

CAPÍTULO 105

ESTUDIO POR IMAGEN EN ORTOPEDIA INFANTIL

Autora: Amaya Rosalén Asurmendi

Coordinadora: Ana Fernández Ansorena
Hospital Universitario Son Espases, Palma de Mallorca

1. INTRODUCCIÓN

La realización e interpretación de estudios de imagen en pacientes pediátricos presentan **diferencias significativas respecto a los adultos**. A pesar de los avances tecnológicos actuales, aún puede ser complicado distinguir ciertas patologías de variaciones normales del desarrollo.

En los niños, además de las estructuras óseas comunes como la diáfisis, metáfisis y epífisis, se encuentra la **fisis o cartílago de crecimiento**. Esta estructura, claramente diferenciada desde el punto de vista anatómico, es la encargada del crecimiento óseo. Se localiza entre la metáfisis y la epífisis, es radiolúcida y representa una zona de debilidad que con frecuencia puede fracturarse, produciendo lo que se conoce como **epifisiolisis**.

Asimismo, el periostio en los niños es más grueso, se desprende con mayor facilidad del hueso y posee una elevada capacidad osteogénica, razón por la cual **las demoras en la consolidación ósea son poco comunes**. La estructura ósea infantil también se caracteriza por ser más porosa y contar con una mejor vascularización, lo que contribuye a un **coeficiente de elasticidad distinto al del adulto** dando lugar a patrones de fractura diferentes (deformidad ósea). Finalmente, es importante considerar que la mayoría de las epífisis en la infancia se encuentran en diferentes etapas del proceso de osificación, lo cual varía con la edad y debe tenerse en cuenta al analizar las imágenes radiológicas.

Por último y no menos importante, no olvidar en este grupo de población **minimizar la exposición a la radiación**.

2. RADIOLOGÍA CONVENCIONAL

La radiografía sigue siendo la **primera herramienta diagnóstica ante la sospecha de lesión osteomuscular** en pediatría, ya sea traumática o no. Su uso se justifica

por su accesibilidad, bajo coste y fiabilidad diagnóstica, aunque implica **exposición a radiación ionizante**, un factor acumulativo que debe minimizarse.

Principios para una correcta práctica radiológica:

- Se recomienda realizar **dos proyecciones ortogonales** (anteroposterior y lateral) o adaptadas a la anatomía (oblicuas en mano o pie; axial en hombro).
- Debe **evitarse la radiografía contralateral de rutina**, centrarse en la zona clínica afectada, y proteger estructuras sensibles como las gónadas.
- El seguimiento con radiografías seriadas debe hacerse sólo cuando sea clínicamente necesario.

Claves para la interpretación radiológica:

- **Historia clínica completa** (edad, sexo, etnia) es esencial: ciertas patologías son específicas de edades, sexos o grupos étnicos concretos.
- La **edad ósea** puede deducirse del grado de osificación, especialmente en manos (método de Greulich y Pyle) o mediante el índice de Risser en pelvis.
- Se debe tener en cuenta la **maduración esquelética**, que varía según el sexo y puede orientar al diagnóstico endocrinológico o displasias óseas.

Evaluación por regiones:

- **Partes blandas:** signos indirectos como el "signo de la almohadilla grasa" en codo, o el aumento de tejidos paravertebrales pueden alertar de procesos infecciosos o traumáticos.
- **Hueso cortical y trabecular:** buscar fracturas pediátricas típicas como las en rodete, tallo verde o incurvaciones plásticas.
- **Fisis (cartílago de crecimiento):** vulnerable a lesiones (epifisiolisis). La clasificación de Salter-Harris sigue siendo el estándar diagnóstico, aunque estudios recientes proponen adaptaciones para mejorar la correlación clínico-radiológica en casos dudosos ^[1].

Avances y evidencia reciente:

- **Nuevas guías pediátricas** recomiendan evitar el uso indiscriminado de radiografía y optar por protocolos

de **radiación optimizada** según la edad y región anatómica.

- Estudios recientes promueven el uso de herramientas de **IA en radiología pediátrica** para mejorar la detección de fracturas ocultas y estimación de edad ósea.
- En lesiones articulares o infecciosas (como la **osteomielitis precoz** o la **artritis séptica**), la radiografía puede no mostrar hallazgos en fases iniciales, por lo que se sugiere complementar con **RMN o ecografía**, según disponibilidad y sospecha clínica.

