

# Aplicaciones en la radiología musculoesquelética de la técnica de fusión RM-US y TC-US

Alberto Luis Fernández<sup>1</sup>, Gonzalo Cogolludo Pimentel<sup>2</sup>, Javier Fernández Jara<sup>3</sup>, Susana Llorente Galán<sup>4</sup>, Erik Pallares Villarreal<sup>5</sup>

<sup>1</sup>H.U. Donostia, San Sebastián; <sup>2,-5</sup>H.U. La Zarzuela, Madrid.

## OBJETIVO DOCENTE

1. Revisar las aplicaciones de la técnica de **fusión** de la ecografía con la RM y la TC en la radiología **musculoesquelética**.
2. Ilustrar estas aplicaciones con **casos prácticos** del Hospital Universitario “La Zarzuela”.

## REVISIÓN DEL TEMA

La fusión de imágenes por ecografía-RM o ecografía-TC es una **nueva técnica híbrida** que permite un estudio simultáneo de imágenes adquiridas previamente en RM o TC, con la ecografía en tiempo real.

Esta técnica ha sido utilizada en los últimos años en una variedad de especialidades y procedimientos, como los relacionados con el hígado, la próstata y la mama.

Aunque no es una técnica establecida en el sistema musculoesquelético, tiene un **papel potencial** en la **mejora** de las intervenciones guiadas por imágenes, en particular, las biopsias de tumores dirigidas e inyecciones terapéuticas.

Algunas de las indicaciones de esta técnica serían:

- Guía para **biopsia de tumores de partes blandas**, para dirigir la misma a zonas que tengan realce en RM o restricción de la difusión.
- Guía para **biopsias** de lesiones mal visualizadas en ecografía y sí bien definidas en RM o TC.
- **Infiltraciones** ecoguiadas en articulaciones y localizaciones mal visualizadas o de difícil acceso ecográfico. Ej.: **articulaciones sacroilíacas**.
- Seguimiento de **lesiones tendinosas y musculares**.
- Guía para **biopsias** de zonas de mayor afectación muscular, en pacientes con **miopatías inflamatorias**.
- Guía para procedimientos intervencionistas en población infantil, para reducir la radiación. Ej.: radiofrecuencia de **osteoma osteoide**.

## 1. TÉCNICA

Antes de poder aplicar esta técnica a los diferentes casos, es necesario tener algunas nociones de los aspectos técnicos previos.

En la caso de la fusión RM-US, la imagen se consigue con un sistema de **navegación y posicionamiento** que permite la localización precisa de la **sonda ecográfica** en el espacio con la ayuda de un generador de **campo magnético externo**, que generalmente se encuentra próximo al paciente. Un pequeño sensor conectado al transductor ecográfico se comunica con el generador de campo magnético proporcionando el posicionamiento en tiempo real y la orientación del transductor a la estación de trabajo.



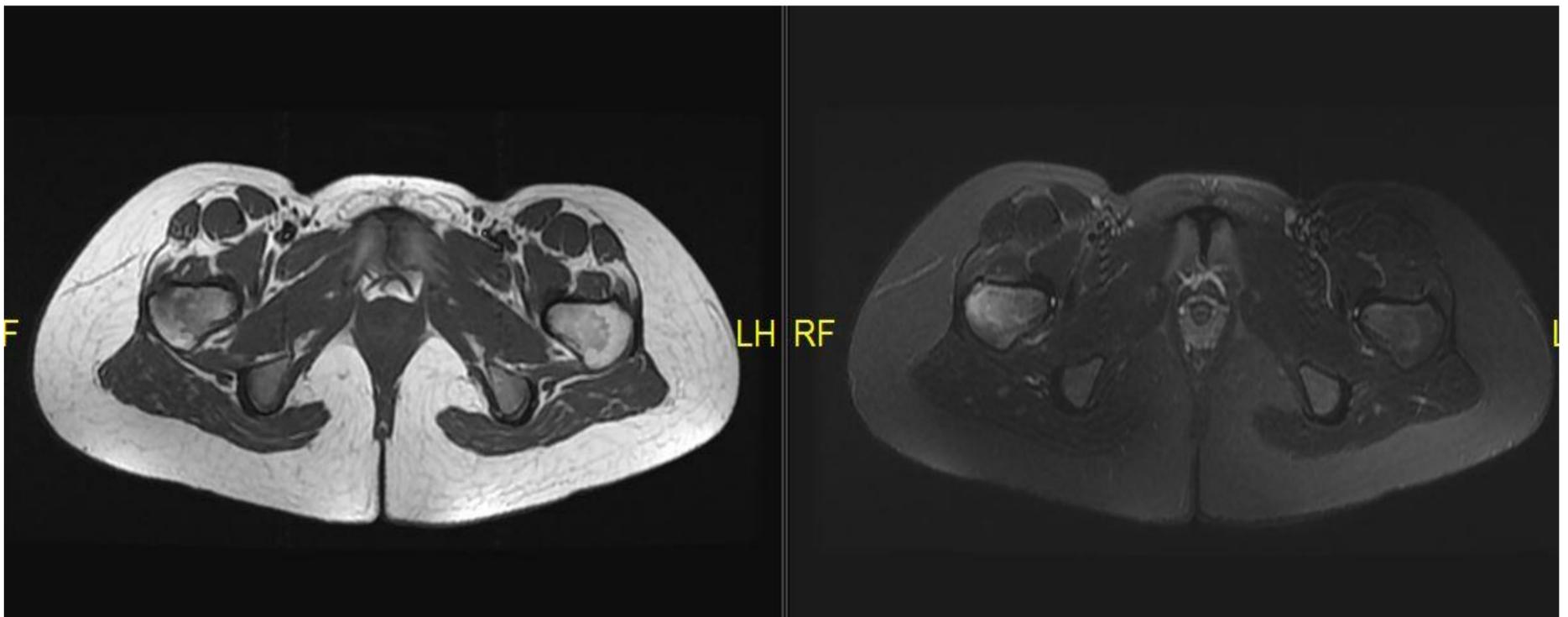
Fig.1. Fusión US-TL

Fig.2. Fusión US-RM

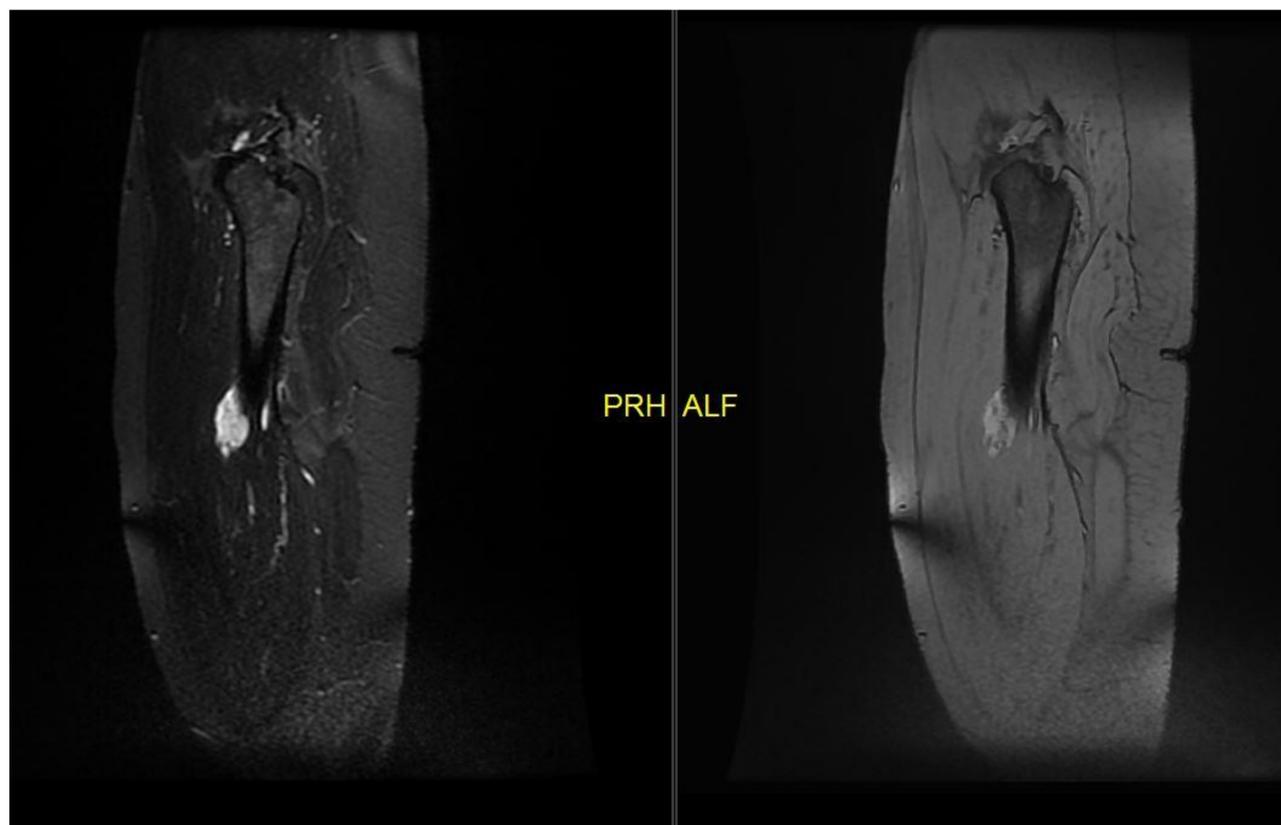
A continuación, mediante **algoritmos** se integran los datos de las imágenes de RM adquiridas previamente y las obtenidas con la ecografía “in vivo”.

El ecógrafo permite seleccionar una serie de **puntos de referencia anatómicos**, a menudo 3 o más, que son fácilmente reconocibles tanto en la RM como en la ecografía. Así se consigue la adecuada **coincidencia** de las imágenes para la precisión espacial y el movimiento sincrónico de las mismas. El software nos ofrece la posibilidad de mostrarlas superpuestas o una junto a la otra.

La secuencia de RM que muestre adecuadamente las estructuras anatómicas de interés es elegida previamente por el radiólogo, por ejemplo, la secuencia 3D isotrópica para la inyección perineural o secuencias postcontraste para la biopsia de un tumor heterogéneo de partes blandas.



*Fig.3. Cortes axiales potenciados en T1 (izda.) y T2 FS (dcha.)*



*Fig.4. Cortes sagitales potenciados en T2 FS (izda.) y EG (dcha.)*

Otro posible enfoque de esta técnica es la **fusión cognitiva**, que no requiere más equipamiento. Consiste en que un radiólogo experto identifica las áreas sospechosas en las imágenes de RM e intenta localizarlas mientras realiza la ecografía sobre los puntos de referencia anatómicos y la morfología de la lesión. Requiere que el radiólogo tenga una buena comprensión de la posición del objetivo mediante la revisión de todas las imágenes de la RM.

El caso de la **fusión US-TC** es equivalente. Se introduce el estudio con las imágenes de la TC, previamente realizada, en el ecógrafo mediante un CD y el resto del procedimiento es similar.

