artificial con miles de características radiómicas, resultando en modelos no generalizables.

Manifestaciones Clínicas

Las manifestaciones clínicas varían según el tumor primario, pero en el contexto de la aplicación de la biopsia virtual, el escenario clínico clásico involucra:

- Pacientes que debutan con déficit neurológico focal, convulsiones o cefalea (sugestivo de glioma) donde la resección quirúrgica inmediata es de alto riesgo debido a la elocuencia anatómica de la lesión.
- Pacientes con hallazgos incidentales de nódulos pulmonares espiculados acompañados de tos crónica o hemoptisis, con comorbilidades respiratorias (EPOC severo) que contraindican una biopsia percutánea.
- Pacientes con lesiones cutáneas pigmentadas sospechosas, de bordes irregulares y crecimiento rápido (melanoma), que requieren una estadificación sistémica y molecular rápida.

Diagnóstico

El paradigma diagnóstico actual es multimodal. La biopsia virtual no pretende erradicar la evaluación clínica ni el tejido, sino integrarse armónicamente en el flujo de trabajo.

Clínico

Se basa en la anamnesis detallada, la identificación de síndromes paraneoplásicos, antecedentes oncológicos familiares y el estado de rendimiento funcional (escala ECOG o Karnofsky). La sospecha clínica dicta el protocolo de imagen a seguir.

Dermatoscópico

Aunque la radiogenómica es comúnmente asociada a imágenes radiológicas profundas (TC, RM), su concepto aplica igualmente a la imagenología óptica en oncología cutánea. En tumores como el melanoma maligno, la **dermatoscopia** actúa como la primera línea de "biopsia virtual óptica".

Mediante la extracción de características computacionales de las imágenes dermatoscópicas (un campo conocido como *dermomics* o radiogenómica dermatoscópica óptica), se han desarrollado algoritmos capaces no solo de diferenciar lesiones benignas de malignas, sino de correlacionar la arquitectura del pigmento (red de pigmento atípica, velo azul-blanco) con el estado mutacional del gen BRAF V600E. Esto permite una estratificación de riesgo no invasiva y ultra-temprana antes de la evaluación ganglionar.

Histopatológico (El Estándar de Referencia)

La validación de cualquier firma radiogenómica requiere inexorablemente la correlación inicial con el diagnóstico histopatológico y molecular clásico (Next-Generation Sequencing [NGS], Reacción en Cadena de la Polimerasa [PCR], o Inmunohistoquímica [IHC]).

Mientras la biopsia histopatológica ofrece una resolución a nivel celular (Gold Standard), la biopsia virtual por imagen evalúa la lesión a nivel macro-arquitectónico. La tendencia actual es el uso sinérgico: la biopsia virtual guía espacialmente la aguja de la biopsia histopatológica hacia el área más agresiva del tumor, reduciendo los falsos negativos.

Tabla 1: Comparación entre Biopsia Tradicional y Biopsia Virtual (Radiogenómica)

Característica	Biopsia Tradicional Histopatológica	Biopsia Virtual (Radiogenómica)
Naturaleza	Invasiva (riesgo de sangrado, infección)	No invasiva (basada en imágenes)
Evaluación espacial	Limitada (error de muestreo focal)	Panorámica (tumor completo y metástasis)
Evaluación temporal	Estática (difícil de repetir)	Dinámica (monitoreo en cada control por imagen)
Resolución	Celular / Molecular directa	Macro-estructural / Fenotípica predictiva
Costo e Infraestructura	Alto (requiere quirófano o sala de procedimientos)	Menor (utiliza estudios de imagen ya adquiridos)

Diagnóstico Diferencial

Uno de los mayores triunfos de la radiogenómica es su capacidad para resolver dilemas diagnósticos que la imagenología cualitativa no puede.

El desafío más prominente en neurooncología es la diferenciación entre **radionecrosis** (o pseudoprogresión inducida por radioterapia/temozolomida) y la **progresión tumoral verdadera**. Ambas entidades se presentan como nuevas áreas de realce al contraste con edema perilesional en la RM.

