

# UTILIDAD DE LAS SECUENCIAS FUNCIONALES POR RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE LOS TUMORES ÓSEOS Y DE PARTES BLANDAS. REVISIÓN IMAGINOLÓGICA



## Palabras clave (DeCS)

Imagen por resonancia magnética  
Difusión  
Neoplasias óseas

## Key words (MeSH)

Magnetic resonance imaging  
Diffusion  
Bone neoplasms

## Difusion and Functional Sequences: Utility in the Study of Bone and Soft Tissue Tumors. Pictorial Review

Catalina Mejía<sup>1</sup>  
Javier Carrascoso Arranz<sup>2</sup>  
Mauricio Estrada-Castrillón<sup>3</sup>  
Patricia Eugenia Gil Serrano<sup>4</sup>  
Gabriel Varela<sup>5</sup>

### Resumen

La resonancia magnética es la técnica de imagen de elección para diagnosticar, caracterizar, estadificar, realizar el seguimiento y valorar la respuesta al tratamiento de los tumores musculoesqueléticos. Para estos fines se utilizan las secuencias convencionales. Desde hace algunos años se han comenzado a implementar nuevas técnicas avanzadas, como la secuencia en fase y fase opuesta, difusión, perfusión y espectroscopia, que en conjunto se denominan técnicas funcionales, las cuales proporcionan información más específica del comportamiento, fisiología, metabolismo y biología molecular del tumor. Estas secuencias son no invasivas, aportan información adicional cualitativa, cuantitativa, metabólica y vascular por lo que deberían utilizarse de manera rutinaria en el momento de realizar el diagnóstico y, especialmente, en el seguimiento de los tumores óseos y de partes blandas. En este artículo se revisa la técnica de dichas secuencias, particularmente la secuencia de difusión, mediante casos ilustrativos de nuestros hospitales: Hospital Pablo Tobón Uribe y Hospital Universitario Quirón Salud de Madrid. También se revisarán las aplicaciones e importancia de un análisis combinado de estas nuevas herramientas, que aportarán información adicional para adecuada caracterización, enfoque diagnóstico y respuesta al tratamiento de las lesiones tumorales en el sistema musculoesquelético.

<sup>1</sup>Médica radióloga, Hospital Pablo Tobón Uribe. Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Jefe Asociado de Diagnóstico por la Imagen, Hospital Universitario Quirónsalud, Madrid, España. Profesor Asociado Universidad Europea de Madrid. España.

<sup>3</sup>Médico radiólogo Hospital Pablo Tobón Uribe. Profesor de Radiología Osteomuscular de la Universidad CES, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

<sup>4</sup>Médica residente de radiología, Universidad CES. Medellín, Colombia.

<sup>5</sup>Patólogo oncólogo, Hospital Pablo Tobón Uribe. Medellín, Colombia.

## Summary

Magnetic resonance imaging (MR) is the preferred technique for the diagnosis, characterization, staging, follow-up and assessment of response to treatment of musculoskeletal tumors. Conventional sequences help to classify these lesions. Recently new evolving functional MR sequences with advanced techniques have been implemented, such as phase sequence, opposite phase, diffusion, perfusion and spectroscopy, which provide specific information about the behavior, physiology, metabolism and molecular biology of the tumor. These sequences are non-invasive and provide additional qualitative, quantitative, metabolic and vascular information, making them important for the diagnosis and monitoring of bone and soft tissue tumors. This article reviews the technique of these sequences, particularly the diffusion technique, using illustrative cases from the Hospital Pablo Tobon Uribe (Medellin – Colombia) and the University Hospital Quirón Salud (Madrid – Spain). We aim to review the utility and importance of a combined analysis of these new tools, which will provide additional information for adequate characterization, diagnosis and response to treatment of tumor lesions in the musculoskeletal system.

## Introducción

La resonancia magnética (RM) cuenta con una excelente resolución, contraste tisular y es la técnica de oro para el diagnóstico, estadificación preoperatoria y valoración de la respuesta al tratamiento de los tumores óseos y de partes blandas (1), sin olvidar que la radiografía simple es el paso previo a toda RM (2).

Entre las nuevas secuencias avanzadas se incluyen: secuencias de desplazamiento químico en fase y fase opuesta (FFO), que determinan la existencia de grasa microscópica tumoral. La difusión (DWI), que valora el movimiento aleatorio del agua con un análisis cualitativo y cuantitativo de la celularidad e integridad de la membrana celular. La espectroscopia (MRSI), que refleja el comportamiento metabólico tumoral, del cual, el metabolito más importante es la colina (3) —un marcador de agresividad, dado por el recambio celular, que se encuentra elevado en tumores con alto índice mitótico—, y, finalmente, las secuencias dinámicas con contraste endovenoso (DCE), que evalúan el grado de angiogénesis y vascularización tumoral.