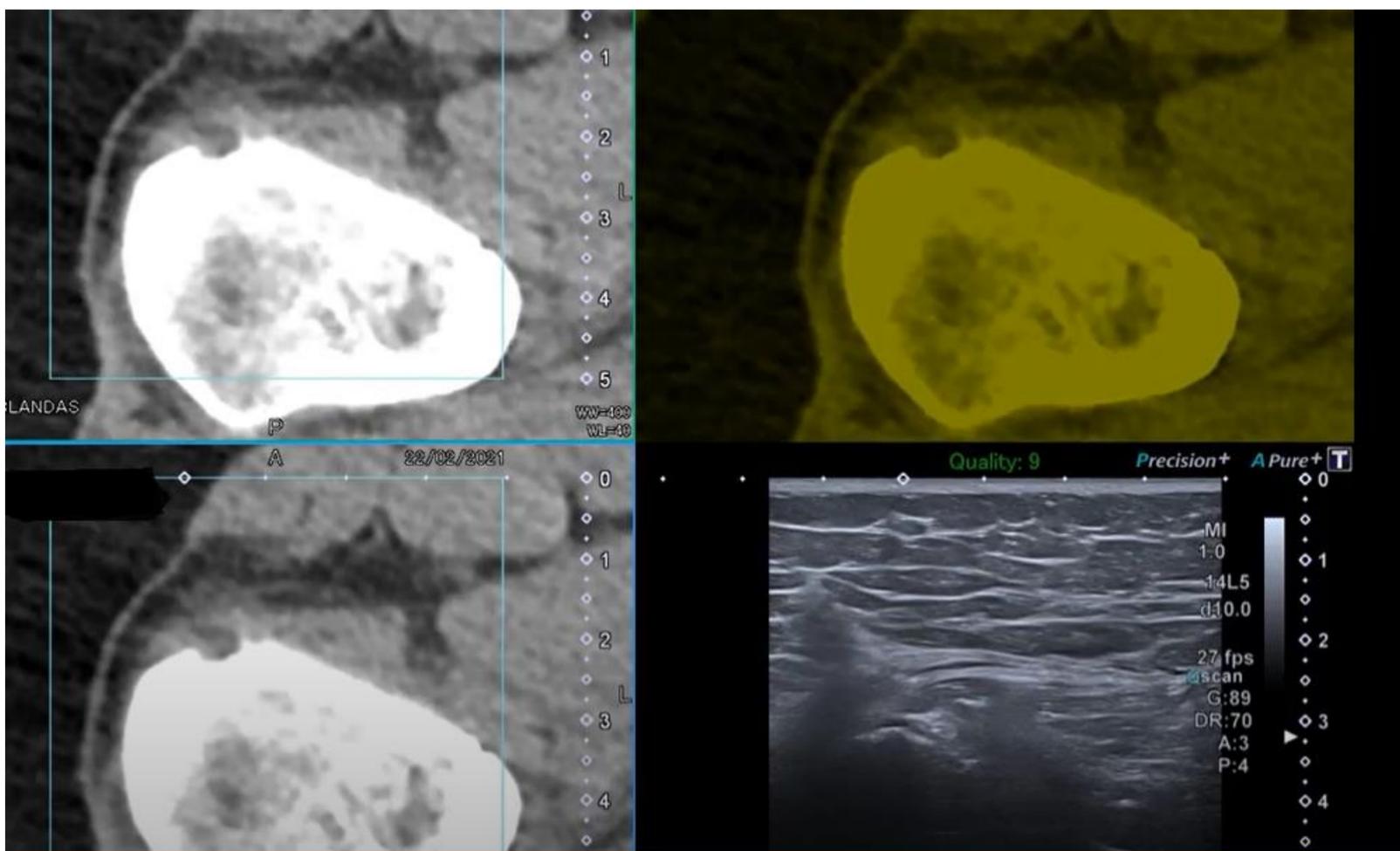


Fig.5. Ejemplo de fusión US-TC.

## 2. PROCEDIMIENTOS

La fusión ha sido probada en distintos procedimientos del sistema musculoesquelético, sobre todo en biopsias e inyecciones sacroilíacas. Si bien, las principales aplicaciones de esta técnica están aún por establecer. Vamos a ir repasando las principales.

### 2.1. BIOPSIAS

Los **tumores de partes blandas** son un grupo heterogéneo que incluye patología benigna, intermedia (localmente agresiva) y maligna cuyo **diagnóstico por imagen** continúa siendo un **reto** a día de hoy.

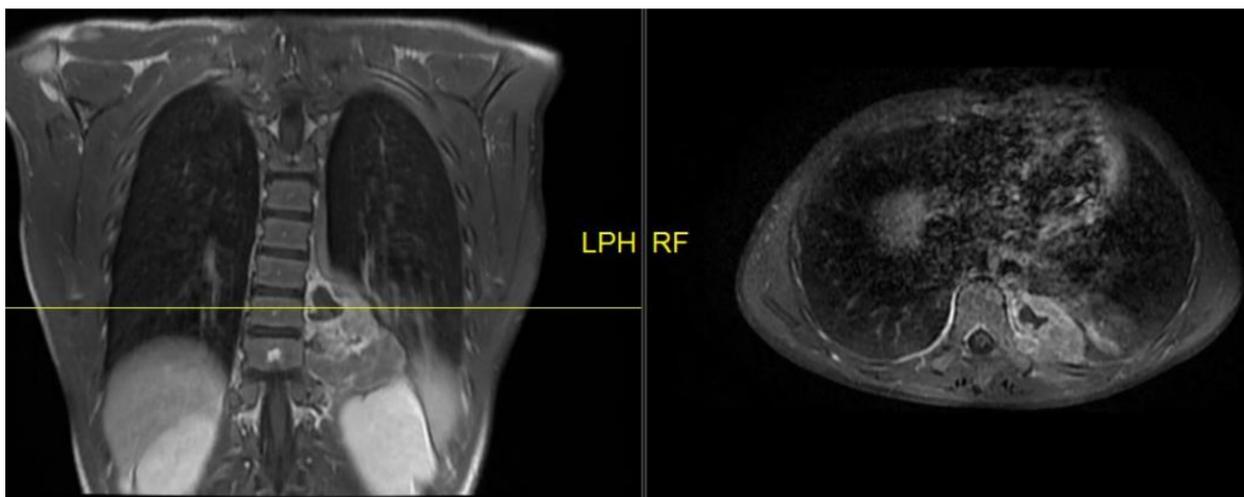
Los **sarcomas** suelen ser infradiagnosticados (ej. Hematomas y lipomas), hay muchos subtipos histológicos, representan menos del 1% del total de tumores malignos y afectan sobre todo a las **extremidades**.

**Tabla 1. SARCOMA EN LAS DIFERENTES MODALIDADES DE IMAGEN**

RX	Normal, salvo que la masa sea grande o tenga calcificaciones
US	Masa sólida vs quística
	Estudio de vascularización mediante Doppler
	A menudo, hallazgos inespecíficos
RM	Técnica de elección
	Excelente contraste entre tejidos
	Sin radiación ionizante
	Planificación quirúrgica
	Estadificación local
	Monitorización de la respuesta a la QT
	Seguimiento a largo plazo
	Detección de recurrencia
	Las imágenes convencionales no pueden definir la extensión de la necrosis tumoral ni detectar el tejido viable, crucial para valorar la respuesta al tratamiento y el pronóstico
	Hay que combinar secuencias anatómicas y funcionales, incluidas las secuencias de difusión (DWI) con ADC, mapeo y contraste dinámico mejorado (DCE).
	Si no es concluyente entre benignidad o malignidad, debe considerarse indeterminada y someterse a biopsia para excluir malignidad.

Esto hace que las escisiones no planificadas sean realizadas por cirujanos no especializados en estos tumores y se produzcan altas tasas de recurrencia local y acabe necesitando una cirugía mutiladora.

La **biopsia escisional** debe ser **evitada** en estas lesiones porque hará que la resección definitiva sea más extensa debido a la contaminación de los planos tisulares adyacentes.



*Fig.6. RM potenciada en T2 FS tras administración de gadolinio. Coronal (izda.) y axial (dcha.) Sarcoma de Ewing costal izquierdo*

La **biopsia incisional percutánea** guiada por imagen es efectiva, menos invasiva, con menor tasa de complicaciones, proporciona una excelente ubicación espacial lo que ayuda a evitar la contaminación del haz neurovascular y la selección del mejor objetivo intralesional. Dado que la aguja de biopsia toma una pequeña parte del tumor, la **selección** de la zona de biopsia debe ser óptima en las lesiones heterogéneas para obtener material suficiente y adecuado.

Una biopsia que no muestre todas las características histológicas en un tumor heterogéneo podría conducir a un diagnóstico erróneo y a un retraso en el tratamiento correcto.



En lesiones sospechosas de malignidad, las biopsias deben **planificarse** cuidadosamente para respetar la anatomía compartimental y reducir el riesgo de siembra de células malignas

*Fig.7. Ejemplo de biopsia dirigida por ecografía en el pie*

El radiólogo y el cirujano ortopeda oncológico deben **consensuar** la elección del punto de entrada, el recorrido y el plano de la aguja para la posterior cirugía.

La identificación de la extensión local del tumor y el estado del haz neurovascular son clave para la estadificación local e importante para la decisión entre conservación con reconstrucción o amputación de la extremidad.

Es importante identificar la interfase entre la lesión y los haces neurovasculares próximos para evitar su contaminación lo que implicaría su extirpación quirúrgica y descartar al paciente para la futura cirugía de conservación de extremidades.

Las imágenes de fusión US-RM permiten la colocación más precisa de la aguja limitando el sitio de la biopsia al compartimento afectado y evitando la contaminación del sistema neurovascular o de otros compartimentos.

## 2.2. INFILTRACIONES

Las técnicas de fusión son aplicables para las infiltraciones guiadas de la **articulación sacroilíaca** proporcionando una gran definición anatómica del objetivo y ampliando el campo de visión de la ecografía.

La guía por TC es todavía el procedimiento de elección, pero la ecografía es más rápida y evita la radiación, por lo que se debe tener en cuenta en pacientes jóvenes.

## 2.3. LESIONES DEPORTIVAS

La fusión US-RM ha sido probada también en **lesiones musculares y tendinosas deportivas**.

La **ecografía** proporciona una excelente evaluación en **lesiones superficiales**, mientras que la **RM** es superior en la evaluación de **lesiones musculares profundas** y de bajo grado. La **combinación** de ambas técnicas puede mejorar la toma de decisiones clínicas y la intervención guiada por ecografía de compartimentos musculares profundos.

## 2.4. MIOPATÍAS

La **biopsia** muscular es esencial para el diagnóstico de las miopatías. La zona de biopsia muscular puede ser seleccionada según criterios clínicos, electromiográficos y/o de imagen. La afectación muscular puede ser parcheada o afectar parcialmente a músculos por lo que es necesario escoger la región muscular de biopsia para incrementar las posibilidades de diagnóstico.