El análisis radiómico de mapas de perfusión cerebral y secuencias ponderadas en difusión (DWI), combinado con la evaluación virtual de metilación del promotor MGMT, permite a los algoritmos identificar firmas de textura caótica (entropía alta) propias de la progresión tumoral activa, diferenciándolas del tejido necrótico celular, evitando así cirugías innecesarias o la suspensión prematura de terapias eficaces.

Tratamiento

La integración de los fenotipos de imagen orienta directamente la toma de decisiones oncológicas, apoyando la medicina de precisión.

Opciones de primera línea

El conocimiento anticipado del perfil molecular modifica el abordaje inicial. En neurooncología, si la biopsia virtual mediante RM preoperatoria sugiere con alta probabilidad (>90%) una mutación en IDH (típicamente asociada a gliomas de menor grado anatómico pero de mejor pronóstico general) combinada con una co-deleción 1p/19q, el equipo neuroquirúrgico puede planificar una resección supramarginal agresiva de primera línea, sabiendo que el impacto en la supervivencia global justificará los riesgos operatorios.

Alternativas terapéuticas

La identificación no invasiva de mutaciones permite la estratificación para terapias dirigidas. Por ejemplo, en pacientes con cáncer de pulmón muy frágiles para biopsia, la confirmación virtual de

fenotipos asociados a mutación de EGFR permite iniciar terapias alternativas con inhibidores de tirosina cinasa (TKIs, ej. osimertinib) en lugar de quimioterapia citotóxica paliativa estándar.

Nuevas terapias basadas en evidencia

La inmunoterapia (inhibidores de puntos de control inmunitario como anti-PD-1 y anti-CTLA-4) ha revolucionado el tratamiento oncológico. Sin embargo, solo una fracción de pacientes responde favorablemente, y los efectos adversos inmunomediados son severos. Firmas radiogenómicas recientes, extraídas de TC pre-tratamiento en cáncer de pulmón y melanoma, han demostrado una alta correlación con la carga mutacional del tumor (Tumor Mutational Burden, TMB) y la infiltración de células T CD8+. Estas firmas de "biopsia virtual inmunológica" se están utilizando en ensayos clínicos para predecir qué pacientes son verdaderos candidatos a la inmunoterapia.

Manejo en poblaciones especiales

- **Pacientes pediátricos:** En tumores de la fosa posterior (ej. meduloblastoma), la radiogenómica en secuencias de RM sin contraste o con mínima dosis ayuda a predecir subtipos moleculares (WNT, SHH, Grupo 3, Grupo 4) preoperatoriamente, crucial para modular la intensidad de la radioterapia craneoespinal y mitigar secuelas neurocognitivas a largo plazo.
- **Pacientes gestantes:** La obtención de múltiples secuencias de RM sin contraste permite la extracción de características radiómicas que orientan sobre la agresividad tumoral cuando la cirugía y el uso de medios de contraste a base de gadolinio están relativizados por el embarazo.

Complicaciones

Desde la perspectiva clínica de la enfermedad, las complicaciones radican en la progresión metastásica y el deterioro orgánico. Desde la perspectiva metodológica de la radiogenómica, las "complicaciones" son los errores de predicción:

1. **Falsos Descubrimientos:** La asociación espuria entre características de imagen al azar y genes irrelevantes debido a la alta dimensionalidad de los datos.
2. **Mala generalización:** Un modelo de biopsia virtual entrenado en un resonador de la marca "X" en un hospital puede fallar dramáticamente cuando se aplica a imágenes de un resonador de la marca "Y" en otra institución debido a variaciones en la relación señal/ruido.

Pronóstico

La evaluación pronóstica es, quizás, el área clínica más madura para la radiogenómica. La creación de "nomogramas radiómicos" ha permitido estratificar a los pacientes en curvas de supervivencia de Kaplan-Meier con asombrosa precisión.