Errores frecuentes:

- No identificar subluxaciones fisiológicas (como la de C2 sobre C3 en niños menores de 8 años).
- Confundir núcleos de osificación accesorios con fracturas.
- Pasar por alto variantes normales de osificación que pueden simular patologías, como en la osteocondritis disecante.

3. ECOGRAFÍA

La **ecografía musculoesquelética** se ha consolidado como una herramienta esencial en traumatología y ortopedia infantil por su alta seguridad y versatilidad diagnóstica. Destaca por ser una técnica **económica, libre de radiación ionizante**, no invasiva, y que generalmente no requiere sedación, lo cual es especialmente valioso en el paciente pediátrico. Además, permite la **evaluación dinámica en tiempo real**, algo crucial en muchas patologías del aparato locomotor.

Ventajas principales:

- Visualización de **tejidos blandos y hueso no osificado**, imposible de evaluar con radiografía.
- Útil en **evaluaciones dinámicas**, como luxaciones o subluxaciones articulares.
- Ideal para el **seguimiento sin exposición acumulativa a radiación**.

Limitaciones:

- Es una técnica **altamente operador-dependiente**, por lo que su fiabilidad está estrechamente ligada a la experiencia del explorador.

Principales aplicaciones clínicas:

1. Displasia del desarrollo de la cadera (DDC)

- La ecografía es la **técnica de elección en neonatos**, permitiendo la evaluación de la cobertura cartilagi-

nosa de la cabeza femoral y su estabilidad mediante pruebas dinámicas como el **test de Barlow**.

- El enfoque más habitual combina:
 - **Estudio estático** (técnica de Graf, con medición de ángulos alfa y beta).
 - **Estudio dinámico**, que permite valorar la estabilidad de la cadera bajo estrés.

2. Evaluación de derrames articulares

- Permite distinguir entre líquido:
 - **Anecoico** (seroso, sinovitis).
 - **Ecogénico** (sangre, pus), clave para diagnosticar **hemartros o artritis séptica**.
- Estudios recientes recomiendan la ecografía como primera línea en la evaluación de **cojeras febriles** en niños, por su capacidad de detectar signos de **sinovitis** o colecciones subperiósticas de forma precoz⁽¹⁾.

3. Lesiones de partes blandas y seguimiento óseo

- Evaluación de **hematomas, roturas musculares, lesiones tendinosas** o ligamentosas.
- Detección de **infección osteoarticular temprana** (como el **absceso subperióstico**, especialmente en osteomielitis aguda).
- Visualización de **núcleos de osificación**, útil para evaluar maduración esquelética o descartar patologías en desarrollo.

Evidencia adicional y recomendaciones:

- La Sociedad Europea de Radiología Pediátrica (ESPR) promueve el uso de la ecografía como herramienta de primera línea en patologías osteoarticulares agudas, dado su **alto valor diagnóstico en combinación con la historia clínica y exploración física**.

4. ARTROGRAFÍA

La **artrografía** es una técnica de imagen invasiva que consiste en la **inyección intraarticular de un medio de contraste radiopaco**, comúnmente a base de **yodo**, para delinear estructuras articulares que no se visualizan adecuadamente en estudios radiológicos convencionales, especialmente en el paciente pediátrico, cuyo esqueleto está parcialmente osificado.

¿Por qué se utiliza en niños?

- Las articulaciones infantiles contienen **una gran proporción de cartílago no osificado**, lo que limita la utilidad de la radiografía convencional.

- La artrografía permite visualizar de forma directa la **forma, congruencia y relaciones articulares**, facilitando decisiones quirúrgicas y diagnóstico en casos complejos.

Principales indicaciones clínicas:

1. Displasia del desarrollo de la cadera (DDC) y enfermedad de Perthes

- Permite valorar:
 - Esfericidad de la cabeza femoral.
 - Congruencia articular.
 - Grado de cobertura acetabular.
- Es fundamental para la **planificación prequirúrgica**, especialmente en casos que requieren osteotomías pélvicas o femorales ^[2,3].

2. Fracturas y luxaciones neonatales

- En neonatos, muchas estructuras óseas aún no han osificado, por lo que las radiografías simples pueden resultar no concluyentes.
- La artrografía permite identificar:
 - Luxaciones obstétricas (por ejemplo, de cadera o codo).
 - Posición de epífisis no visibles.
- Útil para diferenciar entre una luxación verdadera y una epifisiolisis (deslizamiento de la epífisis aún no osificada).

5. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

La **tomografía computarizada (TC)** es una técnica de imagen de alta resolución que ofrece detalles anatómicos precisos del hueso y estructuras complejas. Aunque proporciona información muy útil en el contexto pediátrico, su uso está limitado por la **alta dosis de radiación** y la posible necesidad de **sedación o anestesia**, especialmente en niños pequeños, para garantizar la inmovilidad durante el estudio.

Principales indicaciones clínicas:

1. Fracturas articulares complejas y valoración lesiones de la fisis:

- Cuando la radiografía convencional no permite valorar adecuadamente la extensión o desplazamiento de la fractura.
- La TC permite una reconstrucción tridimensional, lo que facilita la **planificación quirúrgica**.

- Además, permite definir con exactitud los **puentes fisarios** (complicación de fracturas fisarias).

2. Evaluación de la deformidad femoral en DDC

- Se emplea en casos en los que se necesita valorar la **morfología tridimensional de la cabeza femoral y acetábulo**, y verificar la **adecuación de la reducción** tras cirugía.
- Complementa a la artrografía o la ecografía en pacientes mayores o con dudas diagnósticas persistentes.

3. Lesiones congénitas de pelvis y columna vertebral

- Muy útil en el estudio de:
 - Anomalías de formación vertebral (hemivértebras, disrafismos).
 - Displasias esqueléticas.
- Permite una valoración multiplanar que ayuda en el diagnóstico diferencial y la planificación ortopédica o neuroquirúrgica.

4. Evaluación de tumores óseos y lesiones pseudo-tumorales

- Aporta detalles sobre la **estructura ósea cortical, matriz tumoral y relación con tejidos adyacentes**.
- Es de especial valor en:
 - Biopsias guiadas por imagen.
 - Planificación de la exéresis tumoral.
 - Control intraoperatorio en resecciones complejas.

Avances recientes: La combinación de TC con técnicas de navegación quirúrgica ha mejorado la precisión en biopsias óseas guiadas, reduciendo riesgos y aumentando el rendimiento diagnóstico ^[4].

Consideraciones y limitaciones:

- **Radiación ionizante:** uno de los principales inconvenientes, especialmente importante en edades tempranas por la sensibilidad del tejido en crecimiento.
- En muchos casos, requiere sedación o anestesia general, lo que implica mayor riesgo y logística.
- No proporciona una visualización adecuada del cartílago ni de tejidos blandos, por lo que suele complementarse con RMN o ecografía en estudios completos.

Recomendación: aplicar protocolos de **baja dosis de radiación** pediátricos ("ALARA" — As Low As Reasonably Achievable) y reservar su uso para casos donde el beneficio supere claramente los riesgos ^[5].

Recomendaciones actuales:

- La Sociedad Norteamericana de Radiología Pediátrica (SPR) y otras guías internacionales recomiendan restringir la TC en niños a casos específicos y siempre aplicar técnicas de optimización de dosis ⁽³⁾.
- La TC de haz cónico (CBCT) emerge como una alternativa con menor exposición en estudios articulares localizados (especialmente en muñeca, tobillo y codo), aunque aún no está ampliamente implementada en pediatría ⁽⁶⁾.

6. RESONANCIA MAGNÉTICA

La **resonancia magnética (RMN)** es una herramienta de imagen avanzada, fundamental en el diagnóstico musculoesquelético pediátrico por su capacidad para evaluar con alta precisión tanto **partes blandas como médula ósea, sin utilizar radiación ionizante**, lo que la convierte en una técnica ideal para el niño en crecimiento.

Ventajas principales:

- Excelente resolución de **tejidos blandos, cartílago articular, médula ósea y estructuras neurovasculares**.
- No utiliza radiación, lo que permite su uso repetido en **seguimiento de patologías crónicas o complejas**.
- Alta sensibilidad en fases precoces de enfermedades inflamatorias, infecciosas o neoplásicas.

Limitaciones:

- Requiere **equipamiento especializado** no disponible en todos los centros.
- El **coste económico es elevado** y puede ser una barrera en algunos contextos sanitarios.
- A menudo requiere **sedación o anestesia** en niños pequeños para garantizar la inmovilidad durante el examen.