La **biopsia** muscular guiada por el examen clínico y la electromiografía permite solo el muestreo aleatorio dentro del músculo afectado, no se dirige a la localización real de afectación activa de la enfermedad.

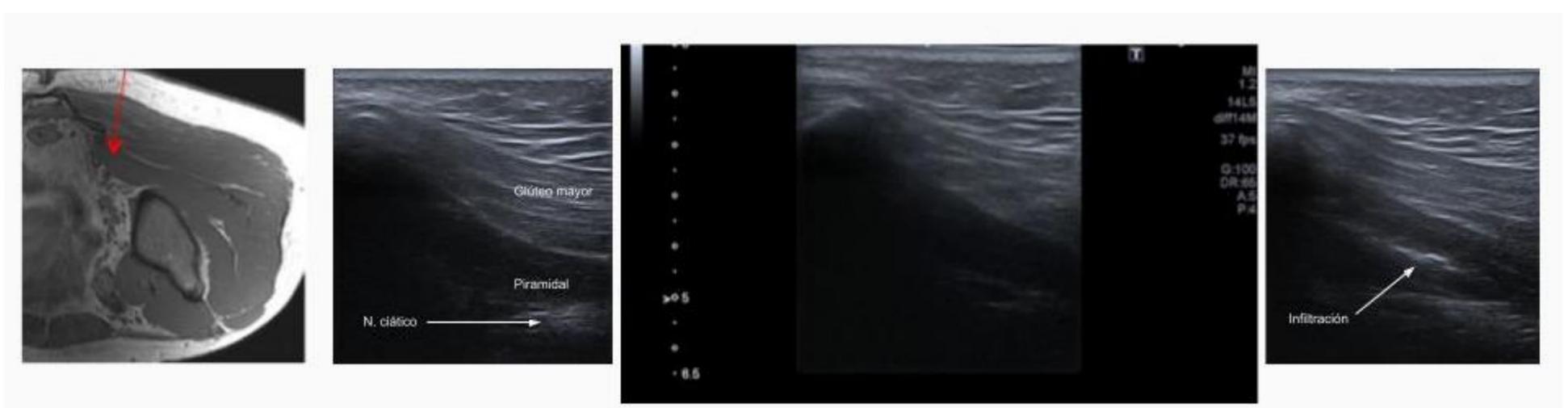
La **ecografía** permite una biopsia en tiempo real de la zona pero puede no detectar los cambios miopáticos precoces.

La **RM** es sensible al edema muscular pero la biopsia precisa de equipamiento específico.

La **fusión US-RM** permite aunar las fortalezas de ambas técnicas.

## 2.5. OTROS PROCEDIMIENTOS

Otros usos previamente probados son las inyecciones del **piriforme** y **perineurales** así como para el tratamiento de la **tendinopatía calcificada**.



*Fig.8. Síndrome del glúteo profundo-síndrome subglúteo (“Síndrome piramidal”) tratado mediante infiltración corticoidea guiada por ecografía.*

## 2.6. DOCENCIA

La fusión US-RM también tiene un potencial uso educacional permitiendo a residentes y a “fellows” una mejor comprensión de la anatomía y de las lesiones.

## 3. LIMITACIONES

- La **dificultad** en la selección de **puntos de referencia** en ciertas partes de la anatomía. La ausencia de estructuras anatómicas fijas y fácilmente reconocibles en ambas técnicas de imagen puede conducir a una mala sincronización y la necesidad de reiniciar y repetir el proceso.
- Se necesita mantener el **campo magnético externo próximo** al área de interés y cuando el software procesa la fusión, la sonda debe mantenerse en posición fija (distancia transductor-generator del campo magnético: 20-70 cm).
- La necesidad de **RM de alta calidad**, preferiblemente de 3 T, que permita obtener secuencias volumétricas de alta resolución y prevención de la distorsión de la imagen durante el movimiento de la ecografía.

## 4. CASOS PRÁCTICOS

### 1. ATRAPAMIENTO POPLÍTEO

El **síndrome de atrapamiento poplíteo** es una patología caracterizada por claudicación intermitente y dolor en pacientes **jóvenes** sin factores de riesgo ateroscleróticos. En otros casos, son síntomas secundarios a isquemia crónica como dolor en reposo, parestesias...

Se produce por compresión vascular de la arteria poplítea en la inserción proximal de ambas cabezas del músculo gastrocnemio.

Se puede dividir en dos subtipos:

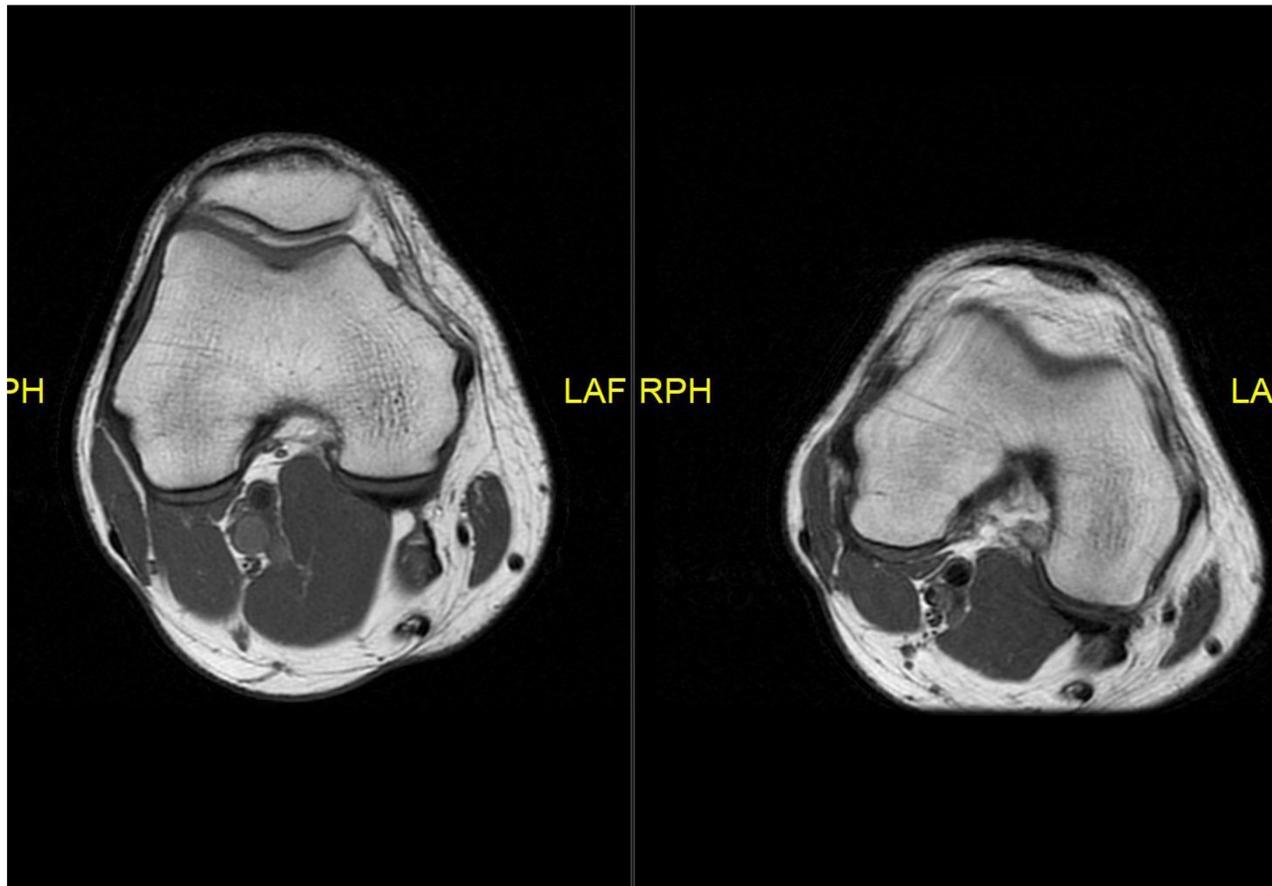
- ✓ **Anatómico**: por alteraciones embriológicas en la formación del hueso poplíteo.
- ✓ **Funcional**: por hipertrofia muscular.

Los síntomas de claudicación se instauran al realizar ejercicio extenuante y cesan al terminar los mismos.

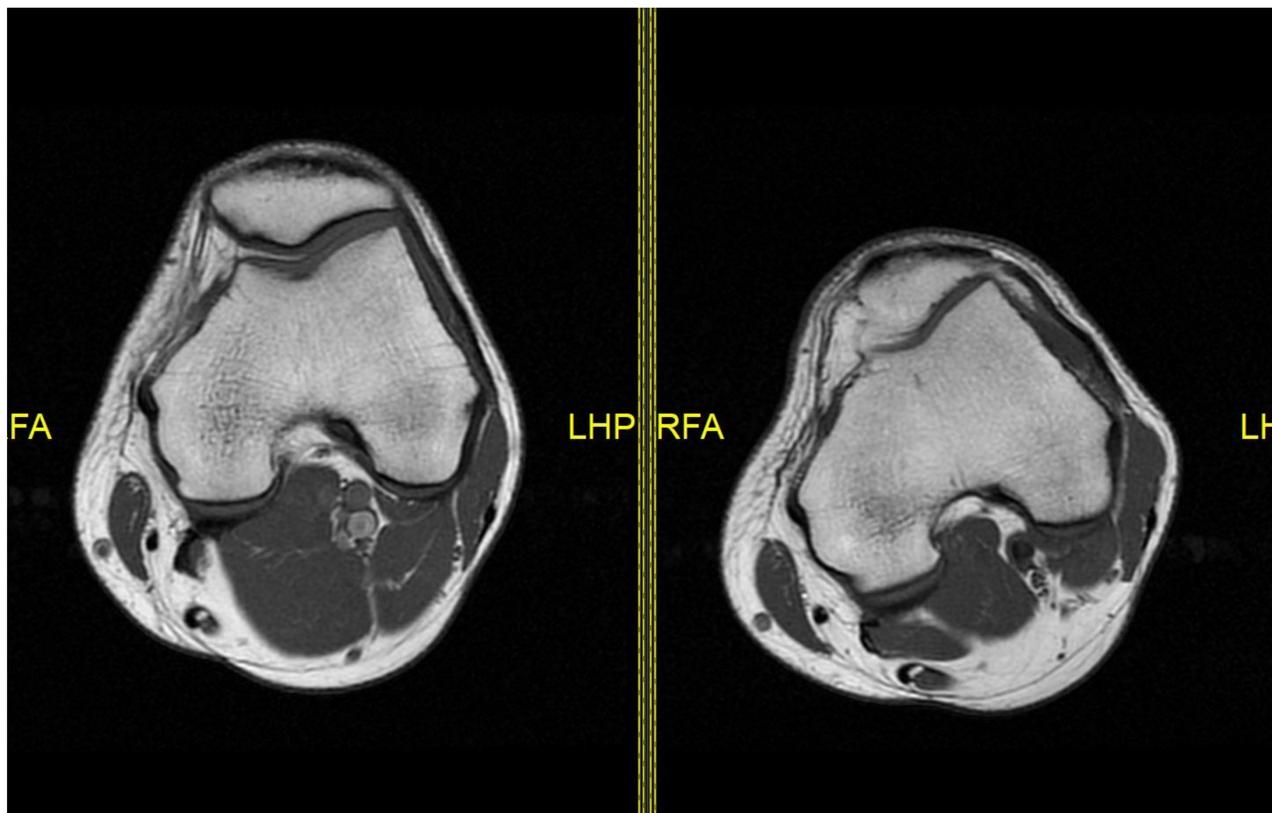
### TRATAMIENTO

Usualmente es **quirúrgico**, con miotomía y reemplazo del segmento arterial afectado, especialmente si se trata de algún tipo anatómico. En lo que respecta al síndrome funcional, se puede realizar una intervención quirúrgica en casos graves con lesiones vasculares severas o se puede tratar médicamente con **toxina botulínica**.