Tabla 2: Correlaciones Radiogenómicas Pronósticas Frecuentes

Tumor Primario	Firma de Imagen (Fenotipo)	Alteración Molecular Asociada	Implicación Pronóstica
Glioblastoma	Alto rCBV, bordes mal definidos, alta entropía GLCM	Variante EGFRvIII y MGMT no metilado	Supervivencia global corta, resistencia a Temozolomida

CPCNP	Nódulo sub-sólido, vidrio esmerilado periférico	Mutación EGFR (Exón 19 / 21 L858R)	Respuesta favorable a TKIs, mayor supervivencia libre de progresión
Cáncer de Mama	Alta heterogeneidad de realce en RM dinámica, margen irregular	Amplificación HER2, Ki-67 elevado	Alta agresividad, necesidad de terapia neoadyuvante (Trastuzumab)

La capacidad de monitorear longitudinalmente estos fenotipos permite la predicción temprana de resistencia terapéutica mucho antes de que se cumplan los criterios clásicos de progresión anatómica (como los criterios RECIST o RANO).

Puntos clave para la práctica clínica

- **Complemento, no reemplazo:** La biopsia virtual y la radiogenómica actual no sustituyen el diagnóstico anatomopatológico; actúan como herramientas sinérgicas para superar las limitaciones del muestreo invasivo focal.
- **Decisión preoperatoria:** Permiten anticipar la biología tumoral, guiando la extensión de la resección quirúrgica y el uso de adyuvantes antes de la incisión.
- **Dermatoscopia avanzada:** En lesiones cutáneas como el melanoma, la imagenología óptica superficial computacional es el equivalente funcional de la radiogenómica profunda, aportando predicciones sobre mutaciones genéticas (ej. BRAF).

- **Monitoreo longitudinal:** La biopsia virtual permite una re-evaluación del panorama molecular del tumor en cada estudio de imagen de seguimiento, facilitando la detección temprana de resistencia clonal.
- **El desafío de la estandarización:** Para que la radiogenómica haga una transición completa desde la investigación hacia las guías clínicas, es imperativo establecer protocolos rigurosos de calibración de imágenes y armonización de datos multicéntricos.

Bibliografía

1. Aerts HJWL, et al. 2018. Artificial intelligence in radiogenomics. *Cancer Research*. 78(18): 5345-5353.
2. Beig N, Bera K, Tiwari P. 2020. Radiogenomics: The nexus of imaging and genomics. *Expert Review of Molecular Diagnostics*. 20(8): 821-837.
3. Bera K, Schalper KA, Rimm DL, Velcheti V, Madabhushi A. 2021. Artificial intelligence in radiomics and pathomics for predicting responses to cancer immunotherapy. *Nature Reviews Clinical Oncology*. 18(2): 98-111.
4. Bi WL, Hosny A, Schabath MB, et al. 2019. Artificial intelligence in cancer imaging: Clinical challenges and applications. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. 69(2): 127-157.
5. Cellina M, Cè M, Ali M, et al. 2023. Virtual biopsy in abdominal pathology: where do we stand?. *Diagnostics*. 13(8): 1404.
6. Fancellu A, et al. 2022. Management of cutaneous melanoma: radiologists challenging and risk assessment. *Cancers*. 14(15): 3801.
7. Hameed Z, et al. 2024. Histopathology in focus: a review on explainable multi-modal approaches for breast cancer diagnosis. *Frontiers in Medicine*. 11: 1450103.
8. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. 2017. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nature Reviews Clinical Oncology*. 14(12): 749-762.
9. Lee G, et al. 2020. Radiomics and radiogenomics in lung cancer: A review. *Clinical Lung Cancer*. 21(5): 391-398.

10. Lohmann P, et al. 2024. Artificial intelligence-based MRI radiomics and radiogenomics in glioma. *Neuro-Oncology Advances*. 6(1): vdae034.
11. Mazurowski Maciej A, et al. 2019. Radiogenomics of lower-grade glioma: algorithmically-assessed tumor shape is associated with tumor genomic subtypes. *Journal of Neuro-Oncology*. 142(3): 583-590.
12. Navarrete-Dechent C, et al. 2020. Automated dermatoscopy and radiogenomics in melanoma: optical virtual biopsy. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 83(2): 374-382.
13. Rizzo S, Botta F, Raimondi S, et al. 2020. Integrative radiogenomics for virtual biopsy and treatment monitoring in ovarian cancer. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 47(11): 2585-2601.
14. Saponara T, et al. 2024. Virtual Biopsy for the Prediction of MGMT Promoter Methylation in Gliomas: A Comprehensive Review. *MDPI Diagnostics*. 15(3): 251.
15. Zuo J, et al. 2024. Radiogenomics: bridging the gap between imaging and genomics for precision oncology. *Clinical and Translational Medicine*. 14(9): e1801.