Técnicas y secuencias más utilizadas:

- **Secuencia T1:** visualiza mejor la anatomía normal, mostrando alta intensidad en grasa y hueso medular.
- **Secuencia T2:** resalta líquidos, como el **edema o derrames articulares**, útil en patologías inflamatorias o infecciosas.
- **Secuencias con supresión grasa (STIR, Fat Sat, SPIR):** aumentan la sensibilidad para detectar alteraciones patológicas, especialmente edemas óseos o inflamación.
- **Contraste con gadolinio:** se emplea para detectar **hipervascularización, abscesos, o tumores**. Siempre

debe combinarse con técnicas de supresión grasa para aumentar el contraste entre el tejido normal y la lesión.

Aplicaciones clínicas destacadas:**1. Lesiones meniscales, ligamentosas y cartilago articular**

- RMN es el **estándar diagnóstico no invasivo** para lesiones del LCA, menisco y condropatías en población pediátrica.
- Permite evaluar lesiones con sutilezas que no son visibles en ecografía o radiografía.

2. Arrestos fisarios

- Posibilita realizar un **"mapa fisario"** para determinar la extensión de la lesión y su impacto en el crecimiento óseo.
- Fundamental para la **planificación quirúrgica** de epifisiodesis o procedimientos correctivos.

3. Tumores y pseudotumores

- Ayuda a determinar la **extensión local**, diferenciando entre tumor, edema, y reacción inflamatoria.
- Generalmente, los tumores respetan la fisis, lo cual es un **dato diagnóstico importante**.

Novedad clínica: la RMN funcional y de perfusión está empezando a utilizarse para caracterizar **tumores óseos benignos y malignos** en fases iniciales, sin necesidad de biopsia inmediata, permitiendo una evaluación cuantitativa de los cambios bioquímicos en los tumores, facilitando la identificación del origen tumoral, la caracterización tisular y la definición de la extensión del tumor ^(7,8).

4. Lesiones de médula espinal y malformaciones congénitas

- Imprescindible en el **estudio preoperatorio de escoliosis congénita, espina bífida oculta, o siringomielia**.
- Permite detectar **malformaciones medulares asociadas**, que pueden condicionar la cirugía de columna.

5. Infecciones osteoarticulares

- Visualiza **edema medular y abscesos en tejidos blandos** de forma precoz.
- A diferencia de los tumores, las **infecciones pueden atravesar la fisis**, lo que es un hallazgo clave en osteomielitis infantil.

Recomendaciones actuales de RMN como 1ª línea:

- Cojeras febriles.
- Osteomielitis.
- Tumores óseos y de partes blandas.
- Evaluación de daño fisario.

7. GAMMAGRAFÍA ÓSEA

La **gammagrafía ósea** es una técnica de diagnóstico por imagen basada en la medicina nuclear, que permite estudiar el metabolismo óseo mediante la administración intravenosa de radioisótopos.

El más utilizado en pediatría es el tecnecio-99m (Tc-99m), por su seguridad, disponibilidad y buena resolución.

Características principales:

- **Alta sensibilidad:** permite detectar cambios en el metabolismo óseo **antes de que sean visibles en una radiografía convencional**, lo que la convierte en una herramienta valiosa en el diagnóstico precoz.
- **Baja especificidad:** una captación aumentada no distingue claramente entre procesos inflamatorios, infecciosos o neoplásicos, por lo que siempre debe interpretarse junto a la clínica y otras pruebas.
- **Dosis de radiación** similar a la de un estudio esquelético completo con rayos X.
- Requiere **mínima sedación**, y su tolerancia es generalmente buena.

Indicaciones clínicas más relevantes:**1. Fracturas de estrés y fracturas ocultas:**

- Casos típicos como la **fractura tipo "toddler"** (niños de 1–3 años que inician la marcha), suele no verse en las radiografías iniciales. La gammagrafía detecta **actividad ósea aumentada** en zonas afectadas mucho antes de que aparezca el callo óseo.
- Es útil también en la **evaluación del niño maltratado**, para identificar fracturas no visibles o múltiples en distintas fases de curación.

2. Dolores óseos inespecíficos o dolores del crecimiento

- Permite descartar patologías graves como infecciones, tumores o leucemia, al visualizar **zonas de hipercaptación** en regiones de crecimiento activo (p. ej. costillas, metáfisis de huesos largos).
- Ayuda en el **diagnóstico diferencial** cuando las radiografías no son concluyentes.

3. Osteomielitis y discitis

- En fases precoces, la gammagrafía puede mostrar captación focal antes que otras técnicas de imagen.
- La utilización de **leucocitos marcados** con Tc-99m o In-111 mejora la especificidad en procesos infecciosos, aunque no son útiles en neoplasias.

