

# DESARROLLO Y MADURACIÓN NORMAL DE LA MÉDULA ÓSEA, VALORACIÓN POR RESONANCIA MAGNÉTICA

## Normal Development and Maturation of Bone Marrow Assessment by Magnetic Resonance Imaging

María Antonieta Londoño A.<sup>1</sup>  
 Juana María Vallejo A.<sup>2</sup>  
 Ana Cristina Manzano D.<sup>3</sup>



### Palabras clave (DeCS)

Médula ósea  
 Huesos  
 Imagen por resonancia magnética

### Key words (MeSH)

Bone marrow  
 Bone and bones  
 Magnetic resonance imaging

### Resumen

La maduración ósea ocurre de forma ordenada y predecible. Puede documentarse por medio de resonancia magnética incluso antes de que ocurran cambios histológicos, por lo cual es importante su adecuado conocimiento y caracterización.

### Summary

Skeletal maturation occurs in an orderly and predictable manner. It can be documented by Magnetic Resonance Imaging even before histological changes occurs, so the importance of adequate knowledge and characterization must be stated.

### Introducción

El desarrollo y la maduración del esqueleto en los niños es un proceso dinámico (1); la conversión de la médula ósea ocurre de manera predecible, ordenada, simétrica y siguiendo un patrón. Existen ciertos cambios fisiológicos que pueden documentarse por medio de resonancia magnética (RM) y que deben diferenciarse de procesos patológicos.

### Histología

Conocer la composición celular del tejido óseo es fundamental para comprender el comportamiento en imágenes de resonancia magnética:

En la periferia se encuentra el *hueso compacto o cortical*.

En el centro se localiza el *hueso esponjoso*: Está constituido por trabéculas que sirven de soporte arquitectural y depósito mineral. Entre las trabéculas se localiza la médula ósea (figura 1).

La médula ósea es un órgano complejo que contiene múltiples células en proceso de diferenciación. En

respuesta al estímulo de diversas hormonas, citoquinas y factores de crecimiento, las células de la médula ósea son susceptibles de proliferar en el proceso normal de hematopoyesis.

De esa misma manera, ante el estímulo de noxas como medicamentos, infecciones, radiación, toxinas, déficit nutricional o neoplasias el proceso de proliferación celular puede suprimirse y entrar en un estado patológico.

### Composición de la médula ósea

**Médula ósea roja:** Está constituida por un 60 % de células hematopoyéticas y un 40 % de adipocitos, su composición química es de 40 % grasa, 40 % agua y 20 % proteínas. Es la encargada de la hematopoyesis y presenta una rica vascularización.

**Medula ósea amarilla:** Está constituida casi en su totalidad por adipocitos (95 %), y un 5 % de células hematopoyéticas, siendo su composición química 80 % grasa, 15 % agua y 5 % proteínas. Su función es desconocida. Está pobremente vascularizada en comparación con la médula ósea roja (figura 2).



<sup>1</sup>Residente de Radiología de tercer año. Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas del Hospital Universitario San Ignacio y Facultad de Medicina Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup>Radióloga. Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas del Hospital Universitario San Ignacio. Profesora asistente de la Facultad de Medicina Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

<sup>3</sup>Radióloga. Departamento de Radiología e Imágenes Diagnósticas Hospital Universitario San Ignacio. Profesora asociada de la Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

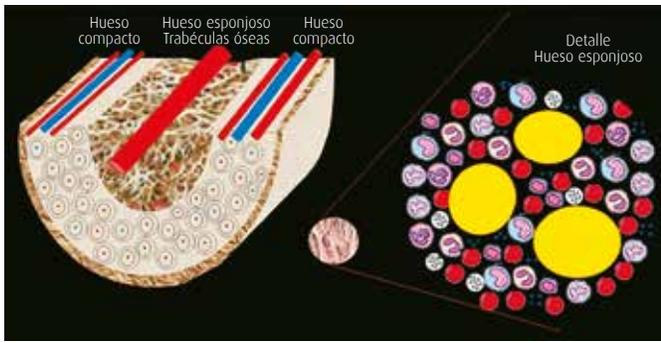


Figura 1. Corte transverso y longitudinal de un hueso largo que permite detallar la estructura ósea.