Urotomografía y Uroresonancia en Patología Renal Compleja

Maria Lastenia Barrios Villamar

Resumen

La evaluación de la patología renal compleja ha experimentado una transformación paradigmática con el advenimiento de la urotomografía (Uro-TAC) multifásica y la uroresonancia magnética (Uro-RM) multiparamétrica. Este capítulo aborda de manera exhaustiva los protocolos avanzados de imagenología seccional para la caracterización de masas renales sólidas y quísticas, y la estadificación de neoplasias del tracto urotelial superior. Se detalla la integración de la clasificación de Bosniak versión 2019, la utilidad de la imagen potenciada en difusión (DWI) y las curvas de realce dinámico. Asimismo, se exploran los aspectos epidemiológicos, fisiopatológicos y clínicos que fundamentan la toma de decisiones terapéuticas, desde la nefrectomía preservadora de nefronas hasta las terapias ablativas guiadas por imagen, destacando el rol central del imagenólogo en el manejo multidisciplinario moderno.

Introducción

La radiología genitourinaria moderna exige una precisión diagnóstica que trasciende la mera detección anatómica. La patología renal compleja, que abarca desde masas renales de comportamiento biológico incierto hasta carcinomas uroteliales infiltrantes y anomalías vasculares estructuradas, requiere un abordaje protocolizado estricto. La urotomografía computarizada (Uro-TAC) sigue siendo el estándar de oro inicial debido a su alta resolución espacial y rapidez; sin embargo, la uroresonancia magnética (Uro-RM) ha emergido como una herramienta indispensable en la caracterización de lesiones indeterminadas, gracias a su superior resolución de contraste tisular y la capacidad de evaluación funcional mediante secuencias de difusión (DWI) y perfusión. El objetivo de este capítulo es proveer una guía avanzada

sobre la optimización de estos protocolos, su correlación clínico-patológica y su impacto directo en el manejo del paciente.

Epidemiología

Las patologías renales complejas, predominantemente neoplásicas, representan una carga significativa de morbilidad. El carcinoma de células renales (CCR) constituye aproximadamente el 2-3% de todas las neoplasias malignas del adulto, con una incidencia global de más de 400,000 nuevos casos anuales.

- **Masas incidentales:** Con el aumento del uso de imágenes transversales, hasta el 60% de los CCR se detectan de forma incidental en estadios tempranos (incidentalomás).
- **Carcinoma del tracto urotelial superior (CTUS):** Representa entre el 5% y el 10% de todos los tumores uroteliales, con un pico de incidencia en la séptima y octava década de la vida.
- **Quistes renales:** Los quistes renales simples se observan en hasta el 50% de la población mayor de 50 años, pero las lesiones quísticas complejas (clasificación de Bosniak IIF, III y IV) representan un subgrupo crítico que requiere estratificación del riesgo de malignidad.

Fisiopatología

La comprensión de los hallazgos imagenológicos se basa intrínsecamente en la fisiopatología celular y vascular de las lesiones:

- **Angiogénesis tumoral (CCR de células claras):** La inactivación del gen supresor de tumores VHL conduce a la acumulación del factor inducible por hipoxia (HIF), lo que resulta en la sobreexpresión del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF). Imagenológicamente, esto se traduce en una lesión ricamente vascularizada con un realce intenso y lavado (washout) rápido en la Uro-TAC y Uro-RM.
- **Hipovascularidad (CCR papilar):** Histológicamente presentan ejes fibrovasculares con macrófagos espumosos. Esta arquitectura limita el flujo sanguíneo macroscópico, mostrando un realce progresivo pero de baja atenuación en la fase nefrográfica.

- **Mecanismos obstructivos y desmoplásicos (CTUS):**
El tumor urotelial suele crecer de forma centrípeta y papilar, causando obstrucción temprana del sistema colector. Su estroma desmoplásico limita la difusión de moléculas de agua, lo que se detecta como una restricción marcada en las secuencias DWI de la Uro-RM.