## Secuencias funcionales

**Secuencias de desplazamiento químico:** La médula ósea normal está compuesta por grasa, por lo que en secuencias en fase presenta una señal intermedia, y fuera de fase, caída homogénea de la señal.

Cuando la médula es reemplazada por lesiones tumorales no existe una caída homogénea de la señal por infiltración medular. En caso de edema, fracturas osteopénicas o recambio medular, la grasa medular no estará afectada y existirá una caída de señal menor a la normal en la secuencia en fuera de fase (figura 1).

**Espectroscopia:** Permite el estudio del metabolismo *in vivo* y proporciona información bioquímica no invasiva de los tejidos. La espectroscopia de hidrógeno (1H) o protón, es la técnica más empleada en la práctica clínica. El metabolito más útil detectado en tumores musculoesqueléticos es la colina, que participa en la formación de la estructura de los fosfolípidos de las membranas celulares, y es un marcador de actividad proliferativa. Para su cálculo se colocan ROI (área de interés, por las iniciales en inglés de *region of interest*) en la parte sólida tumoral, evitando zonas calcificadas, hemorrágicas o con necrosis (4). Cuando hay un aumento del recambio de la membrana celular, existe un aumento de los niveles de colina (figura 2).

**Secuencias dinámicas con contraste endovenoso y perfusión:** Se realiza con secuencias eco gradiente en varias fases, posterior a la administración de medio de contraste endovenoso (figura 3). El análisis semicuantitativo se realiza valorando subjetivamente el realce y el cambio de intensidad, el análisis cualitativo se hace mediante ROI con el fin de generar curvas de realce, las cuales se clasifican como: tipo I, realce progresivo; tipo II, realce intenso; meseta y tipo III, realce intenso y lavado posterior (5).

**Secuencias de difusión:** Utiliza la propiedad física que describe el movimiento aleatorio microscópico de las moléculas de agua en espacios intracelular, transcelular, intersticial e intravascular, en respuesta a energía térmica (movimiento browniano) (6-8). Emplea secuencias de pulso sensibles a pequeños movimientos de las moléculas del agua a nivel microscópico y se ve afectada por las propiedades biofísicas del tejido, como la celularidad tisular (densidad celular, proporción núcleo-citoplasma), la integridad de la membrana celular, el espacio extracelular (estroma) del tumor y la perfusión tisular.

Las secuencias de difusión que más se usan son las EPI (Echo Planar Imaging) (8-11), FAST, y tienen menos artefactos de movimiento; sin embargo, tienen más artefactos de susceptibilidad en interfases hueso-tejido blando y fundamentalmente en interfases aire-tejido blando.

Usualmente las imágenes de difusión se obtienen utilizando dos valores de  $b$ , uno con valores de  $b$  entre 0-100 s/mm<sup>2</sup> y otro  $b$  mayor de 100 s/mm<sup>2</sup>, y se obtienen simultáneamente 2 imágenes con esos 2 valores  $b$ . A mayor valor de  $b$ , mayor atenuación de la señal de las moléculas de agua con peor relación señal-ruido y más artefactos.

En nuestro protocolo se utiliza un factor  $b$  con valores de  $b_0$ ,  $b_1$  1000 mm<sup>2</sup>/s, supresión grasa, matriz de 128 × 128 y 8 NEX (número de adquisiciones).

El resto de parámetros depende de la extensión del tumor y la amplitud de la región anatómica que se debe estudiar; también, del tipo de antena y equipo de RM si es 1,5 o 3T. Los parámetros orientativos son: TR > 3000 ms (normalmente entre 3000-5000 ms, aunque puede ser mayor si la zona por estudiar es muy amplia y hay mayor número de cortes); TE mínimo 75-90 ms; grosor de corte: 3-6 mm; GAP: < 1 mm con un tiempo de adquisición de 3-4 minutos (12).



Figura 1. RM. Mujer de 64 años de edad, con cáncer de mama, con dolor lumbar. a) Sagital con información T1, lesiones en T11 y L5. b) Sagital con información T2 supresión grasa. c). Sagital en fase D. Sagital fuera de fase. Las lesiones de T11 y L5 tienen mediana señal en T1, alta señal en T2 y no presentan caída de señal en fase opuesta (< 20 %), típico de las metástasis, a diferencia de L3, que es una vértebra normal, y si presenta caída de señal en fase opuesta.