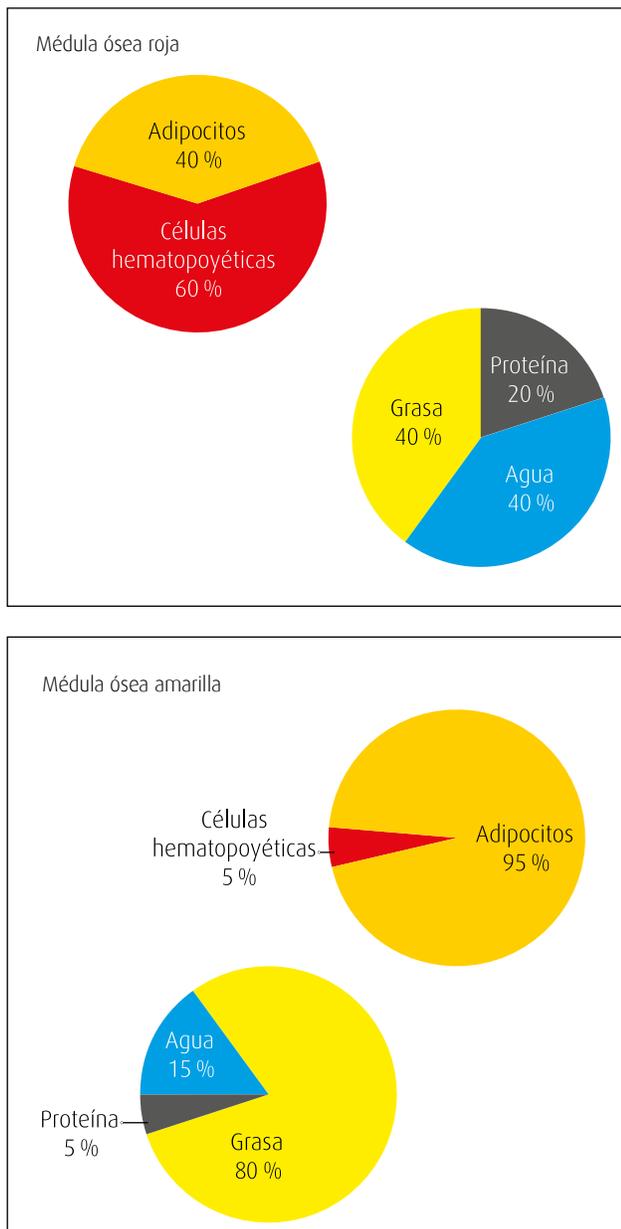


Figura 2. Composición de la médula ósea roja y amarilla

## Comportamiento magnético

Debe reconocerse de forma apropiada el comportamiento magnético normal, tanto de la médula ósea roja como de la amarilla, para estar en capacidad de reconocer procesos fisiológicos y patológicos (2).

Para ilustrar cómo es el comportamiento magnético de la médula ósea puede tomarse como ejemplo una RM obstétrica, en donde se puede comparar la médula ósea del feto (que es predominantemente roja) y la médula ósea de la madre (que es en su mayoría grasa) (figura 3).

En secuencias con información T2, la médula roja presenta también una señal menor que la médula grasa, pero la diferencia entre la médula grasa y la hematopoyética es menos llamativa que en secuencias con información T1 (figura 4).

La *médula grasa* presenta señal alta en la mayoría de secuencias, pudiendo anularse mediante secuencias de supresión grasa. En secuencias con información T1, la médula grasa presenta una señal análoga a la grasa subcutánea (figura 5). Por la alta sensibilidad de la RM para la detección de diferencias en la composición de la médula ósea, mediante esta técnica se puede localizar más tempranamente el componente graso, en comparación con estudios histológicos (figura 6).

Desde hace aproximadamente tres décadas, se han realizado estudios teniendo en cuenta el desplazamiento químico en fase y fuera de fase en secuencias de resonancia magnética del tipo eco de gradiente para evaluar la médula ósea. Se basa en la composición química de la médula ósea —grasa, agua y células, soportadas por estromas—, la cual demuestra una pérdida de su señal en fuera de fase comparada con imágenes en fase cuando hay proporciones similares de médula grasa y agua, las cuales se cancelan entre sí. Lo anterior permite determinar si existen procesos patológicos, como tumores, en donde la médula ósea grasa ha sido reemplazada, por lo cual se pierde la proporción grasa/agua y no ocurre pérdida de señal en imágenes en fuera de fase (3).

## Conversión medular

### Edad fetal-Recién nacido

En la edad fetal, la diáfisis y metáfisis de los huesos largos tienen baja señal en secuencias con información T1 porque predomina la médula ósea roja, mientras que las epífisis que contienen abundante cartílago, muestran señal intermedia en secuencias con información T1 (figura 7a). Tan pronto como las epífisis empiezan a osificarse, aparece la señal de la médula grasa que se hace evidente en los centros de osificación como áreas de alta señal en secuencias con información T1 (figura 7b). Existe también una alta señal que es característica de las epífisis, falanges y metatarsianos por el alto contenido de agua (figuras 8 y 9).