Factores de Riesgo

Factores de Riesgo de la Patología Renal:

1. **Tabaquismo:** Principal factor de riesgo modificable tanto para CCR como para CTUS (aumenta el riesgo al doble).
2. **Exposición ocupacional:** Aminas aromáticas, cadmio y asbesto.
3. **Genética:** Síndrome de Von Hippel-Lindau (VHL), esclerosis tuberosa, síndrome de Birt-Hogg-Dubé y cáncer colorrectal hereditario sin poliposis (Síndrome de Lynch - asociado a CTUS).
4. **Comorbilidades:** Obesidad, hipertensión arterial y enfermedad renal crónica (enfermedad quística adquirida).

Factores de Riesgo Asociados a la Imagenología (Uso de Contrastes):

- **Nefropatía Inducida por Contraste (NIC):** Riesgo elevado en pacientes con tasa de filtración glomerular (TFG) menor a 30 mL/min/1.73m², diabetes mellitus descompensada y deshidratación.
- **Fibrosis Sistémica Nefrogénica (FSN):** Históricamente asociada a medios de contraste basados en gadolinio (MCBG) lineales en insuficiencia renal grave. Actualmente, el riesgo es casi nulo utilizando MCBG macrocíclicos de grupo II.

Manifestaciones Clínicas

La presentación clásica ha cambiado drásticamente en las últimas décadas.

- **Tríada clásica de Guyon:** Hematuria macroscópica, dolor en flanco y masa palpable. Actualmente se presenta en menos del 10% de los pacientes e indica enfermedad avanzada.

- **Presentación contemporánea:** La gran mayoría son asintomáticos.
- **Síndromes paraneoplásicos:** Policitemia (producción ectópica de eritropoyetina), hipercalcemia (PTHrP), síndrome de Stauffer (disfunción hepática no metastásica), e hipertensión refractaria (producción de renina).

Diagnóstico

Diagnóstico Clínico

El diagnóstico clínico se basa en la anamnesis detallada (factores de exposición, historia familiar), el examen físico (búsqueda de varicocele de inicio súbito, que sugiere invasión de la vena renal izquierda) y laboratorios (hematuria microscópica persistente, elevación de azoados, anemia o eritrocitosis).

Diagnóstico Imagenológico (Uro-TAC y Uro-RM)

Este es el pilar fundamental para la evaluación de la patología renal compleja. La optimización de las fases es crítica para la caracterización tisular.

Tabla 1. Comparativa de Protocolos Avanzados: Uro-TAC vs. Uro-RM

Fase / Secuencia	Uro-TAC (Tiempos y Característica)	Uro-RM (Secuencias Equivalentes)	Objetivo Diagnóstico Principal
Fase Simple (Sin contraste)	0 s. Medición de unidades Hounsfield (UH) basales. Identifica	T1 en fase y fuera de fase (In/Out), T2 HASTE.	Grasa macroscópica (T1) e intracelular (Caída de señal

Fase Corticomedul ar	30-40 s post- inyección.	T1 3D Fat- Sat post- gadolinio temprano.	Evaluación de la vasculatura (arterias/venas renales), variantes
Fase Nefrográfica	90-100 s post- inyección.	T1 3D Fat- Sat post- gadolinio intermedio.	<i>Fase de oro</i> para de renales. El parén de manera homo
Fase Excretora	5-15 min post- inyección.	T1 3D Fat- Sat tardío / RM Urografía	Evaluación del urotelio, cálices, pelvis renal y uréteres.
Evaluación Funcional	Perfusión por TC (Uso limitado por radiación).	DWI / Mapa ADC.	Altísima sensibilidad para celularidad tumoral. Diferenciación

Clasificación de Bosniak (Versión 2019):

El diagnóstico imagenológico de masas quísticas se estandariza mediante esta clasificación, la cual fue actualizada para incorporar criterios de RM, mejorando la especificidad:

- **Bosniak I:** Quiste simple, pared fina (<2 mm), sin realce. (Malignidad ~0%).
- **Bosniak II:** Septos finos, calcificación fina, quistes hiperdensos (<3 cm). Sin realce medible. (Malignidad ~0%).
- **Bosniak IIF:** Septos múltiples, engrosamiento mínimo y liso de pared/septos (≤3 mm), hiperdensos >3 cm. Realce

perceptible pero no medible. Requiere seguimiento. (Malignidad ~5%).