Varón de 42 años corredor de triatlón con una musculatura gemelar muy voluminosa que presentaba **claudicación** (fatiga de la extremidad inferior con tonalidad blanca de rodilla hacia distal) **tras la práctica deportiva**.



*Fig.9. RM axial potenciada en T1. Rodilla derecha. Izda. posición neutra. Dcha. flexión dorsal*



*Fig.10. RM axial potenciada en T1. Rodilla izquierda. Izda. posición neutra. Dcha. flexión dorsal*

En las imágenes de RM se demuestra un **compromiso** del paquete **vasculonervioso** poplíteo derecho con la flexión dorsal del tobillo.

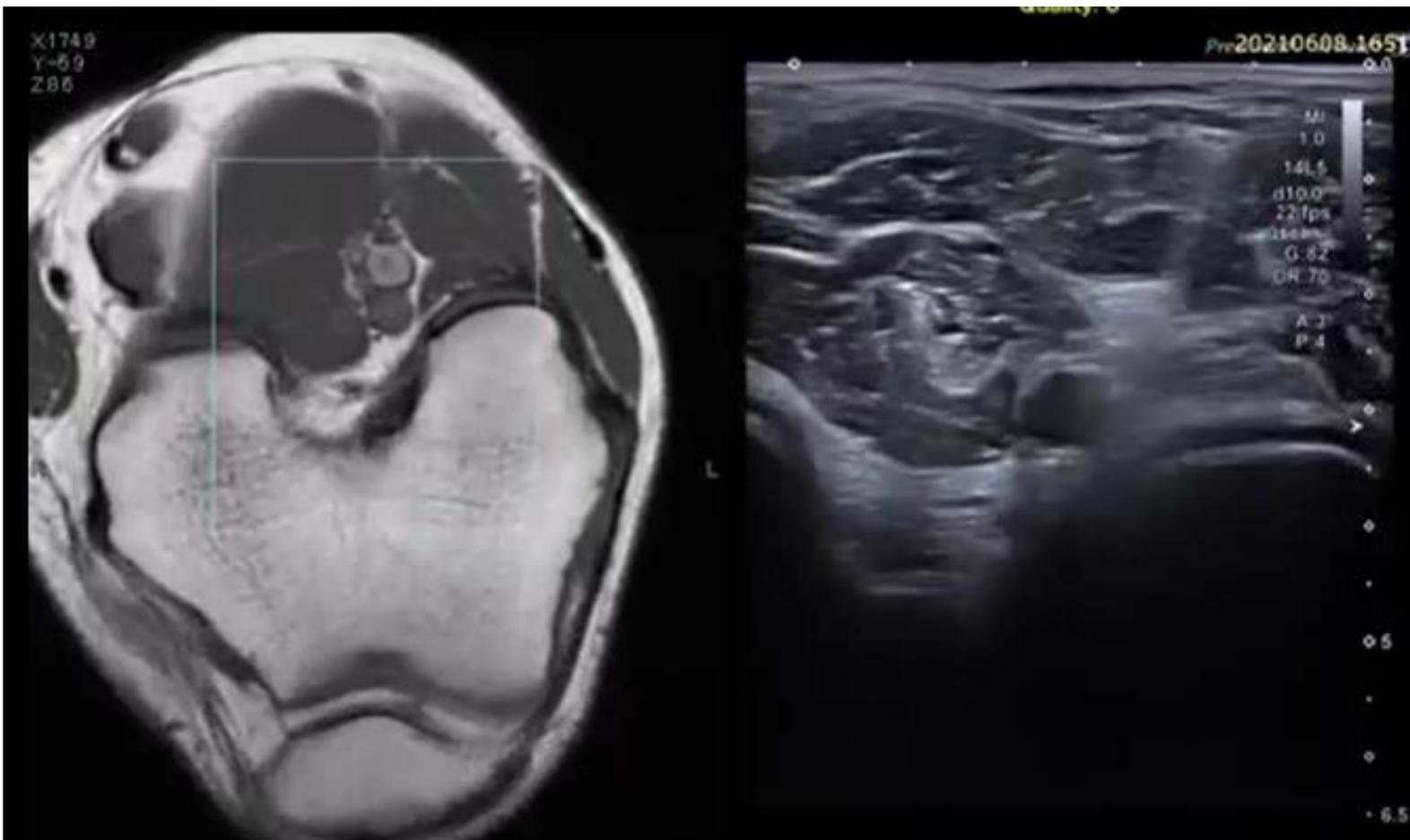
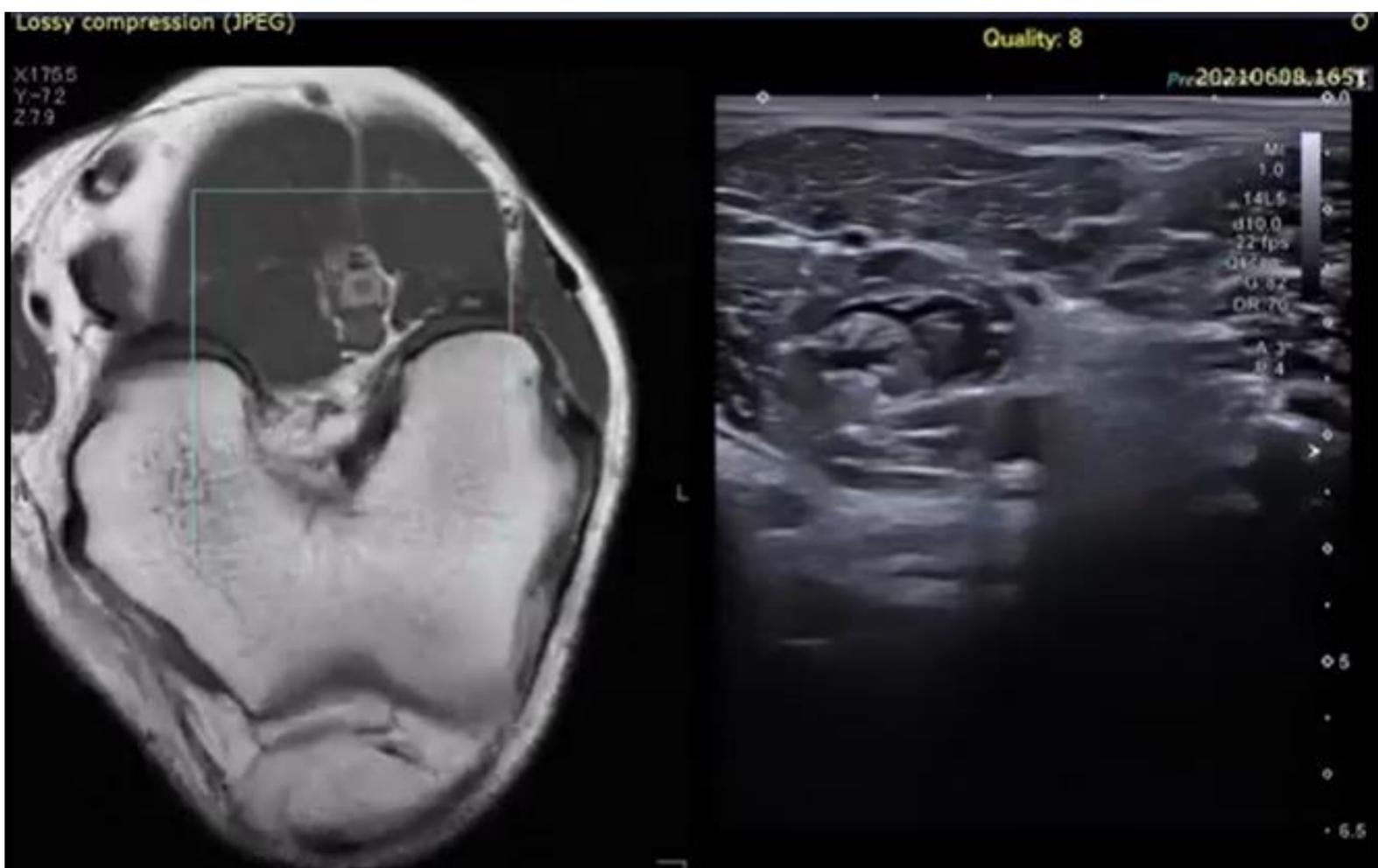


Fig.11 y 12. Imágenes de fusión US-RM.