### 1 a 10 años

Cerca al final del primer año de vida se inicia la conversión medular en las falanges de las manos y de los pies, la cual se completa alrededor del primer año. Adicionalmente en esta edad comienza la conversión en las diáfisis femorales y, posteriormente, en los demás huesos largos (figuras 10 a y 11).

Al completar los 10 años de edad, la médula ósea grasa ocupa la mayor parte de las regiones diafisarias de las extremidades superiores, inferiores y del cráneo, y persiste la médula roja solo en las metáfisis. Esto se evidencia en la RM como una relativa alta señal en las diáfisis con una intermedia a baja señal en las metáfisis en secuencias con información T1.

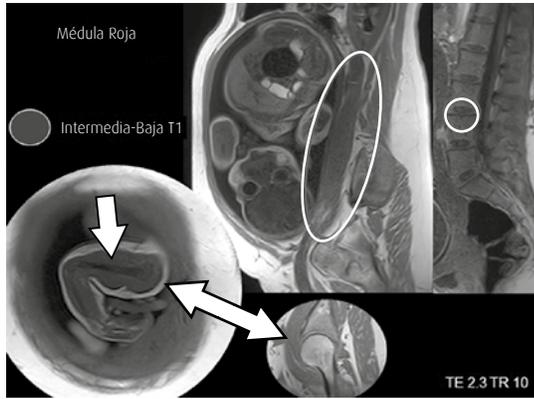


Figura 3. En las secuencias con información T1: magnificación, brazo del feto, presenta una señal intermedia a baja. A pesar de que la médula roja contiene algo de grasa, su alto contenido celular resulta en una relativa baja señal comparada con la médula ósea grasa (de la cabeza femoral de la madre), pero generalmente más alta que la del músculo o de los discos intervertebrales (elipses).

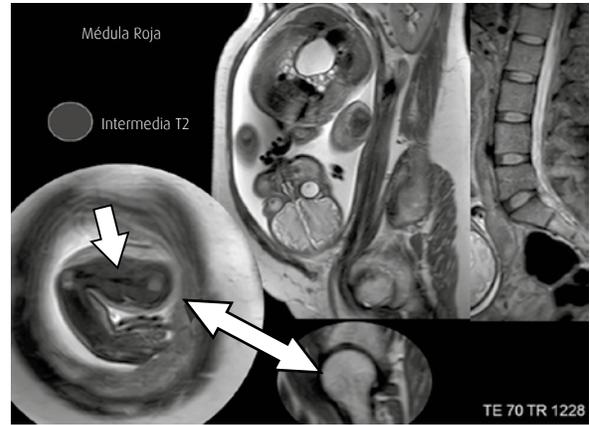


Figura 4. RM obstétrica secuencias con información T2. La flecha sencilla indica la señal intermedia de la médula ósea roja del feto en secuencias con información T2, la flecha doble la compara con la médula ósea de la cabeza femoral del adulto, que es amarilla, por lo cual su intensidad de señal es alta.