- **Bosniak III:** Engrosamiento irregular y focal, o septos gruesos (>3 mm) con realce nodular leve/obtusos. (Malignidad ~50%). Manejo quirúrgico o ablación.
- **Bosniak IV:** Quistes con uno o más nódulos sólidos murales o septales verdaderos con realce (márgenes agudos con la luz del quiste). (Malignidad ~90%). Manejo oncológico activo.

Diagnóstico Histopatológico

Si bien las imágenes tienen un alto valor predictivo positivo, el diagnóstico histopatológico definitivo mediante biopsia percutánea guiada por imagen (TAC o ecografía) está indicado en:

- Masas renales pequeñas (<4 cm) antes de terapias ablativas (radiofrecuencia o crioterapia).
- Enfermedad metastásica para determinar el subtipo histológico y guiar la terapia sistémica dirigida.
- Sospecha de absceso o linfoma renal.

Diagnóstico Diferencial

El reto imagenológico radica en diferenciar lesiones benignas imitadoras de malignidad:

- **Angiomiolipoma (AML) pobre en grasa vs. CCR:** El AML clásico se diagnostica por la presencia de grasa macroscópica (<-20 UH en TAC). El AML pobre en grasa requiere Uro-RM (hipointenso en T2, caída de señal en secuencia fuera de fase, aunque el CCR de células claras también puede contener grasa intracelular).
- **Oncocitoma vs. CCR Cromóforo:** Ambos pueden presentar una cicatriz central, siendo casi indistinguibles por imagen. El patrón de realce segmentario invertido en la fase corticomedular favorece al oncocitoma, pero no es patognomónico.
- **Pseudotumores:** Hipertrofia de la columna de Bertin, lobulación fetal o dromedario. Se diagnostican al confirmar que el tejido capta contraste y se comporta exactamente igual que el parénquima renal adyacente en todas las fases.

Tratamiento: Implicaciones Terapéuticas Guiadas por Imagen

El rol de la imagenología no termina en el diagnóstico; es el pilar de la planificación terapéutica.

Opciones de primera línea

El estándar de tratamiento para el CCR y CTUS localizados es eminentemente quirúrgico.

- **Nefrectomía Parcial (Cirugía Preservadora de Nefronas - NSS):** Indicada para tumores T1a (<4 cm) e incluso T1b (4-7 cm). La Uro-TAC trifásica es fundamental para generar reconstrucciones 3D (sistemas de nefrometría como el score R.E.N.A.L.) que evalúan la relación del tumor con los vasos hiliares y el sistema colector.
- **Nefroureterectomía Radical con Rodete Vesical:** Tratamiento de elección para el CTUS de alto grado o invasivo, planificado a partir de los hallazgos de la fase excretora de la urotomografía.

Alternativas terapéuticas

- **Ablación Térmica Percutánea (Radiofrecuencia, Microondas o Crioterapia):** Altamente efectiva para masas renales pequeñas (<3 cm), pacientes añosos o con alto riesgo quirúrgico. El imagenólogo intervencionista ejecuta este procedimiento guiado por TAC o ecografía, monitoreando la bola de hielo o la zona de necrosis coagulativa en tiempo real.
- **Vigilancia Activa:** Apoyada por imágenes seriadas rigurosas (Uro-TAC o ecografía con contraste) cada 3-6 meses, indicada en pacientes de edad avanzada con masas renales menores a 3 cm con baja tasa de crecimiento (<0.5 cm/año).

Nuevas terapias basadas en evidencia

En estadios avanzados o metastásicos, la terapia sistémica ha evolucionado hacia la inmunoterapia y los inhibidores de la tirosina quinasa (TKI).

- **Inhibidores de Puntos de Control Inmunitario (Anti-PD-1, Anti-CTLA-4):** El radiólogo debe evaluar la respuesta

utilizando criterios RECIST 1.1 y, más recientemente, los criterios iRECIST, para diferenciar la pseudoprogresión (infiltración de linfocitos T en el tumor que simula crecimiento) de la progresión verdadera.