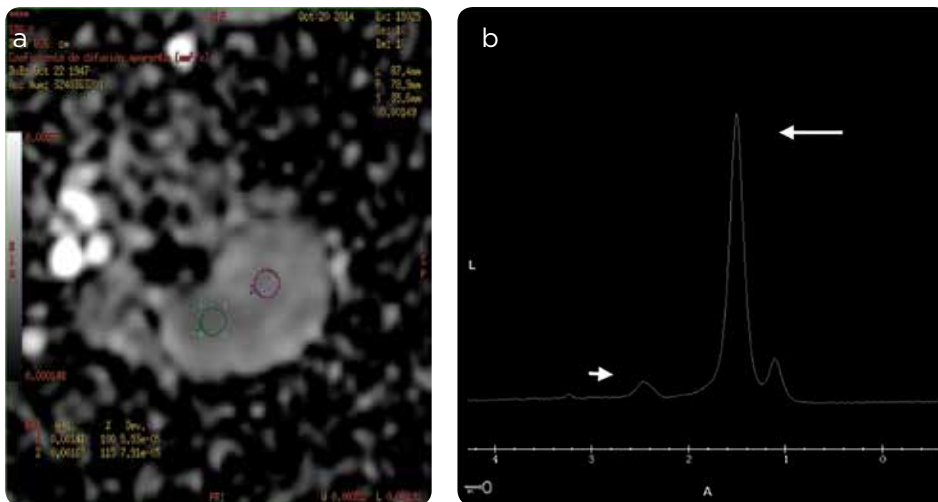


Figura 2. Espectroscopia. Mujer de 64 años de edad, con tumor de nervio periférico en evolución desde hace 5 años. a) Mapa de ADC, difusión, con un valor de ADC de  $1,43 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$  ver ROI. b) Curva espectroscópica con pico de lípidos (flecha blanca) y pequeño pico de colina (a 3,2 ppm) (cabeza de flecha).

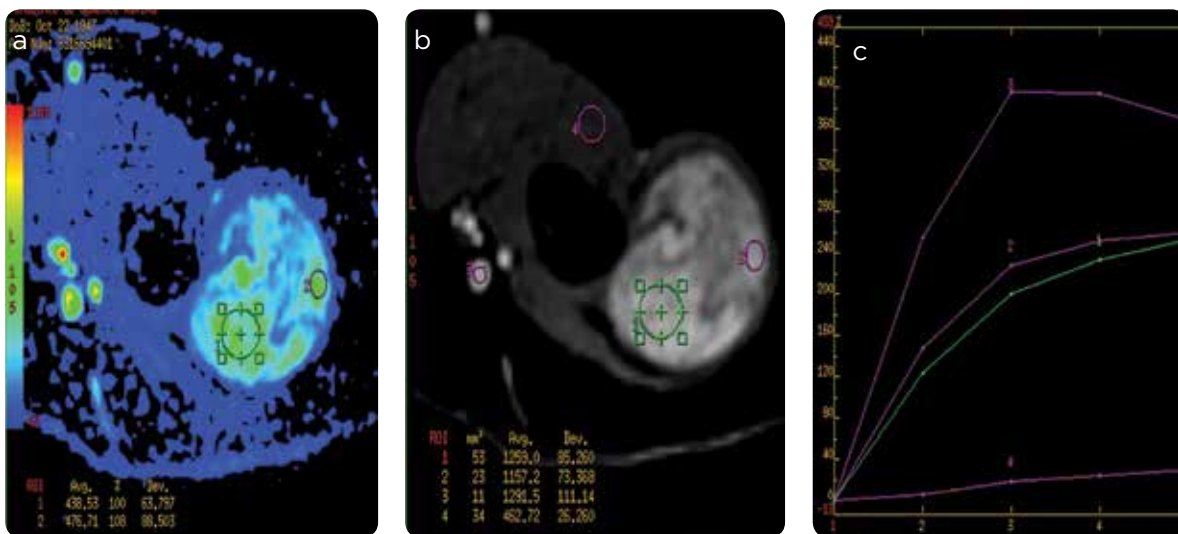


Figura 3. Secuencias dinámicas y perfusión. Corresponden al caso de la figura 2. a) Mapa paramétrico semicuantitativo en axial con mapa de colores que indican las zonas de mayor perfusión donde se coloca el ROI. b) Secuencia dinámica eco de gradiente T1 axial con supresión grasa, que se obtiene a la vez que el mapa de color. c) Curva tipo I, con realce progresivo en la zona de mayor realce de la tumoración (curva verde).

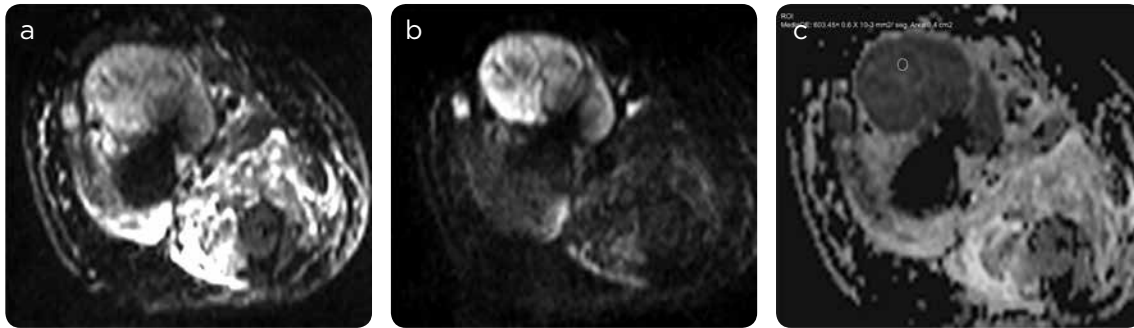


Figura 4. Procesamiento de imagen. a y b) Axial de difusión con valores de  $b_0$  y  $b_{1000}$ . c) Mapa de ADC. ROI de pequeño tamaño, en el área de la tumoración donde la señal sea menos intensa se obtiene una media de 603,45 que equivale a  $0,6 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ .

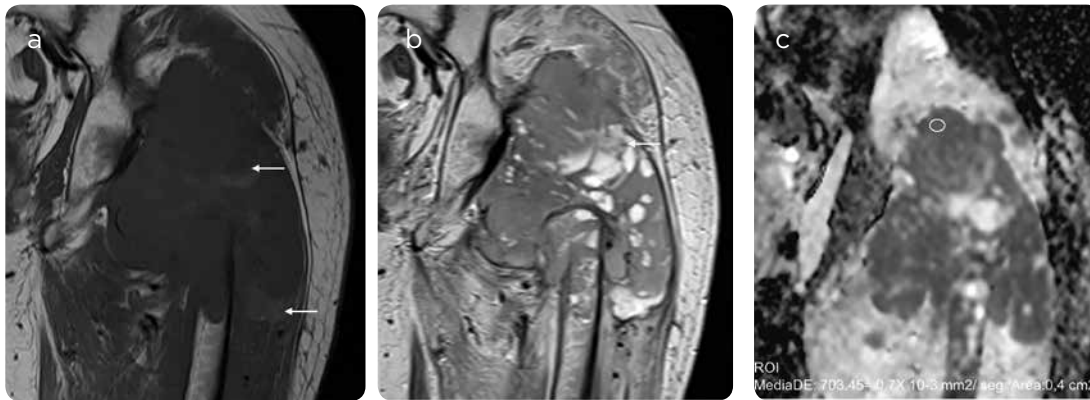


Figura 5. Sarcoma fusocelular de alto grado. Mujer de 39 años de edad, con dolor en cadera izquierda y sensación de masa. En la RM se observa voluminosa masa en el iliaco izquierdo con aspecto heterogéneo en las secuencias anatómicas y valores bajos en difusión, que sugiere lesión de tipo tumoral. a, b y c) Coronal con información T1, T2 y mapa de ADC. a) Masa de baja señal con información T1 y área de alta señal (flechas) compatibles con áreas de sangrado. b) Señal heterogénea con información T2 (flecha). c) Mapa de ADC con restricción de la difusión y un ROI con valor de ADC de  $0,7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , bajo, que sugiere sarcoma.

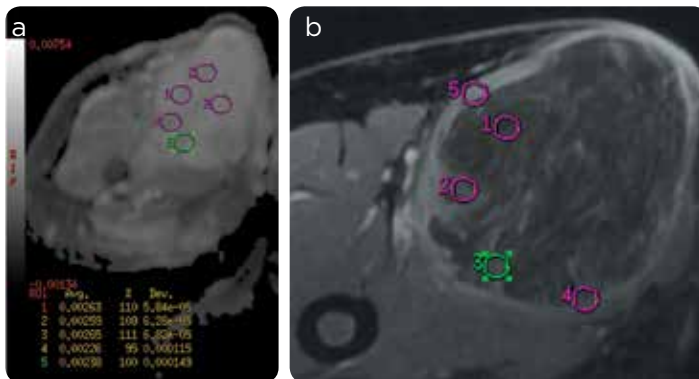
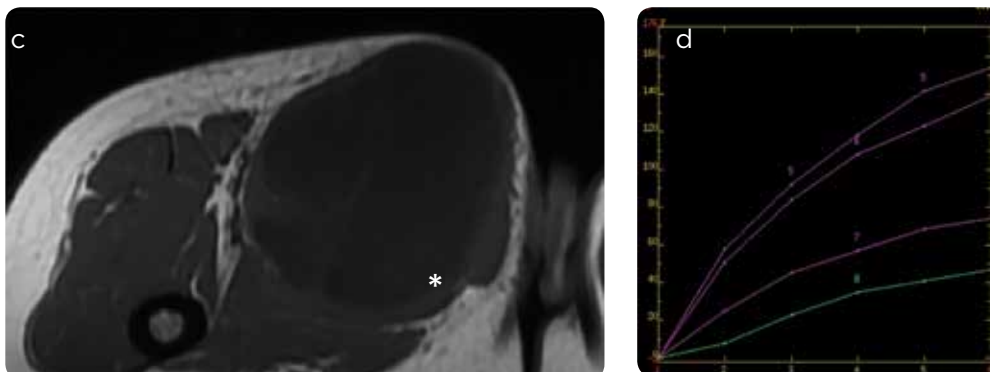


Figura 6. Mixofibrosarcoma. Mujer de 38 años de edad, con tumoración de aspecto quístico intermuscular en compartimento anterior del muslo derecho. a) Mapa de ADC, colocando 5 ROI con valores altos de ADC, sin restricción de la difusión, que oscila entre  $2,3-2,6 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ . b) Secuencia dinámica axial eco gradiente T1 con varias ROI, con un realce progresivo que se demuestra en la gráfica d. c) Axial con información T1, con lesión de baja señal de aspecto quístico y periferia con señal ligeramente alta (estrella). d) Curvas tipo I con leve realce progresivo.