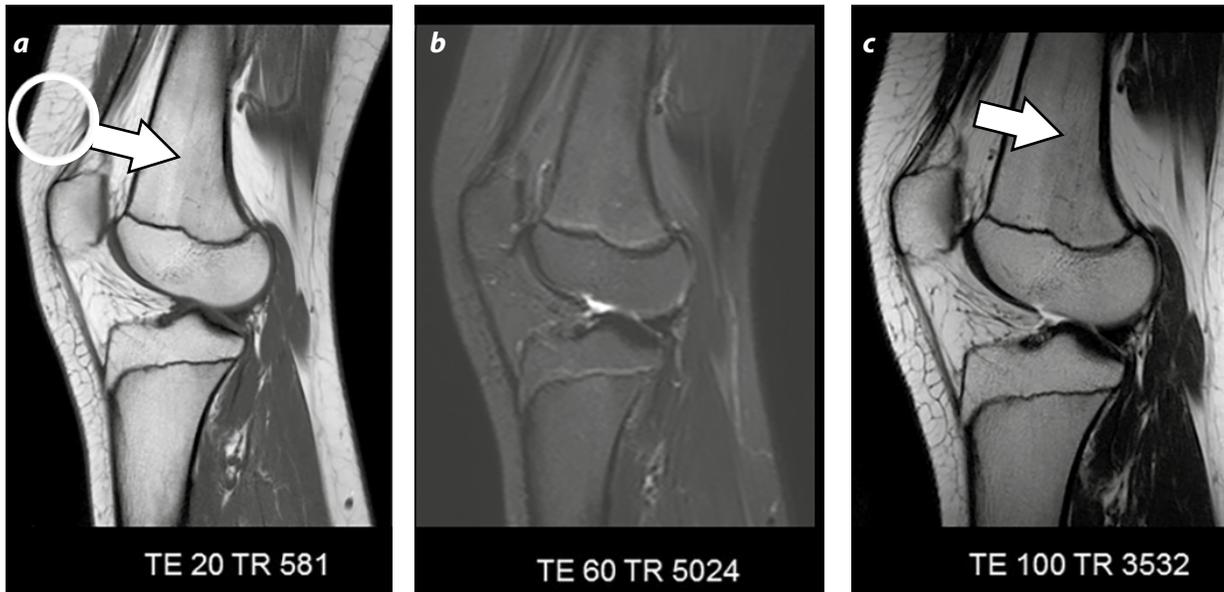


Figura 5. a) RM con información T1. (b) STIR. (c) *Fast Spin Eco* con información T2. Niña de 14 años de edad. En secuencias con información T1 la médula grasa presenta una señal análoga a la de la grasa subcutánea (círculo y flecha) y su señal se anula mediante secuencias de supresión grasa (RM del medio).

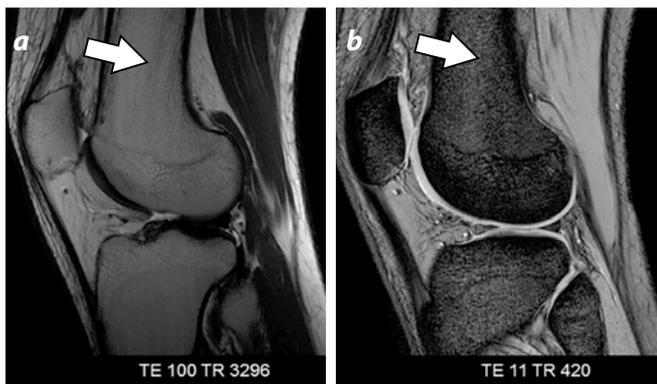


Figura 6. a) Ejemplo de médula ósea grasa, que demuestra señal intermedia-alta en *Fast Spin Eco* con información T2. b) En eco de gradiente la señal varía en función de la cantidad de trabéculas óseas.

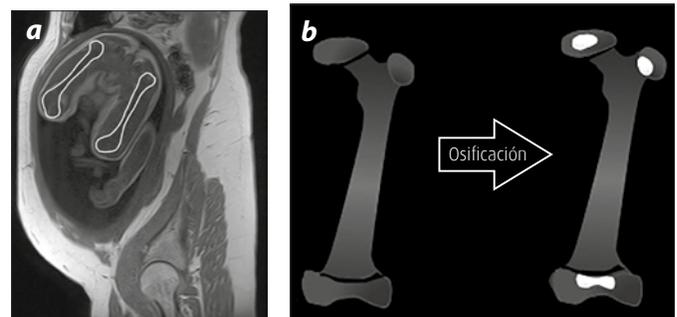


Figura 7. a) En los fetos, los huesos tienen una señal baja en secuencias con información T1 debido a la señal de la médula ósea roja. b) Más adelante, en la niñez, los centros de osificación demuestran una señal alta en secuencias con información T1.

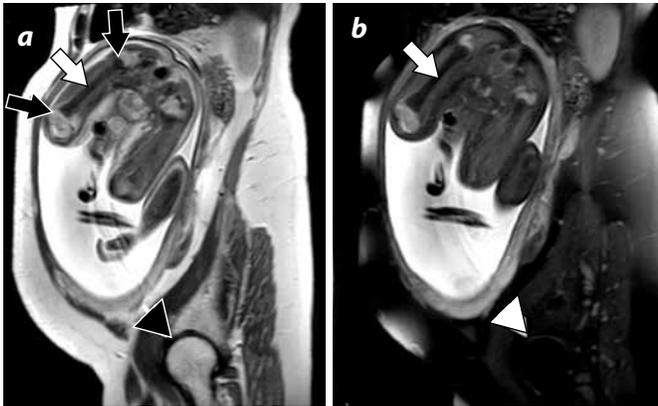


Figura 8. RM obstétricas con información T2 sin saturación (a) y con saturación grasa (b). En el feto predomina la médula ósea roja en sus fémures (flecha blanca), los cuales muestran señal intermedia a baja, las epífisis que no se encuentran aún osificadas, demuestran alta señal dada la presencia de cartílago con abundante cantidad de agua (flechas negras). Si se compara con las cabezas femorales de la madre (cabeza de flecha negra), en las cuales predomina la médula ósea amarilla, se observa como la señal se suprime en las secuencias con información en T2 con saturación grasa (cabeza de flecha blanca).