**Inyección de toxina botulínica intramuscular en el gemelo interno guiada por fusión US-RM.**



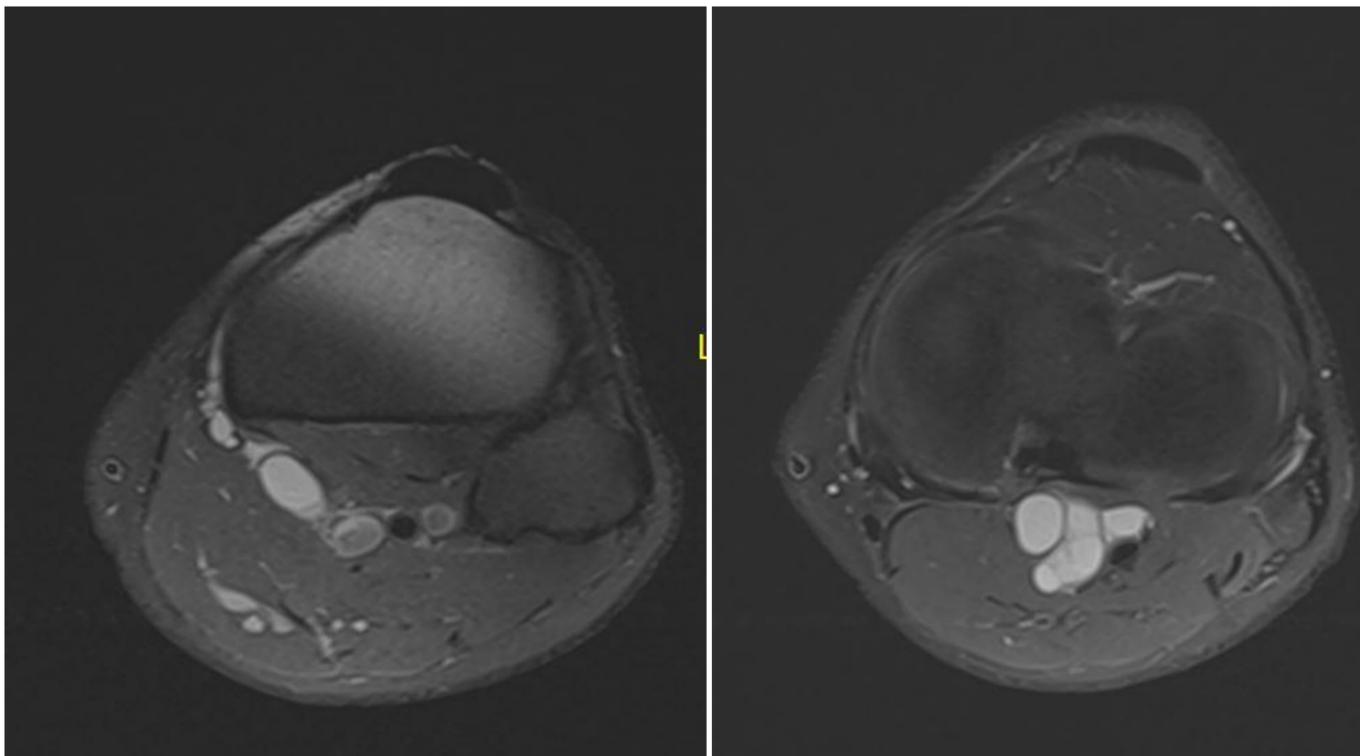
El paciente actualmente se encuentra **asintomático** y realizando la práctica deportiva sin problemas.

## 2. GANGLIÓN POSTEROMEDIAL

Varón de 45 años con sobrecarga gemelar tras caminar durante tiempo prolongado.



*Fig.13. RM cortes sagitales de rodilla. T1 izda. Y T2 FS derecha.*



*Fig.14. RM cortes axiales de rodilla potenciadas en T2 FS*

Los hallazgos de la RM de rodilla plantearon el diagnóstico diferencial entre **ganglión** posteromedial dependiente de la inserción distal del músculo semimembranoso y **enfermedad quística adventicial** de la arteria poplítea.

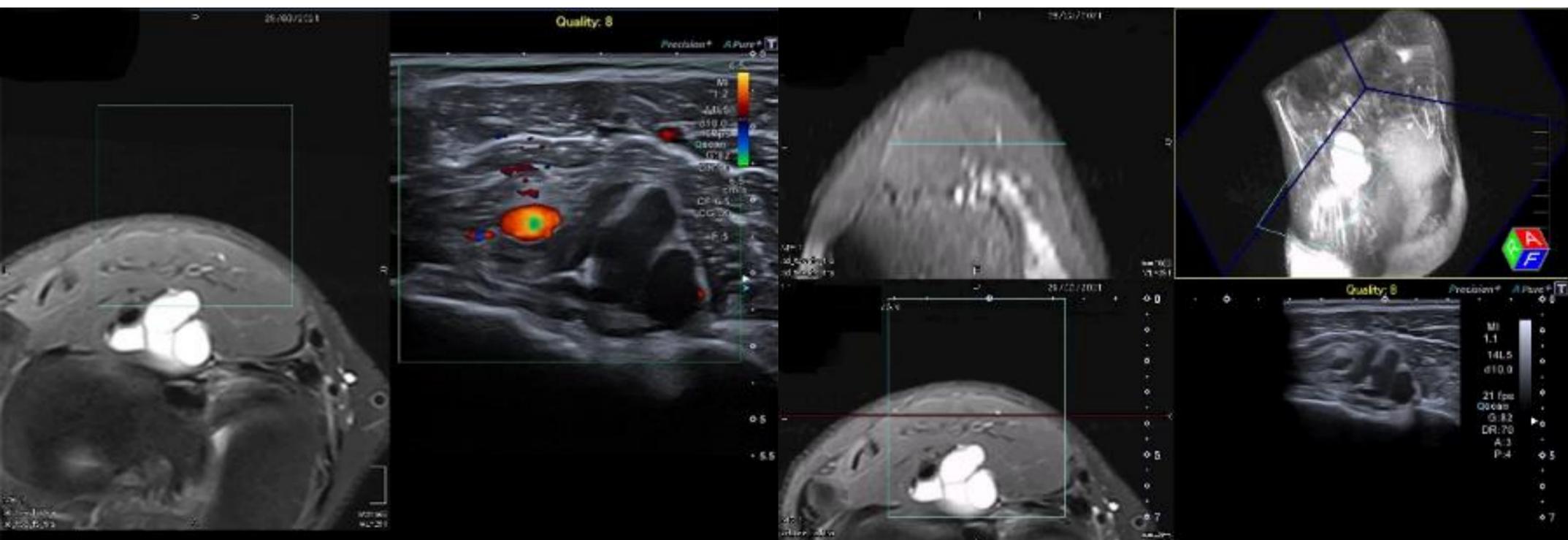


Fig.15. Imágenes de la fusión US-RM

Ante los hallazgos, se decidió realizar **drenaje** guiado por US-RM obteniendo material sinovial y confirmando el diagnóstico de **ganglión**.



Fig.16. Material obtenido en el drenaje

### 3. MALFORMACIÓN VENOSA

Mujer de 27 años con malformación venosa en vasto intermedio con posible síndrome de Arlequín.

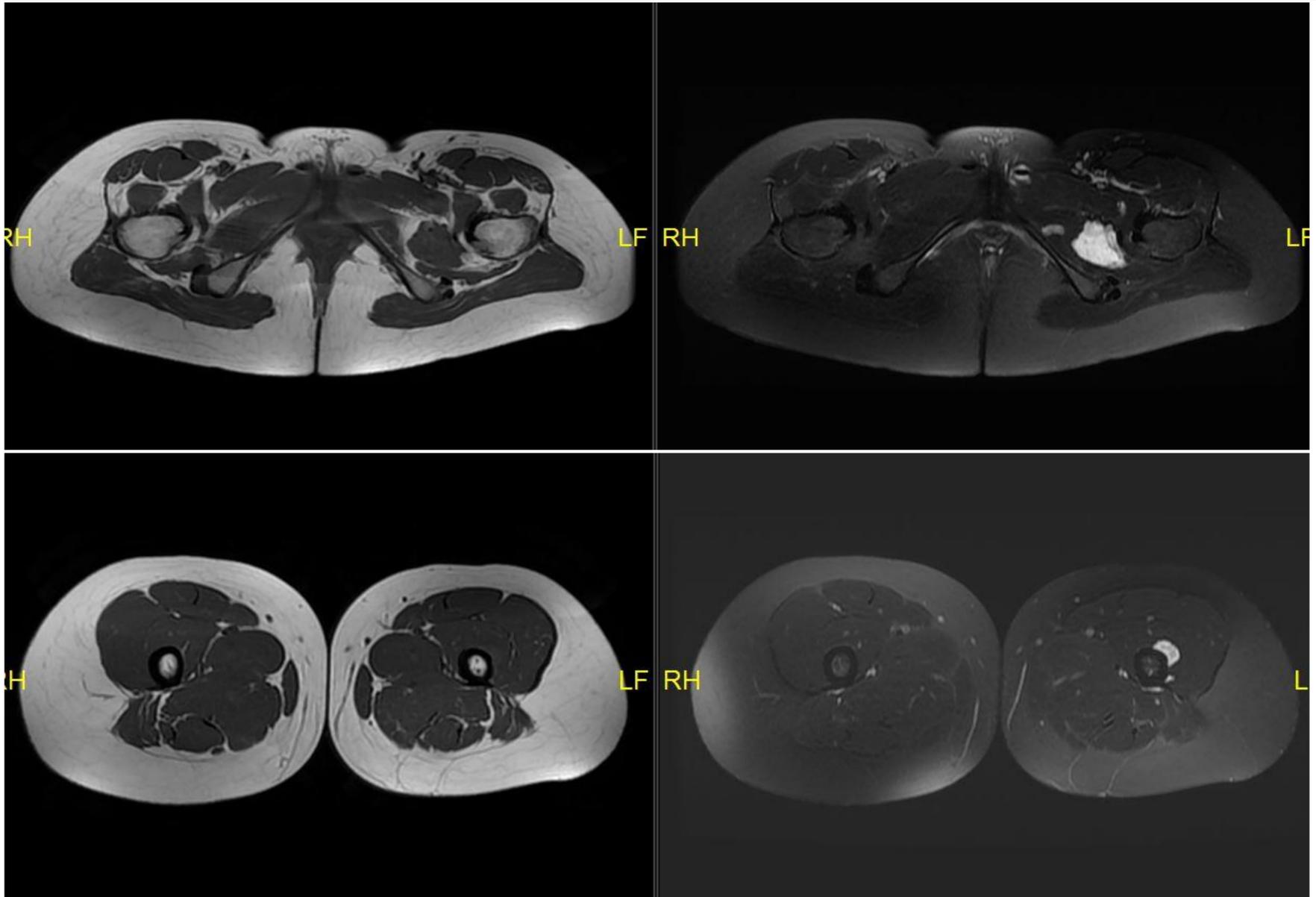


Fig.17. RM cortes axiales de secuencias potenciadas en T1 (izda.) y T2 FS (dcha.)