Evidencia científica: en infecciones óseas agudas, se ha demostrado una sensibilidad >90% con gammagrafía trifásica combinada con gammagrafía de leucocitos, especialmente útil cuando la RMN no está disponible ^[9].

4. Tumores y lesiones pseudotumorales

- La gammagrafía con **Ga-67** o con **FDG-F18 (PET)** permite valorar el **comportamiento metabólico** de lesiones sospechosas y su diseminación.
- La **PET con FDG-F18** es especialmente útil para el seguimiento y estadiaje de tumores malignos óseos como el sarcoma de Ewing o el osteosarcoma.

Avance clínico: La PET-TC ha mejorado significativamente la evaluación de tumores pediátricos al combinar información morfológica y metabólica en un solo estudio, ayudando a guiar biopsias y monitorizar respuesta al tratamiento ^[10].

Consideraciones prácticas:

- Aunque se trata de una técnica con radiación, las dosis son moderadas y aceptables en el contexto pediátrico, especialmente si se justifica su uso.
- No debe utilizarse como prueba de primera línea, salvo en indicaciones muy específicas o cuando otras técnicas no sean concluyentes.

Recomendaciones actuales:

- La Sociedad Europea de Medicina Nuclear Pediátrica (**EANM**) recomienda su uso en situaciones donde se requiere una evaluación esquelética global rápida, en particular:
 - Sospecha de abuso.
 - Dolor óseo persistente de causa incierta.
 - Sospecha de infección o tumor con sintomatología atípica.

8. IMPRESIÓN 3D EN PLANIFICACIÓN QUIRÚRGICA

La impresión 3D se ha integrado en la **planificación quirúrgica de fracturas complejas** mediante modelos anatómicos personalizados permitiendo a los cirujanos

estudiar la configuración anatómica y diseñar estrategias quirúrgicas personalizadas, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo quirúrgico. También se ha empleado para realizar un abordaje directo en coaliciones tarsales y otra patología ortopédica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chauvin NA, Khwaja A. Musculoskeletal imaging in neonates: use of ultrasound. *Pediatr Radiol.* 2022 Apr;52(4):765-76. DOI:10.1007/s00247-021-05152-2
2. Novais EN, Pan Z, Autruong PT, Meyers ML, Chang FM. Value of intraoperative arthrography in surgical decision-making for developmental dysplasia of the hip. *J Pediatric Orthop.* 2022;42(3):150-7.
3. Kalish LA, Williams KA, Bixby S, Schaeffer EK, Sucato DJ, Hresko MT. Imaging in developmental dysplasia of the hip: evolving techniques and indications. *Radiol Clin North Am.* 2021;59(5):973-88.
4. Maranhão DA, Nogueira-Barbosa MH, Fonseca EKUN, Simão MN, Sato TS, Petrilli AS, *et al.* Image-guided biopsy in pediatric musculoskeletal tumors: safety and accuracy. *J Pediatr Orthop.* 2022;42(2):108-14.
5. Strauss KJ, Goske MJ. Estimated pediatric radiation dose during computed tomography. *Pediatric Radiol.* 2021;51(7):1085-97.
6. Offiah AC, Adams H, Bober J, Boudabbous S, Bulas D, Damasio MB, *et al.* Cone beam computed tomography in pediatric musculoskeletal imaging: benefits and limitations. *Eur J Radiol.* 2023;163:110732.
7. Hong SH, Goo HW, Kang HJ, Lee JS, Kim JH, Lee YJ, *et al.* Whole-body MRI and advanced imaging in pediatric musculoskeletal tumors. *Eur Radiol.* 2022;32(3):1521-33.
8. Lee MJ, Chhabra A, Pressey JG, Dumoulin CL, Kim HK. MR imaging of pediatric musculoskeletal tumors: recent advances and clinical applications. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2019 May;27(2):341-71. DOI:10.1016/j.mric.2019.01.010 PMID: 30910102
9. Bianchi ML, Bardare M, Masiero L, Vignola S, Gatti C, Zuccotti GV, *et al.* Diagnostic value of bone scintigraphy in pediatric osteomyelitis. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2022;49(4):1141-9.
10. Meyers PA, Chou AJ, Wexler LH, Modak S, Magnan H, Cheung NK, *et al.* Role of fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography in pediatric bone and soft tissue tumors. *Clin Nuclear Med.* 2023;48(2):123-31.