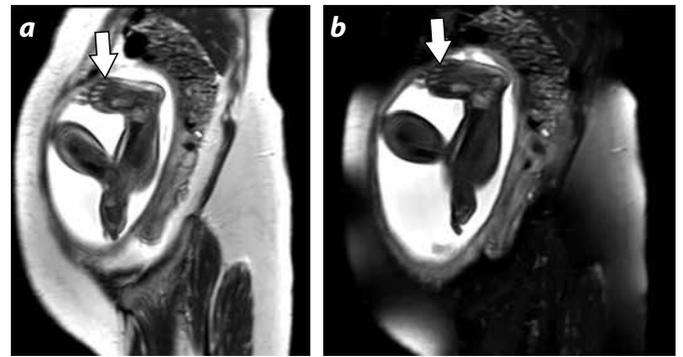


Figura 9. Las falanges y metatarsianos contienen abundante cartílago, por lo cual su señal es alta en las secuencias con información T2 (a) y su intensidad de señal no varía de forma significativa en las secuencias con supresión grasa (b).

### Factores adicionales para considerar

Existen diferencias en la maduración ósea de acuerdo con el sexo. Es más precoz en las niñas (figura 12).

En la comparación de RM de pacientes del mismo sexo y la misma edad, se pueden encontrar diferencias, es por esto que la interpretación de los estudios debe hacerse de manera individual (figura 13).

Adicionalmente deben tenerse en cuenta los factores técnicos en la interpretación del estudio (figura 14). Es fundamental establecer los parámetros correctos en los protocolos para lograr una adecuada adquisición de las imágenes y, de igual forma, reconocer correctamente cada una de las secuencias para no interpretar erróneamente lesiones que no lo son, por ejemplo, no debe confundirse una secuencia STIR en donde la médula ósea roja puede tener alta intensidad con una secuencia potenciada T1 con gadolinio donde algunas lesiones pueden realzar y en los dos casos su señal es alta.

Finalizando la etapa de 1 a 10 años de edad, se observa una completa osificación de los centros, pero las fisis permanecen abiertas (figura 15).

La conversión en el esqueleto axial ocurre poco después. En la primera década persiste la médula ósea roja en la columna vertebral, en el tórax y en la pelvis (1). La conversión medular se presenta posteriormente con un patrón menos predecible que en el esqueleto apendicular (4,5) (figuras 16 a, b y c).

#### 10 a 25 años

De los 10 a los 25 años de edad, la señal de la médula grasa predomina en las extremidades, pero queda médula ósea roja residual en la metafisis del fémur y del húmero. Esto se evidencia en la RM como una señal más alta en las diáfisis en las secuencias con información T1 (5,6) (figuras 10 b, 17, 18 y 19).

#### Mayores de 25 años

A los 25 años de edad se alcanza el patrón de la médula ósea del adulto en RM, se observa señal de médula roja en el esqueleto axial, en el esternón, en las costillas, en el fémur y en el húmero proximal. Las epífisis están separadas de las diáfisis por una banda de baja señal en secuencias con información T1 correspondiente al cartílago de crecimiento, pero persiste una fina línea residual cuando este se cierra (5) (figura 10 c).