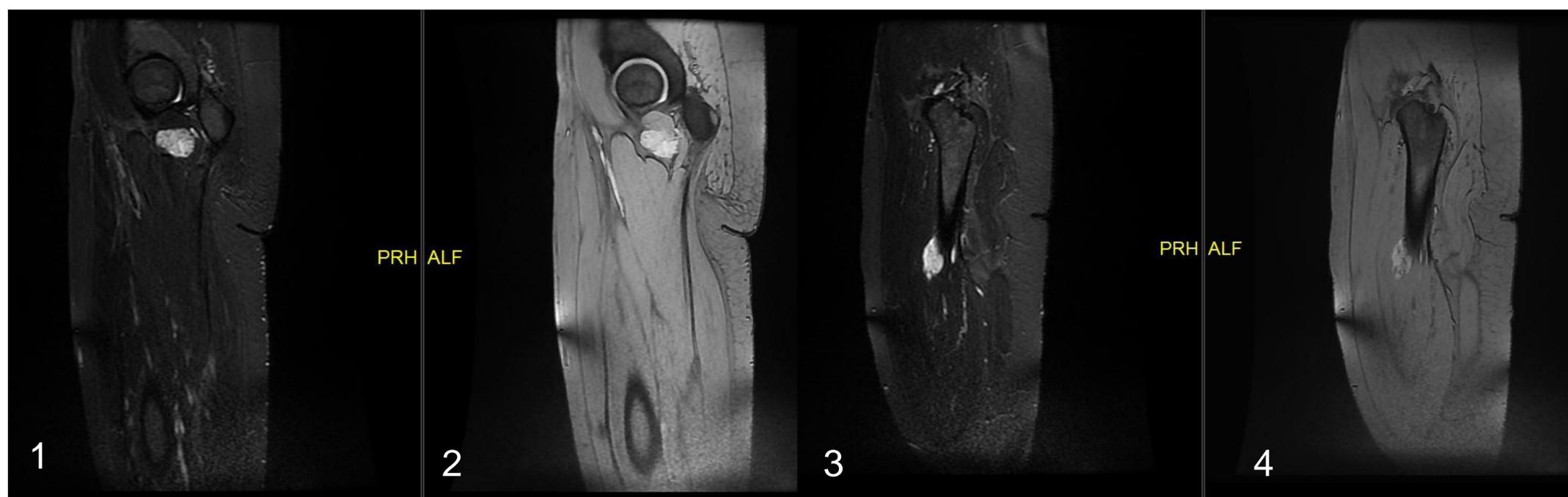
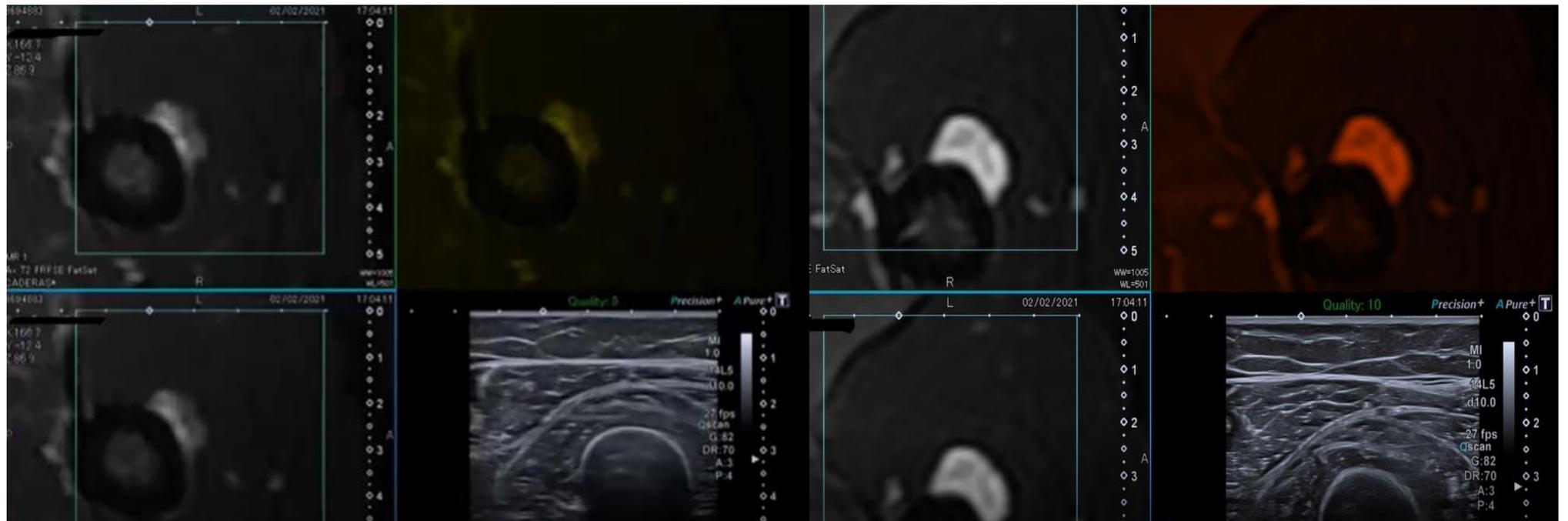


Fig.18. RM cortes sagitales de secuencias potenciadas en T2 FS (1 y 3) y T2 EG (2 y 4).

Se decidió tratar mediante **escleroterapia** apoyada con la técnica de fusión US-TC



*Fig.19. Imágenes del procedimiento de fusión US-TC.*



*Fig.20. Flebografía*

Se realizó **flebografía** directa con yodo. Se hizo para comprobar que hay un relleno completo de la malformación venosa durante la esclerosis.

#### 4. TUMOR DE LA VAINA DE NERVIOS PERIFÉRICOS

Varón de 46 años al que se realiza una RM y una ecografía en las que se observa **tumor** benigno de la **vaina de nervio periférico**, dependiente de la región proximal del **nervio mediano**, en relación con neurofibroma.

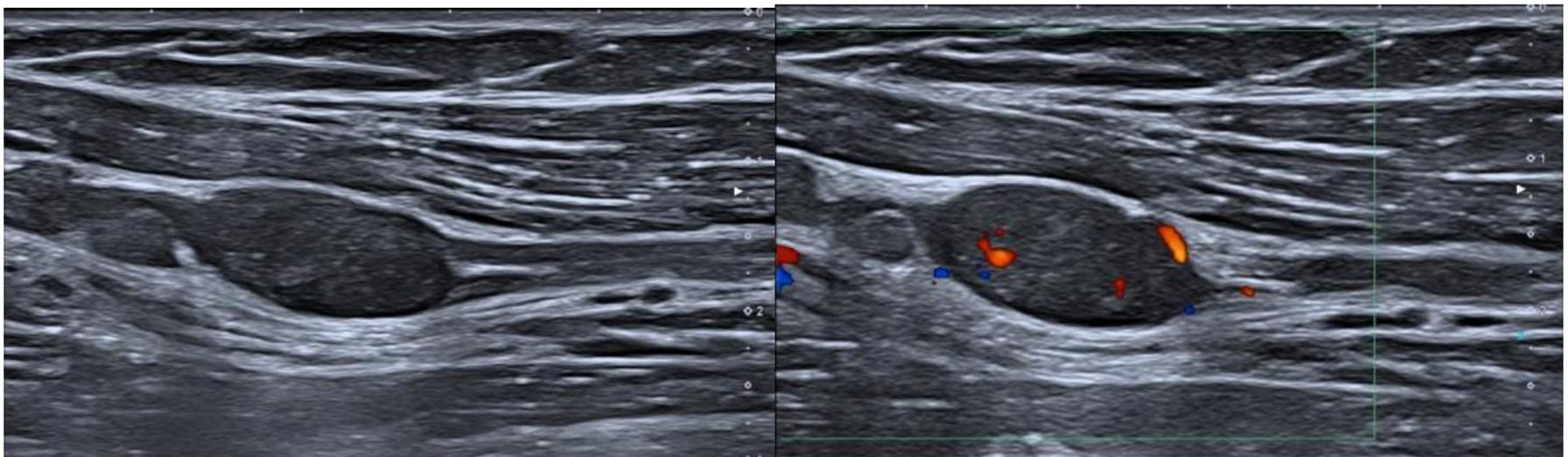


Fig.21. Ecografía modo B (izda.) y modo Doppler color (izda.)

La lesión es hipoecogénica con leve aumento de vascularización en el estudio Doppler color, de morfología fusiforme, más o menos centrada, sobre todo afectando a las fibras más anteriores y centrales, que atraviesan el tumor, con fibras posteriores más respetadas.

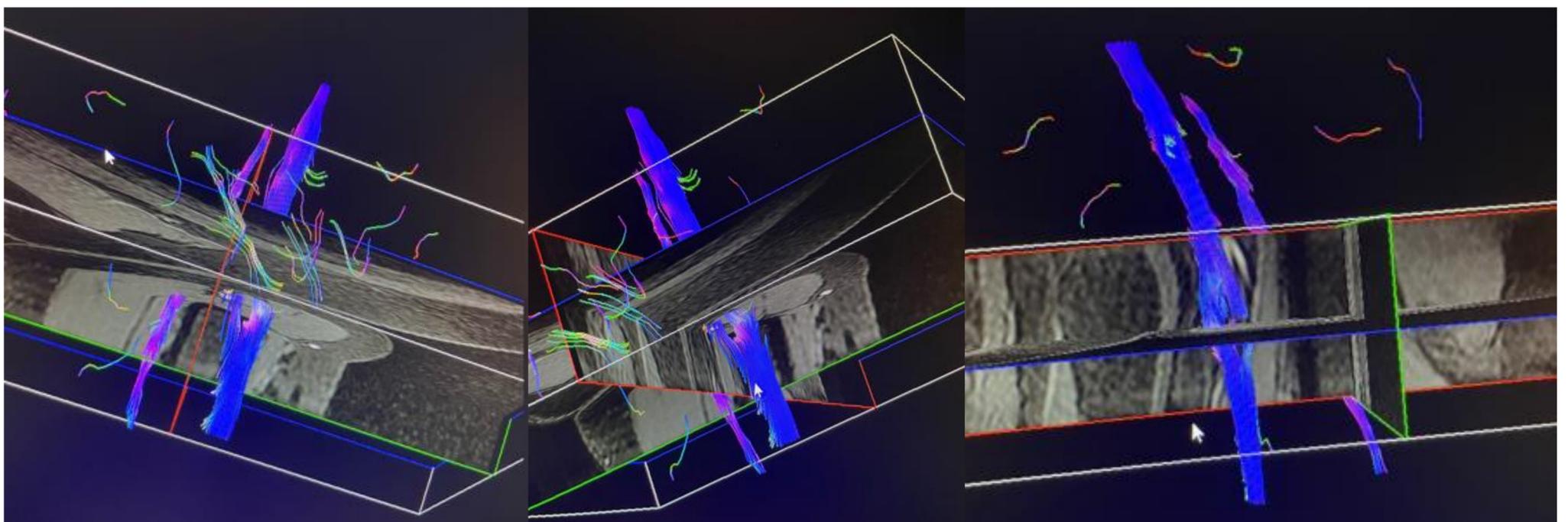


Fig.22. Tractografías con DTI de nervio periférico

Se realizó **biopsia** guiada por US-RM.

Resultado: Tumor maligno de vaina nerviosa periférica (Grado 1 OMS)

## 5. OSTEOMA OSTEOIDE

Mujer de 14 años con dolor en cadera derecha de 7 meses de evolución.