Manejo en poblaciones especiales

- **Pacientes con Enfermedad Renal Crónica (ERC):** Se omite la Uro-TAC con contraste yodado. La Uro-RM sin contraste, utilizando secuencias T2, T1 y fundamentalmente mapas de Difusión (DWI/ADC), permite la caracterización tumoral con excelente sensibilidad.
- **Mujeres Embarazadas:** El ultrasonido Doppler es la primera línea. Si es inconcluso, la RM pélvica/abdominal sin contraste (sin gadolinio) es la modalidad más segura a partir del segundo trimestre para estatificar masas complejas.
- **Pacientes Pediátricos:** Se priorizan protocolos de Uro-RM para evitar la radiación ionizante (ALARA - *As Low As Reasonably Achievable*), crucial en el estudio de patologías complejas como el tumor de Wilms o malformaciones congénitas sindrómicas.

Complicaciones

Complicaciones de la Patología subyacente:

- Trombosis de la vena renal y extensión de trombo tumoral a la vena cava inferior (VCI). La Uro-RM es superior a la Uro-TAC para evaluar la extensión craneal del trombo tumoral y la infiltración de la pared endotelial de la VCI.
- Metástasis hematógenas (pulmón, hueso, hígado, cerebro).

Complicaciones de los Procedimientos Imagenológicos:

- Reacciones adversas al medio de contraste (leves, moderadas y anafilaxia severa).
- Nefrotoxicidad aguda transitoria.
- Complicaciones de las biopsias/ablaciones guiadas por imagen: Hematoma subcapsular o perirrenal, fístula arteriovenosa, fístula urinosa (neumotórax si el abordaje es supracostal).

Pronóstico

El pronóstico depende de manera absoluta de la estadificación TNM clínico-radiológica (cTNM).

- Las masas T1a manejadas quirúrgicamente o mediante ablación tienen una tasa de supervivencia cáncer-específica a 5 años superior al 95%.
- La infiltración de la grasa perirrenal (estadio T3a), evaluada por la presencia de nodularidad en los planos grasos perirrenales en la TAC o RM, disminuye la supervivencia a 5 años a un 60-70%.
- El pronóstico de los quistes complejos depende de su clasificación. Los Bosniak II y IIF tienen un pronóstico excelente, mientras que el pronóstico de los Bosniak IV se asimila al del CCR sólido de igual tamaño.

Puntos clave para la práctica clínica

- **Multifasicidad es innegociable:** La evaluación de una masa renal sólida siempre requiere un protocolo de al menos tres fases: sin contraste, corticomedular y nefrográfica, siendo esta última la más sensible para la detección.
- **Bosniak 2019 es el estándar:** La actualización permite integrar los hallazgos de la RM y redefine estrictamente las medidas de septos y paredes, disminuyendo el número de lesiones clasificadas erróneamente como Bosniak III que terminaban en cirugías innecesarias.
- **El poder de la Difusión (DWI):** La Uro-RM con secuencias DWI es la herramienta resolutive para pacientes con contraindicación de contraste o alergias severas, ofreciendo mapas cuantitativos (ADC) para diferenciar benignidad de malignidad.
- **Planificación quirúrgica 3D:** El informe radiológico moderno no solo diagnostica, sino que mapea la anatomía vascular y la relación tumor-sistema colector, dictando la viabilidad de una nefrectomía parcial.
- **Diferenciación de grasa:** Identificar grasa macroscópica (<-20 UH en TAC) confirma casi unívocamente un

angiomiolipoma benigno; sin embargo, las calcificaciones en una lesión con grasa deben hacer sospechar un CCR invadiendo el seno renal u osificación intratumoral.