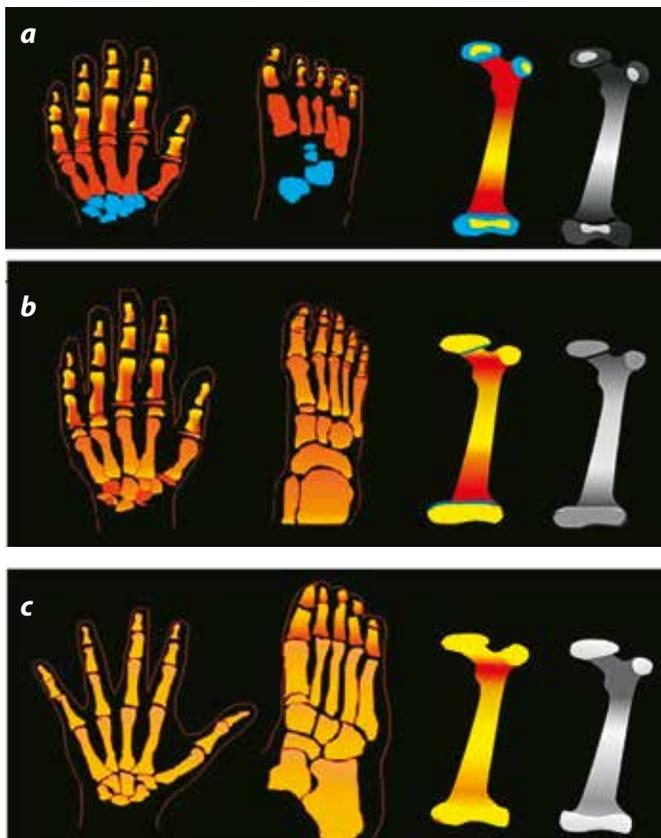


Figura 10 a). Esquemas que representan el comportamiento de la médula en las manos, en los pies y en el fémur en los niños entre 1 y 10 años de edad. b) Esquemas que representan el comportamiento de la médula en las manos, en los pies y en el fémur en personas de 10 a 25 años de edad. c) Esquemas que representan el comportamiento de la médula en las manos, en los pies y en el fémur en personas mayores de 25 años de edad. Las imágenes de la derecha representan el comportamiento en RM con información T1.



Figura 11. En estos cortes coronales de RM en secuencias densidad de protones, STIR y con información T2, se observa cómo finalizando el segundo año de vida, el centro de osificación compuesto por médula ósea amarilla ocupa la mayor parte de las epifisis (flecha blanca) y aún permanecen abiertas las fisas (flecha negra).

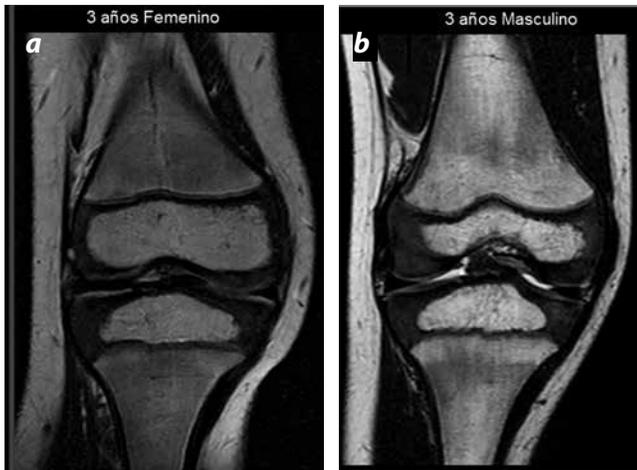


Figura 12. RM con información T2. Cortes coronales de dos pacientes con la misma edad, que demuestran que la maduración ósea en las niñas es más rápida durante la primera década de la vida.



Figura 13. RM en cortes sagitales: a) Gradiente de eco con información T2 y c) TSE con información T2. RM en cortes coronales: b) Con información T1 y STIR. d) TSE DP y STIR. Imágenes de dos niños de 4 años de edad, el primero de ellos con una rodilla normal (a y b) y el segundo de ellos (c y d) con una fractura Salter Harris tipo II en la metafisis distal del fémur (flecha). Se demuestran diferencias significativas en la maduración ósea de estos dos pacientes.

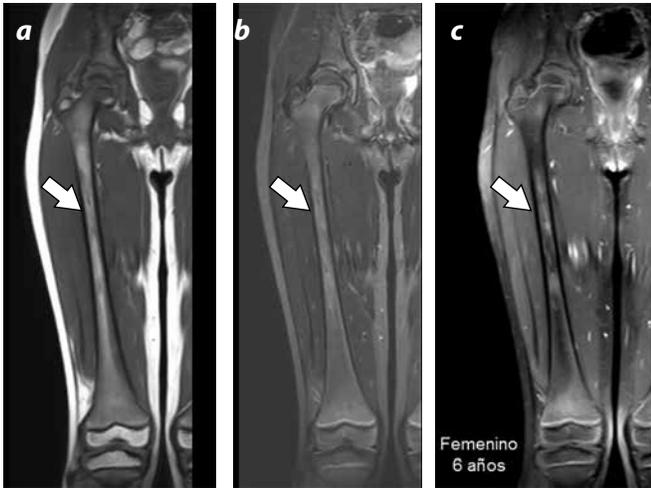


Figura 14. RM de fémur de una niña de 6 años de edad, sana, donde hay una aparente heterogeneidad en la intensidad de señal de la médula ósea de la diáfisis (flecha), que podría confundirse con patología si no se tiene en cuenta que la adecuada adquisición de las imágenes puede estar condicionada por factores técnicos que se deben corregir.