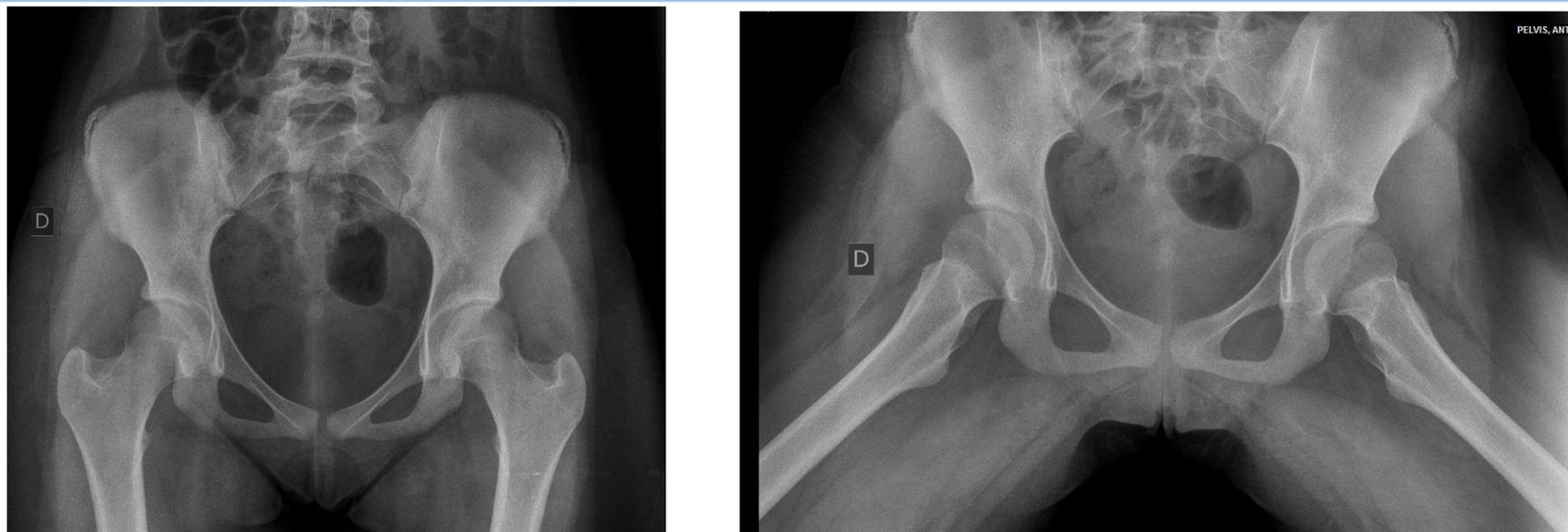


Fig.23. Rx AP y axial de cadera

Se realiza una **radiografía** en AP y axial de cadera sin observarse alteraciones significativas.

La paciente acude un año después por persistencia del dolor. Se decide completar estudio con **RM**.

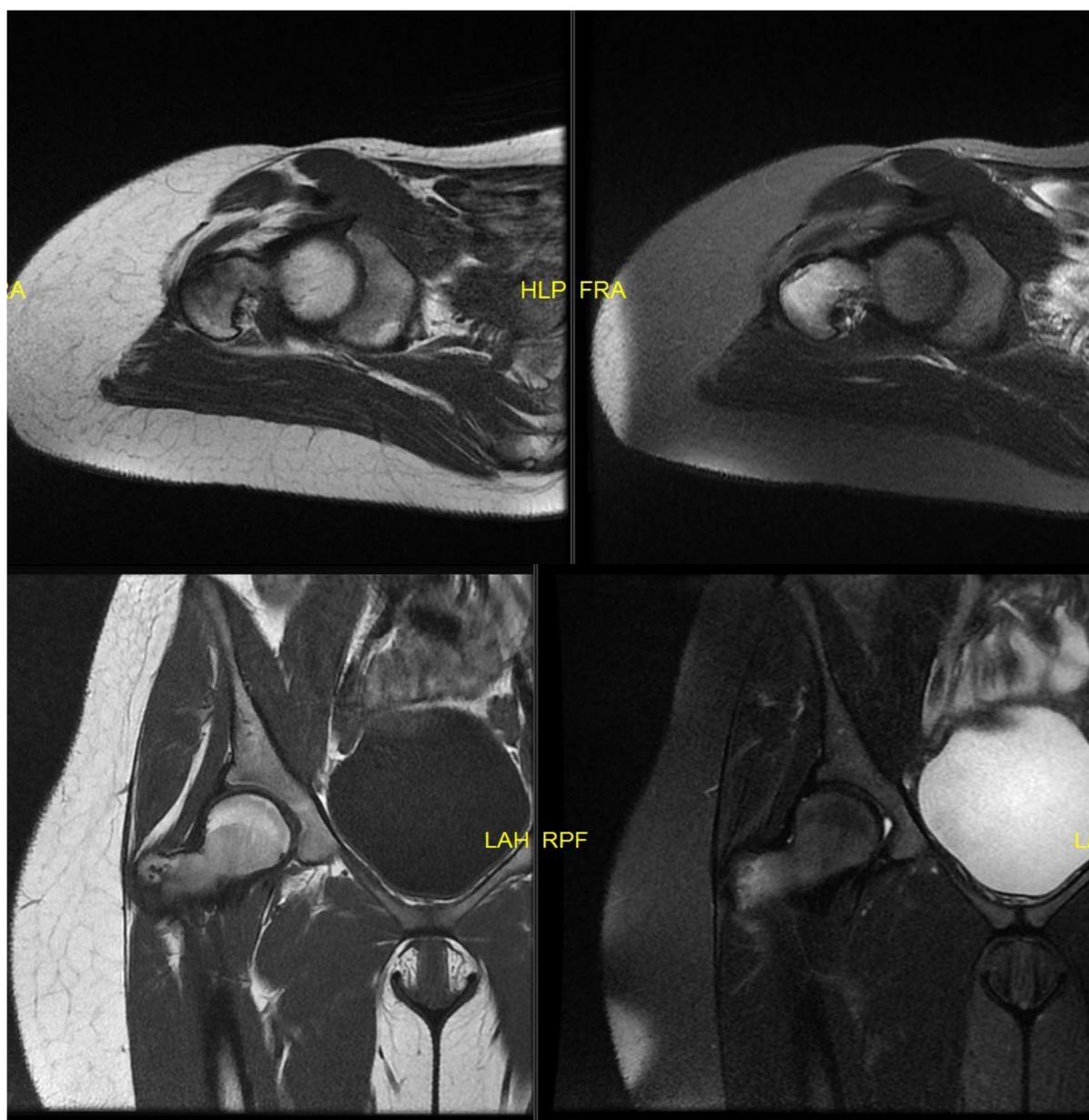
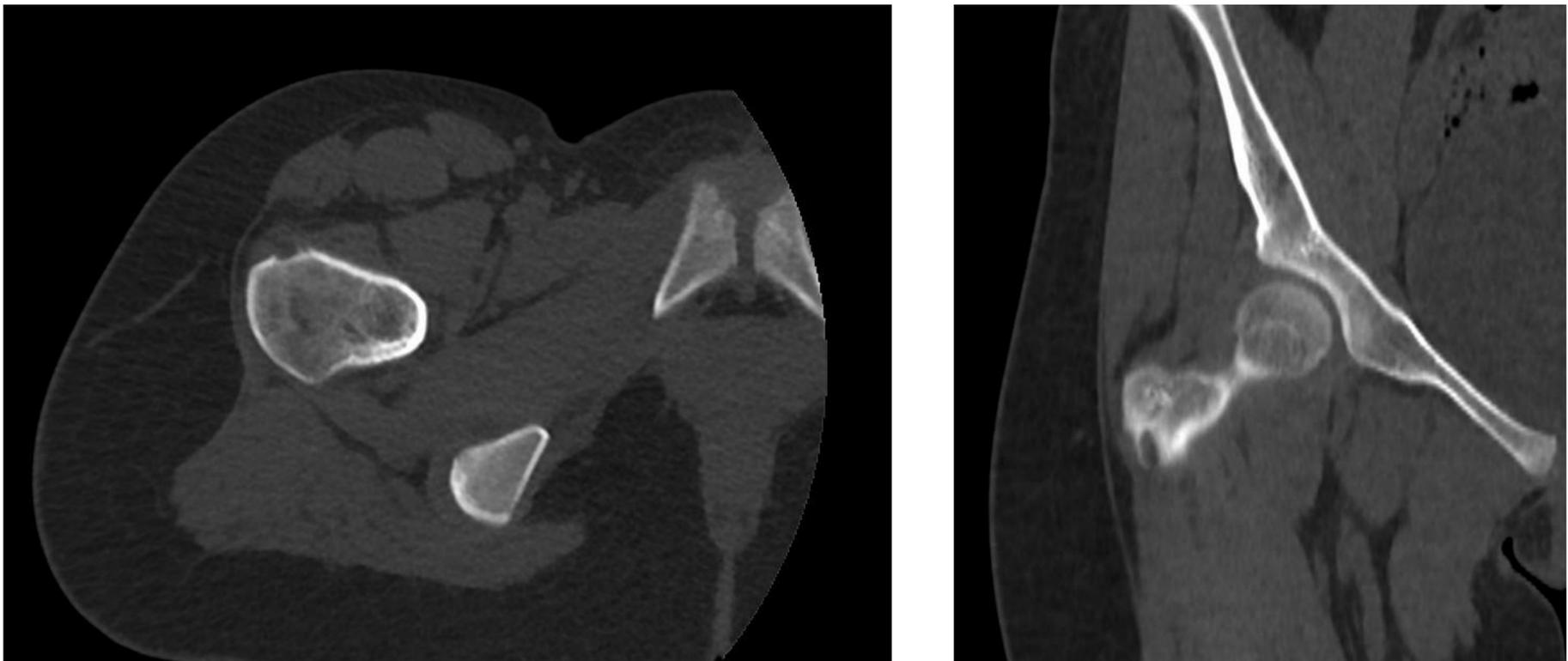


Fig. 24.

Secuencias de RM potenciadas en T1 (izda.) y T2 FS (dcha.). Superiores en cortes axiales e inferiores en cortes coronales.

Se observa **edema óseo** en cuello femoral derecho.

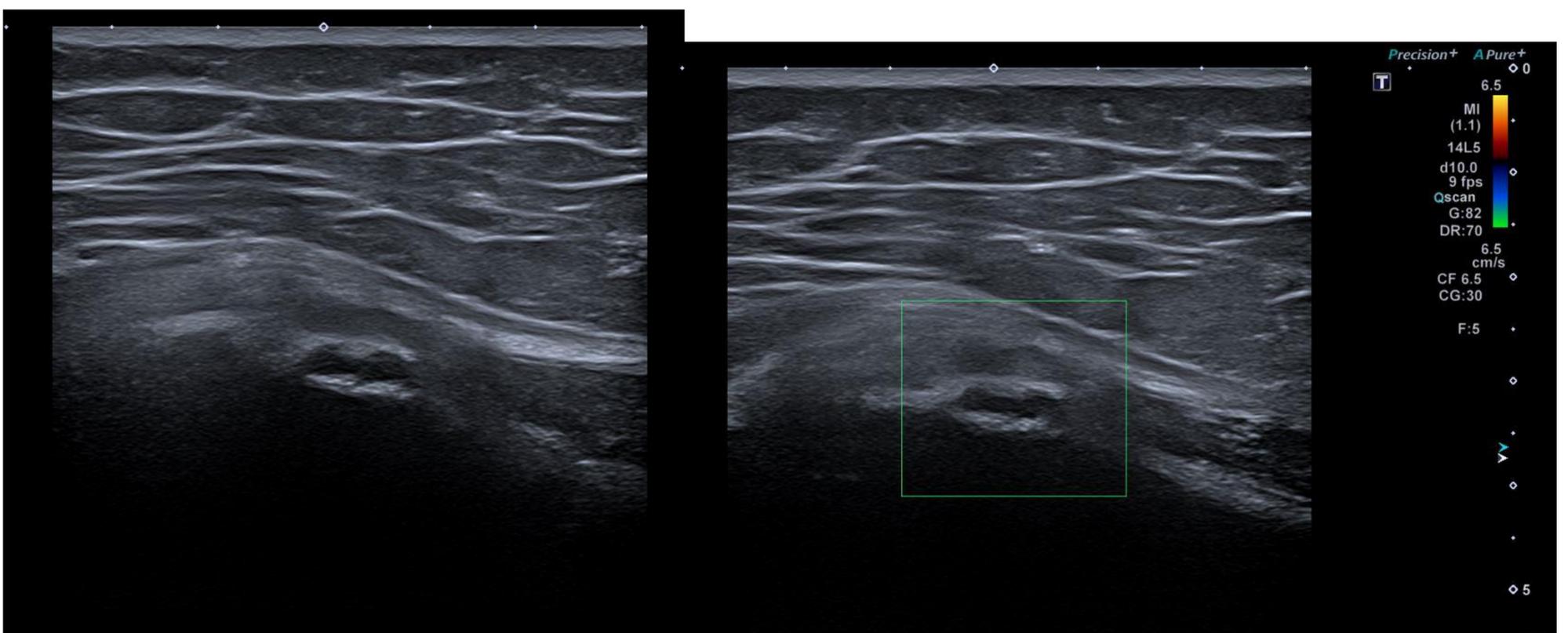
Posteriormente, se decide completar el estudio con **TC** para esclarecer si la causa del edema óseo visualizado en las imágenes de RM podría deberse a un **osteoma osteoide**.