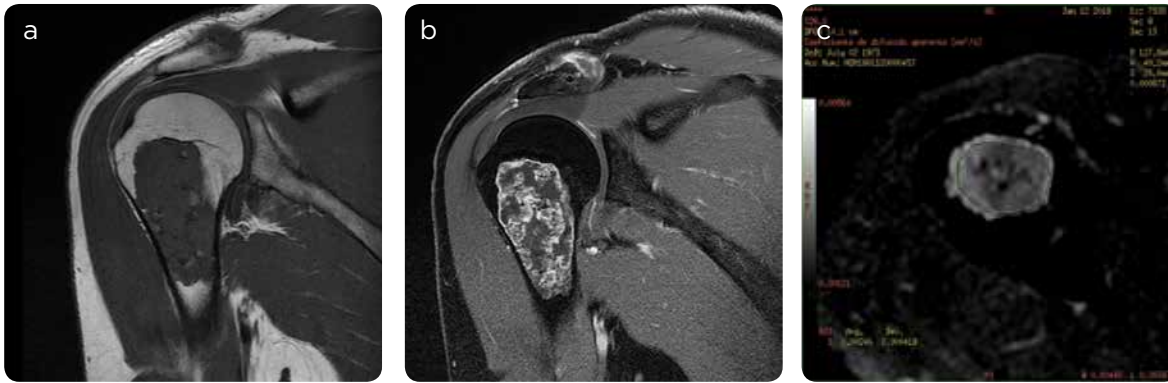


Figura 7. Tumores condrales de bajo grado, cartilaginosos, atípicos. Varón de 45 años de edad, con aparición incidental por dolor subacromial de tumor condral de bajo grado o cartilaginoso atípico en la diáfisis proximal del húmero derecho, de bordes bien definidos, que no provoca rotura de la cortical ni rebaje endostal, de 6,3 cm de longitud. Se observan pequeñas calcificaciones y pequeñas zonas de grasa en su interior. a) Sagital con información T2 supresión grasa. b) Sagital con información T1 sin supresión grasa. c) Sagital con información T1 con supresión grasa, con realce condral típico. d) Axial Difusión, cálculo de ADC medio de  $2,46 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ .

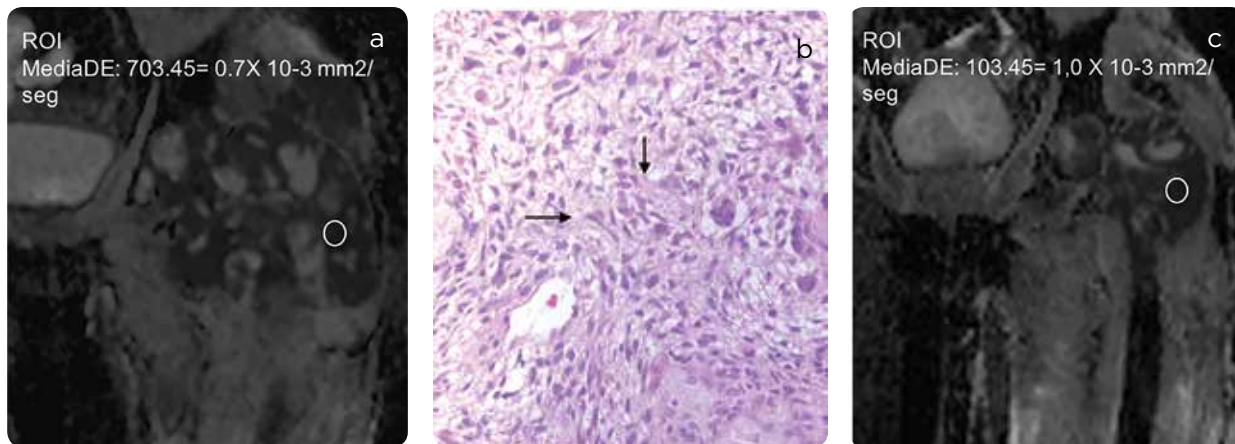


Figura 8. RM de control de sarcoma fusocelular de alto grado. Se realizó tratamiento con quimioterapia por 3 meses. En la RM de control se observa aumento en los valores de ADC y disminución del volumen tumoral, hallazgo que confirma que las secuencias de difusión permiten estimar la muerte celular, daño de las membranas y disminución de la densidad tumoral. a) Mapa de ADC al diagnóstico con un valor de ADC de  $0,7 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ . b) Cortes histológicos con tinción hematoxilina eosina, en los cuales se observan células mesenquimales indiferenciadas, algunas pleomórficas y multinucleadas con mitosis atípicas (flechas). c) Mapa de ADC control: a los 3 meses el valor de ADC sube a  $1,0 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , lo cual sugiere disminución de la densidad tumoral y respuesta al tratamiento.