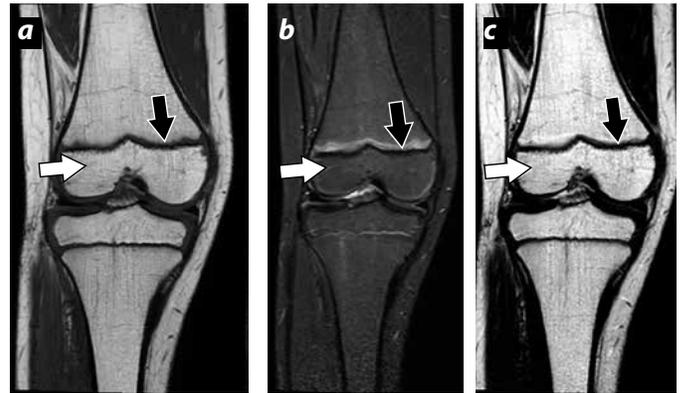


Figura 15. RM, cortes coronales, secuencias con información T1, STIR y con información T2, de una niña de 8 años de edad, donde se observan los centros de osificación completamente desarrollados (flecha blanca). Las fisas permanecen abiertas (flecha negra).

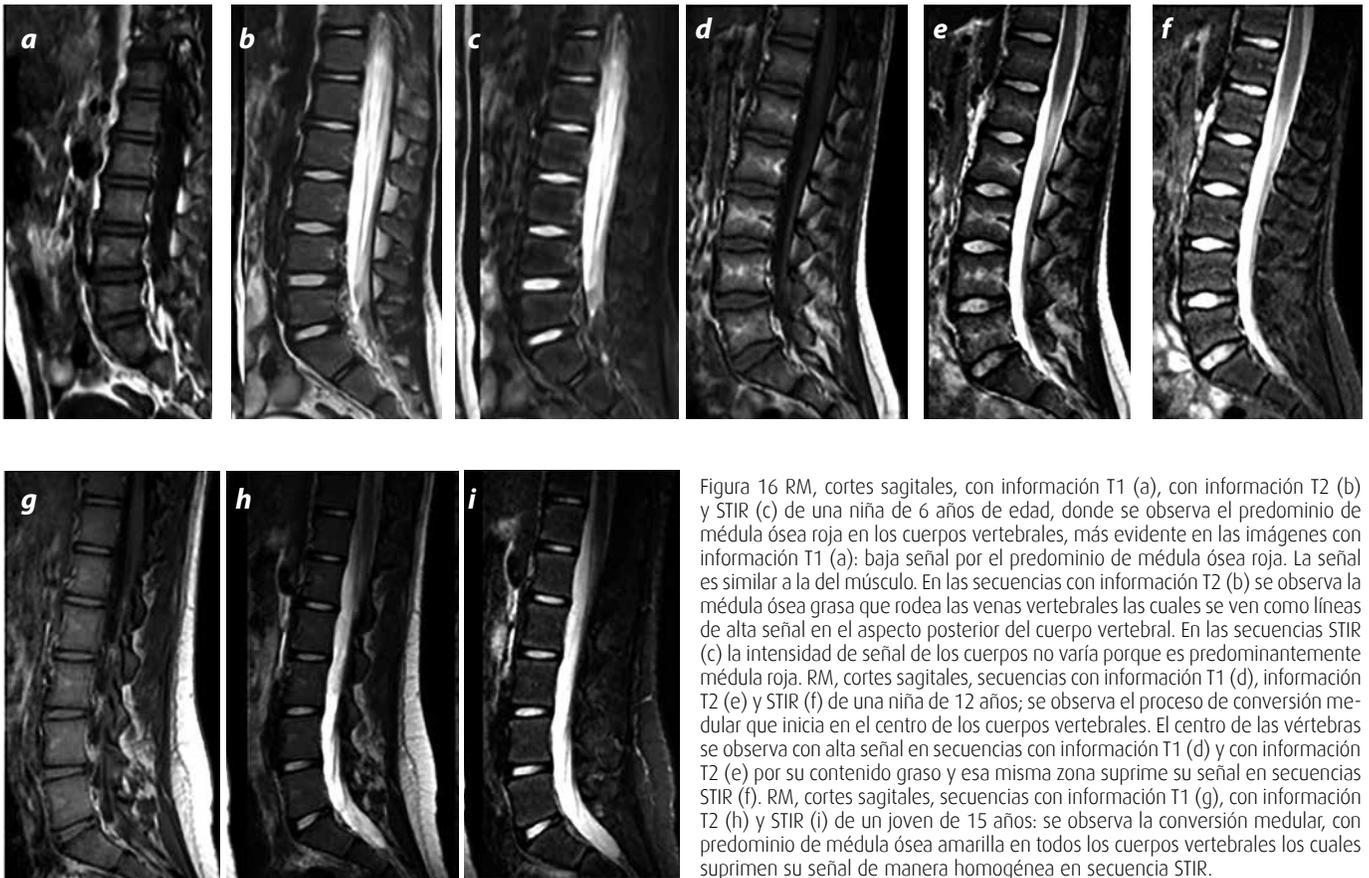


Figura 16 RM, cortes sagitales, con información T1 (a), con información T2 (b) y STIR (c) de una niña de 6 años de edad, donde se observa el predominio de médula ósea roja en los cuerpos vertebrales, más evidente en las imágenes con información T1 (a): baja señal por el predominio de médula ósea roja. La señal es similar a la del músculo. En las secuencias con información T2 (b) se observa la médula ósea grasa que rodea las venas vertebrales las cuales se ven como líneas de alta señal en el aspecto posterior del cuerpo vertebral. En las secuencias STIR (c) la intensidad de señal de los cuerpos no varía porque es predominantemente médula roja. RM, cortes sagitales, secuencias con información T1 (d), información T2 (e) y STIR (f) de una niña de 12 años; se observa el proceso de conversión medular que inicia en el centro de los cuerpos vertebrales. El centro de las vértebras se observa con alta señal en secuencias con información T1 (d) y con información T2 (e) por su contenido graso y esa misma zona suprime su señal en secuencias STIR (f). RM, cortes sagitales, secuencias con información T1 (g), con información T2 (h) y STIR (i) de un joven de 15 años: se observa la conversión medular, con predominio de médula ósea amarilla en todos los cuerpos vertebrales los cuales suprimen su señal de manera homogénea en secuencia STIR.

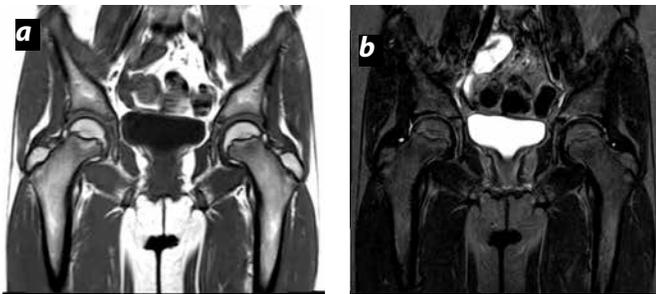


Figura 17. RM de pelvis de una niña de 11 años. Se observa escasa médula ósea roja residual en la metafisis del fémur en secuencia con información T1(a), y hay una adecuada supresión de la médula grasa en secuencia STIR (b).