*Fig.25. TC corte axial (izda.) y coronal (dcha.)*

Se observa la presencia en cuello femoral derecho de un **nidus** radioluciente rodeado de **hueso esclerótico subperióstico reactivo** confirmando la sospecha radiológica de osteoma osteoide.

La **TC** es excelente para la caracterización del osteoma osteoide y la modalidad de imagen de elección



*Fig.26. Ecografía en modo B (izda.) y en modo Doppler color (dcha.) de cuello femoral donde se aprecia el osteoma osteoide*

El **osteoma osteoide** es una lesión benigna que tradicionalmente se ha resecado quirúrgicamente. A veces es difícil por la dificultad de localizar el nidus durante la cirugía. Por lo que la **ablación por radiofrecuencia** guiada por TC es una alternativa terapéutica.

En el caso de esta paciente, se decidió realizar **radiofrecuencia** guiada por la técnica de **fusión US-TC**.

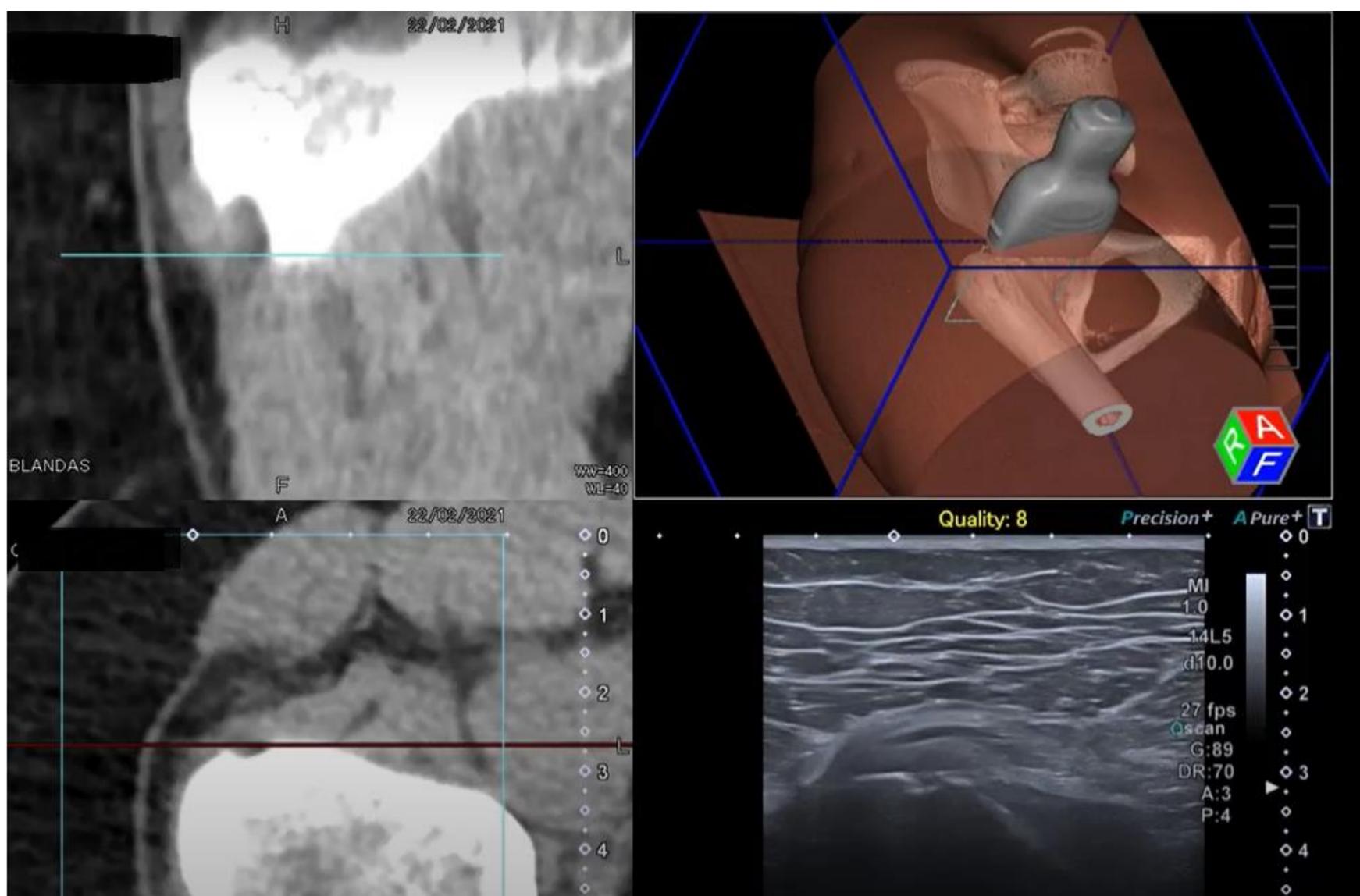
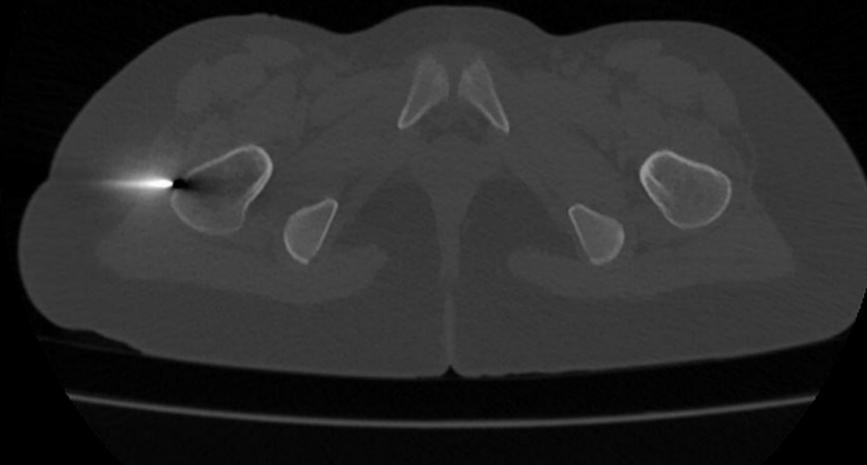
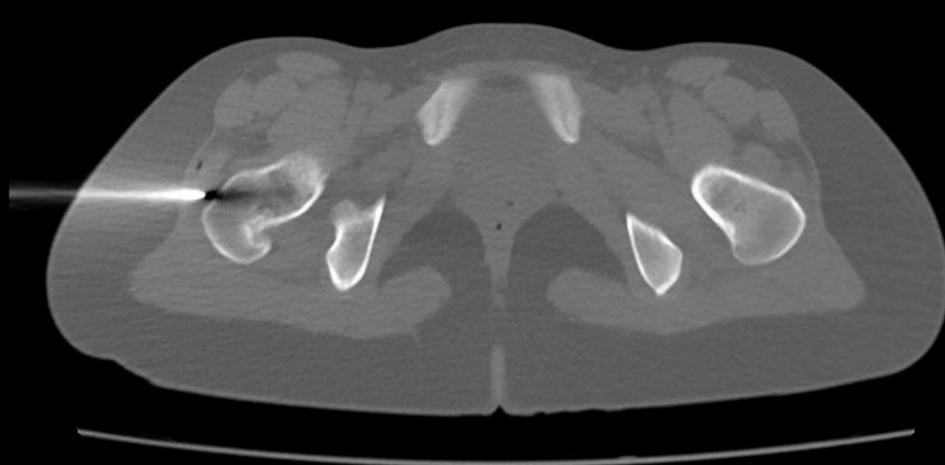


Fig.27 y 28. Imágenes de fusión US-TC.



## CONCLUSIONES

Las técnicas de **fusión** de imágenes por **ecografía-RM** y **ecografía-TC** pueden jugar un papel **importante** en el **futuro** de la radiología musculoesquelética como **método alternativo** para los procedimientos que se realizan habitualmente bajo la guía de TC o fluoroscopia -evitando la exposición innecesaria a la radiación, sobre todo en la población infantil- y aumentando la precisión de los que se realizan por ecografía.

Los mayores problemas de estas técnicas son poder realizar la sincronización de estudios US-RM y US-TC de forma más rápida, a lo que irá contribuyendo la continua evolución tecnológica y la curva de aprendizaje de los propios radiólogos. Resulta fundamental continuar investigando en este campo para poder establecer sus indicaciones de forma más precisa para que se puedan convertir en un instrumento diagnóstico y terapéutico de la práctica radiológica habitual.

## REFERENCIAS

- Martins, P. H., Costa, F. M., Lopes, F. P. P. L., & Canella, C. (2018). Advanced MR imaging and ultrasound fusion in musculoskeletal procedures. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, 26(4), 571–579. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2018.06.012>
- Carriero, S.; Della Pepa, G.; Monfardini, L.; Vitale, R.; Rossi, D.; Masperi, A.; Mauri, G. Role of Fusion Imaging in Image-Guided Thermal Ablations. *Diagnostics* **2021**, 11, 549. <https://doi.org/diagnostics11030549>
- Lee, K.-H., Lau, V., Gao, Y., Li, Y.-L., Fang, B. X.-H., Lee, R., & Lam, W. W.-M. (2019). Ultrasound-MRI fusion for targeted biopsy of myopathies. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 212(5), 1–3. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.20592>
- Wong-On, M., Til-Pérez, L., & Balias, R. (2015). Evaluation of MRI-US fusion technology in sports-related musculoskeletal injuries. *Advances in Therapy*, 32(6), 580–594. <https://doi.org/10.1007/s12325-015-0217-1>