El estudio cualitativo se basa en la señal que presentan las lesiones. En los tejidos muy celulares, como los tumores malignos, se generan barreras a la difusión (la difusión está restringida) y la atenuación de la señal será menor (baja señal en imágenes de difusión-ADC bajo). En los hipocelulares, como tumores benignos y quistes (13), no hay barrera para difundir (difusión aumentada) y la atenuación de la señal será mayor (alta señal en imágenes de difusión-ADC alto).

Hay que tener en cuenta el “efecto T2” (*T2 shine through effect*) que consiste en un aumento de la intensidad de señal en las imágenes de difusión, lo que simula una difusión restringida; sin embargo, en el ADC no hay caída de la intensidad de señal, esto se debe a que la intensidad de señal no solo depende de la difusión del agua sino, también, del tiempo de relajación T2. De esta manera, una lesión con tiempo de relajación muy largo en T2 puede manifestarse claramente.

El efecto T2 se puede eliminar parcialmente aumentando el valor  $b$  y la posibilidad de realizar una cuantificación mediante el cálculo del ADC (Apparent Diffusion Coefficient, o coeficiente de difusión aparente). El ADC es independiente del campo magnético, no se ve

afectado por el efecto T2 (14) y varía con el valor  $b$ , aunque hay autores que afirman que por razones técnicas sí hay variaciones del valor de ADC debido al campo magnético (12). Para determinar el valor cuantitativo del ADC se evaluaron los estudios en diferentes estaciones: Syngo Vía, de Siemens, en el Hospital Pablo Tobón Uribe y General & Electric, en el Hospital Quirónsalud Madrid. Se ubica un ROI de pequeño tamaño (figura 4) en la porción más sólida y homogénea del tumor, para evitar áreas necróticas o quísticas, de ahí la importancia de realizar un adecuado análisis de dichos componentes tumorales en las secuencias morfológicas.

### Análisis del valor cualitativo y cuantitativo de la difusión

Como se mencionó, hay mayor restricción al movimiento de las moléculas de agua en tejidos con alta celularidad, membranas celulares intactas y reducción del espacio extracelular o estroma. Por el contrario, hay una menor restricción o facilitación de la misma al movimiento

de las moléculas del agua, en tejidos con menor celularidad, daño en las membranas celulares y mayor espacio extracelular. El grado de restricción a la difusión es directamente proporcional a la celularidad tisular y a la integridad de las membranas e inversamente proporcional al espacio extracelular. Estas diferencias pueden ser útiles para estimar la composición histológica de los tumores y establecer valores aproximados de ADC en algunos de ellos (9,15).

Por lo general, los tumores malignos son más celulares que los tumores benignos y ofrecen una mayor restricción a la difusión (figura 5); sin embargo, no todos los tumores malignos tienen mayor celularidad al compararlos con los benignos (figura 6) (2). Esta variabilidad en la histología de los tumores hace que, en general, no pueda utilizarse aisladamente la secuencia de difusión para valorar el comportamiento benigno o maligno de todos los tumores, así como tampoco permite especificar en todos los casos el tipo concreto de tumor, debido a la superposición en cuanto a los valores de ADC que presentan. Se debe tener en cuenta la edad del paciente, la localización, el aspecto radiológico y la intensidad de señal en las secuencias morfológicas, así como el análisis cualitativo y cuantitativo de la difusión, la cual se constituye en una herramienta adicional que permite apoyar o descartar una impresión diagnóstica.

En este caso la ausencia de restricción de la difusión, ADC alto y curvas progresivas, indica lesión poco sospechosa de sarcoma, pero se trata de un tumor mixoide que no se puede diferenciar debido a la

importante matriz mixoide en tumores benignos y malignos mediante el cálculo del ADC (13).

### Diferenciación de benignidad frente a malignidad

Con respecto a los valores del ADC, hay algunos autores (5,7,11,12,16-19) que intentan establecer un valor de corte, la mayoría con diferencias estadísticamente significativas y algunos no. Estos últimos, porque no han establecido una diferenciación inicial entre tumores mixoides y no mixoides, como describió Nagata en 2008 (17), dado que estos tumores (debido a la gran cantidad de mucina y estroma extracelular), no presentan diferencia significativa entre tumores mixoides malignos y benignos. Esta diferenciación inicial es útil; sin embargo, se deben establecer grupos de tumores que presenten características histológicas comunes y unos valores de ADC similares. No obstante, se debe tener en cuenta que existen tumores que debido a su heterogeneidad histológica no es posible clasificarlos en grupos específicos. Los tumores se podrían agrupar en: mixoides, de células redondas, de células gigantes, de células fusiformes, con estroma especializado y abscesos-hematomas (12,19,20). En la tabla 1 se hace un resumen de los valores.