Figura 18. RM de rodilla de una niña de 14 años de edad, corte sagital, secuencias con información T1 (a) STIR (b) y con información T2 (c). Se observa predominio de médula ósea grasa y sus fisis en proceso de cierre.



Figura 19. RM de rodilla de un joven de 20 años de edad, cortes sagitales en secuencia densidad de protones TSE (a) y secuencias con información T2 (b). Se observa el claro predominio de médula ósea amarilla y las fisis ya se encuentran cerradas.

## Conclusiones

Es fundamental reconocer el patrón normal de conversión medular en la edad pediátrica de forma fisiológica, para estar en capacidad de identificar patologías en esta población. Para lograrlo es necesario aprender a diferenciar los procesos de desarrollo normal por sexo y edad, y, además, reconocer las diferentes secuencias en RM, y los potenciales artificios que puedan generarse, lo cual permite en algunos casos diferenciar pacientes normales de verdaderos enfermos.

## Referencias

1. Laor T, Jaramillo D. MR imaging insights into skeletal maturation: What is normal? *Radiology*. 2009;250:28-38.
2. Del Cura JL, Pedraza S, Gayete A. *Radiología esencial*. Sociedad española de radiología médica. Madrid: Médica Panamericana; 2010.
3. Dreizin D, Ahlawat S, Del Grande F, et al. Gradient-echo in-phase and opposed-phase chemical shift imaging: Role in evaluating bone marrow. *Clin Radiol*. 2014;69:648-57.
4. Siegel MJ. MRI of bone marrow [internet]. s. f. [citado 2014 nov. 15]. Disponible en: [www.arrs.org/shopARRS/products/pdf.cfm?theFile=s06p...pdf](http://www.arrs.org/shopARRS/products/pdf.cfm?theFile=s06p...pdf)
5. Wang DT. Division of musculoskeletal imaging. Wilford Hall Ambulatory Surgical Center, San Antonio, TX
6. Wang DT. Magnetic Resonance Imaging of Bone Marrow: A Review. Part I. *J Am Osteopath Coll Radiol*. 2012;1:2-12.

## Correspondencia

María Antonieta Londoño  
Hospital Universitario San Ignacio  
Carrera 7 # 40-62  
Bogotá, Colombia  
mariantol@hotmail.com

Recibido para evaluación: 9 de diciembre de 2014  
Aceptado para publicación: 27 de febrero de 2015