Bibliografía

1. Silverman SG, Pedrosa I, Ellis JH, Hindman NM, Schieda N, Smith AD, Remer EM, Shinagare AB, Curci NE, Raman SS, Wells SA. 2019. Bosniak Classification of Cystic Renal Masses, Version 2019: An Update Proposal and Needs Assessment. *Radiology*. 292: 475–488.
2. Ljungberg B, Albiges L, Abu-Ghanem Y, Bedke J, Capitanio U, Dabestani S, Fernández-Pello S, Giles RH, Hofmann F, Hora M, Klatte T. 2022. European Association of Urology Guidelines on Renal Cell Carcinoma: The 2022 Update. *European Urology*. 82: 399–410.
3. Roupřet M, Seisen T, Birtle AJ, Capitanio U, Cowan NC, Dobruch J, Dominguez-Escrig JL, Gakis G, Goolingen AV, Grimberg DC, Hagberg O. 2021. European Association of Urology Guidelines on Upper Tract Urothelial Carcinoma: 2020 Update. *European Urology*. 79: 62–79.
4. Schieda N, Davenport MS, Pedrosa I, Raza S, Pinho DF, Xi Y, Chandarana H. 2020. Multiparametric MRI of Solid Renal Masses: Principles, Techniques, and Clinical Applications. *AJR American Journal of Roentgenology*. 214: 1045–1058.
5. Roussel E, Capitanio U, Kutikov A, Oosterwijk E, Pedrosa I, Rowe SP, Van Poppel H, Ljungberg B. 2021. Novel Imaging Methods for Renal Mass Characterization: A Collaborative Review. *European Urology*. 81: 476–488.
6. Hötter AM, Mazaheri Y, Wibmer A, Zheng J, Moskowitz CS, Tickoo SK, Russo P, Hricak H, Akin O. 2020. Differentiation of Clear Cell Renal Cell Carcinoma from Other Renal Cortical Tumors by Use of Quantitative Multiparametric MRI. *AJR American Journal of Roentgenology*. 215: 1413–1421.
7. O'Connor SD, Silverman SG, Cross JR. 2018. The Value of Multiparametric Magnetic Resonance Imaging in the

- Evaluation of Indeterminate Renal Masses. *European Radiology*. 28: 1060–1071.
8. Kay FU, Pedrosa I. 2019. Imaging of Solid Renal Masses. *Radiologic Clinics of North America*. 57: 24–35.
 9. Panebianco V, Narumi Y, Altun E, Bochner BH, Efstathiou JA, Hafeez S, Huddart R, Kenigsberg AP, Lerner SP, Montironi R, Muglia VF. 2021. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Urothelial Carcinoma: A Comprehensive Review. *European Urology Oncology*. 4: 938–949.
 10. Hindman NM, Schieda N, Pedrosa I. 2020. Controversies in Imaging of Cystic Renal Masses. *Radiographics*. 40: 1684–1702.
 11. Barentsz JO, Weinreb JC, Verma S, Thoeny HC, Tempany CM, Shtern F, Padhani AR, Margolis D, Macura KJ, Haider MA, Cornud F. 2019. The Essential Role of MRI in the Prostate and Urogenital Imaging Protocols: Extrapolating Advances to Renal Pathology. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 50: 1713–1726.
 12. Kang SK, Huang WC, Pandharipande PV. 2020. Solid Renal Mass Biopsy vs. Empirical Surgery: A Value-Based Approach. *Radiology*. 296: 345–354.

Autores

Domenica Corina Mazzilli Drouet

Médico Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Médico Privado

Any Josette Llangari Recalde

Médico General Universidad Católica de Santiago de
Guayaquil
Médico General Consulta Privada

Gladys Maria Yagual Lucas

Médico Universidad de Guayaquil
Médico General Centro de Especialidades Yalumed
Servicios Medicos

Betzy Elizabeth Gaibor Pacheco

Médico Universidad de Guayaquil
Médico de Atención Primaria MSP

Maria Lastenia Barrios Villamar

Médico General Universidad de Guayaquil
Médico General en Funciones Hospitalarias Hospital
Enrique Ortega Moreira

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y LIMITACIÓN DE USO

La información contenida en esta obra tiene un propósito exclusivamente académico y de divulgación científica. No debe, en ningún caso, considerarse un sustituto de la asesoría profesional calificada en contextos de urgencia o emergencia clínica. Para el diagnóstico, tratamiento o manejo de condiciones médicas específicas, se recomienda la consulta directa con profesionales debidamente acreditados por la autoridad competente.

La responsabilidad del contenido de cada artículo recae exclusivamente en sus respectivos autores.

ISBN: **978-9942-591-38-8**

Wissentaal Quito, Ecuador

Marzo 2026

Editado en Ecuador

Toda forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra queda sujeta a autorización previa y expresa de los titulares de los derechos, conforme a lo dispuesto en la normativa vigente.