**Tabla 1. Clasificación de los tumores óseos. Valores de ADC según composición y tipos de tumores**

Tumores óseos primarios	Tipos	Composición	ADC
Mixoides. Tumores de apariencia quística	Mixoma yuxtaarticular, mixofibrosarcoma, mixoma intramuscular, liposarcoma mixoide, leiomiomasarcoma mixoide	Presentan gran contenido de mucina o matriz mixoide extracelular, poco contenido de colágeno y gran cantidad de agua	Valores altos de ADC $2,08 \pm 0,51 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (12) un valor de PIADC de $2,92 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (4)
Células redondas	Linfomas no Hodgkin, sarcoma de Ewing, PNET, mielomas, neuroblastomas y rhabdomyosarcomas	Formados por células de morfología redondeada y con elevada relación núcleo/citoplasma	Muy bajos de ADC. En nuestra experiencia: la media de los linfomas es $0,77 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ y en general los tumores de células redondas $0,84 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (12). PIADC de los linfomas de $0,64 \pm 0,18 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ (4). Espectroscopia: alta colina
Células gigantes	Tumores óseos y tumores de partes blandas de la vaina tendinosa	Alta celularidad y escaso estroma	ADC de $0,96 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ vs. $0,85$ los TCG óseos y los de la vaina, respectivamente (12)
Células fusiformes	Fibromatosis agresiva, fibrohistiocitoma maligno, leiomioma, leiomiomasarcoma. Otras entidades no tumorales: fascitis nodular y miositis osificante	Células fusiformes: fibroblastos, miofibroblastos y del músculo liso	$1,56 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ para los benignos e intermedios y $0,89$ para los malignos (12)
Condrosarcomas cartilagosos atípicos	Encondroma condrosarcoma de bajo grado	Matriz condroide (figura 7)	ADC entre $2,3-2,5 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ , (12)
Inflamación-infección	Hematomas, abscesos	Abscesos con marcada disminución de los valores de ADC	Bajo ADC. En casos del HPTU 1 a $1,28 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

Fuente: Carrascoso y colaboradores (12).

## Respuesta al tratamiento

La respuesta al tratamiento con quimioterapia y radioterapia se basa, tradicionalmente, en una aproximación anatómica mediante la medición del tamaño tumoral.

Las secuencias morfológicas y de difusión permiten valorar la eficacia del manejo quimioterapéutico, la presencia de recidiva tumoral, así como la aparición de necrosis tumoral y cambios en la vascularización (21) inducida por el tratamiento (figura 8).

Una de las primeras aplicaciones de la difusión en los tumores musculoesqueléticos fue para valorar la eficacia del tratamiento quimioterapéutico neoadyuvante en osteosarcomas (21-23), el cual, aunque sea satisfactorio, no disminuye significativamente el tamaño de la lesión, ya que el tratamiento no afecta la matriz mineralizada del tumor, pero sí la celularidad. La respuesta al tratamiento es de valor pronóstico, pues indica mayor supervivencia libre de enfermedad.

## Conclusiones

Las secuencias funcionales son herramientas útiles, que complementan las secuencias convencionales, aportan información cuantitativa y cualitativa del tejido tumoral, así como, también, permiten realizar una aproximación diagnóstica del tipo de tumor.

Respecto a las secuencias de difusión, no se dispone aún de un valor de corte estandarizado y validado para determinar lesiones benignas y malignas, debido a la heterogeneidad tumoral. Hasta el momento se han realizado estudios en equipos diferentes y con diferentes protocolos de cuantificación, que permiten informar valores, como los descritos, por medio de la revisión imaginológica y, en la tabla 1, a partir de casos de ambas instituciones.

Se considera que deben realizarse más estudios que permitan soportar un valor de corte. Entre estos se espera presentar la serie de casos obtenida en el Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín, Colombia, la cual se inició a partir de enero de 2015.

## Referencias

- Gielen JLMA, De Schepper AM, Vanhoenacker F, Parizel PM, Wang XL, Sciort R, et al. Accuracy of MRI in characterization of soft tissue tumors and tumor-like lesions. A prospective study in 548 patients. *Eur Radiol*. 2004;14:2320-30.
- Wu JS, Hochman MG. Soft-tissue tumors and tumorlike lesions: A systematic imaging approach. *Radiology*. 2009;253:297-316.
- Nascimento D, Suchard G, Hatem M, Abreu A. The role of magnetic resonance imaging in the evaluation of bone tumours and tumour-like lesions. *Insights Imaging*. 2014;5(4):419-40.
- Vilanova JC, Baleato-González S, Romero MJ, Carrascoso-Arranz J, Luna A. Assessment of musculoskeletal malignancies with functional MR imaging. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2015;1-21.
- Costa FM, Canella C, Gasparetto E. Advanced magnetic resonance imaging techniques in the evaluation of musculoskeletal tumors. *Radiol Clin North Am*. 2011;49:1325-58.
- Olaf D, Andreas B. Diffusion-weighted imaging of bone marrow. *Sem Musculoskelet Radiol*. 2009;13:120-33.
- Subhawong TK, Jacobs M, Fayad LM. Diffusion-weighted MR Imaging for Characterizing Musculoskeletal Lesions. *RadioGraphics*. 2014;34: 1163-77.
- Khoo MM, Tyler PA, Saifuddin A, Padhani AR. Diffusion-weighted imaging (DWI) in musculoskeletal MRI: a critical review. *Skeletal Radiol*. 2011;40:665-81.
- Carrascoso J, Hidalgo LH, Acevedo A, Vilabona J. Difusión en musculoesquelético. En: Luna A, Vilabona J, eds. Bases, conceptos técnicos y aplicaciones clínicas de la RM difusión. Madrid: SERAM; 2012.
- Vilanova JC, Luna A, Baleato S, Romero MJ. Aplicaciones de la técnica de difusión por resonancia magnética en el manejo de la patología tumoral osteomuscular. *Radiologia*. 2012;54:14-26.
- Razek A, Nada N, Ghaniem M, Elkhamary S. Assessment of soft tissue tumours of the extremities with diffusion echoplanar MR imaging. *Radiol Med (Torino)*. 2012;117:96-101.
- Carrascoso Arranz J, Acevedo A, Herraiz Hidalgo L, Cano Alonso R, Larrubia Marfil JR, Martínez de Vega V. Utilidad de la difusión en los tumores óseos y de partes blandas. Correlación ADC-Hallazgos histológicos. Comunicación Oral SERAM 2014. Cum Laude. <http://dx.doi.org/10.1594/seram2014/S-1165>
- Ty K, Subhawong TK, Durand DJ, Thawait GK, Jacobs MA, Fayad LM. Characterization of soft tissue masses: can quantitative diffusion weighted imaging reliably distinguish cysts from solid masses? *Skeletal Radiol*. 2013;42:1583-92.
- Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, Grenier P, Cabanis E, Laval-Jeantet M. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders. *Radiology*. 1986;161:401-7.
- Einarsdóttir H, Karlsson M, Wejde J, Bauer HCF. Diffusion-weighted MRI of soft tissue tumours. *European Radiology*. 2004;14:959-63.
- Khedr SA, Hassaan MA, Abdelrazek NM, Sakr AY. Diagnostic impact of echo planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging (DWI) in musculoskeletal neoplastic masses using apparent diffusion coefficient (ADC) mapping as a quantitative assessment tool. *Egypt J Radiol Nuclear Med*. 2012;43:219-26.
- Nagata S, Nishimura H, Uchida M, Sakoda J, Tonan T, Hiraoka K, et al. Diffusion-weighted imaging of soft tissue tumors: usefulness of the apparent diffusion coefficient for differential diagnosis. *Radiat Med*. 2008;26:287-95.
- Neubauer H, Evangelista L, Hassold N, Winkler B, Schlegel PG, Kostler H, et al. Diffusion-weighted MRI for detection and differentiation of musculoskeletal tumorous and tumor-like lesions in pediatric patients. *World J Pediatr*. 2012;8:342-9.
- Carrascoso Arranz J, Acevedo A, Jiménez M, Recio Rodríguez M, Herraiz L, Martínez de Vega V. Bone tumors and soft-tissue tumors: Correlation between ADC and histologic findings Hospital Universitario Quiron, Madrid. RSNA 2013. Magna Cum Laude.
- Oka K, Yakushiji T, Sato H, Yorimitsu S, Hayashida Y, Yamashita Y, et al. Ability of diffusion-weighted imaging for the differential diagnosis between chronic expanding hematomas and malignant soft tissue tumors. *J Magn Reson Imaging*. 2008;28:1195-200.
- Padhani AR, Koh DM. Diffusion MR imaging for monitoring of treatment response. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2011;19:181-209.
- Hayashida Y, Yakushiji T, Awai K, Katahira K, Nakayama Y, Shimomura O, et al. Monitoring therapeutic responses of primary bone tumors by diffusion-weighted image: Initial results. *Eur Radiol*. 2006;16:2637-43.
- Oka K, Yakushiji T, Sato H, Hirai T, Yamashita Y, Mizuta H. The value of diffusion-weighted imaging for monitoring the chemotherapeutic response of osteosarcoma: a comparison between average apparent diffusion coefficient and minimum apparent diffusion coefficient. *Skeletal Radiol*. 2010;39:141-6.

## Correspondencia

Catalina Mejía Gómez  
Hospital Pablo Tobón Uribe  
Calle 78B # 69-240  
Medellín, Colombia  
catameji@gmail.com

Recibido para evaluación: 31 de agosto de 2018

Aceptado para publicación: 29 de enero de 2019