



# La energía dual en la imagen musculoesquelética, la herramienta que estábamos esperando

Marina Da Silva Torres, Miguel Martínez-Cachero García, Luis Martínez Cambor, Sonia Aranda Jarreta, Pablo Corujo Murga, Luis Miguel Guadalupe González, Helena Cigarrán Sexto, María Del Valle López, Vicente Santamaría Pérez.

Hospital Universitario Central de Asturias (HUCA), Oviedo.

## OBJETIVO DOCENTE

- Repasar los principios básicos de la tomografía computarizada con energía dual (TCED) y sus principales aspectos técnicos.
- Recoger las principales aplicaciones en el sistema musculoesquelético.

## REVISIÓN DEL TEMA

### PRINCIPIOS TÉCNICOS DE LA TCED

El concepto de energía dual o espectral fue introducido por primera vez en la década de 1970 por Hounsfield, pero no fue hasta 2006 que se puso en práctica a medida que se desarrollaban las herramientas y los software de postproceso de imágenes. En lugar de un único haz de rayos X policromático utilizado en la TC convencional, que suele oscilar entre 70 kV y 140 kV, la TCED utiliza **dos espectros de rayos X diferentes** (normalmente, 80 kV y 140 kV) para adquirir dos conjuntos de datos que se pueden procesar para generar imágenes más complejas, con información cualitativa y cuantitativa [1,2].

El principio físico básico de la energía dual se sustenta en que el grado de **atenuación** de un material en particular (reflejado mediante Unidades Hounsfield, UH) depende de forma **directamente proporcional a su composición** (densidad y número atómico principalmente) e **inversamente proporcional a la energía** del haz de rayos X utilizada. Por este motivo, modificando o combinando energías en nuestro aparato podemos variar la atenuación final de diversos materiales [3,4,5].

En el ámbito diagnóstico, el principal mecanismo de interacción entre los rayos X y la materia se explica por el efecto fotoeléctrico: el fotón incidente invierte su energía en arrancar un electrón de la capa kappa (la más interna), desplazando al resto de electrones de las otras capas para ocupar el lugar liberado, resultando en la liberación de un fotoelectrón. Para que esto suceda la energía del fotón ha de ser superior a la de la capa kappa, que es diferente según el número atómico del material.

Hay determinados materiales que por su naturaleza (elevado número atómico) presentan umbrales kappa cercanos a los niveles de energía utilizados en la práctica clínica, como el yodo y el calcio. Estos se ven más influenciados con las variaciones de energía aplicadas con la TCED (80 y 140 keV), ya que se verán más afectados por el efecto fotoeléctrico respecto a otros materiales del cuerpo humano como el hidrógeno o el carbono (que tienen Z y umbrales kappa mucho más bajos).

## Obtención de imágenes:

Existen diferentes métodos de exploración para obtener imágenes de energía dual, siendo el más común y el que se utiliza en este trabajo la TC de energía dual de **doble fuente** (Siemens Healthineers), que utiliza dos fuentes de rayos X, ubicadas a  $90^\circ$  respectivamente, produciendo diferentes voltajes con sus dos detectores correspondientes (Figura 1). Existen otras técnicas como la conmutación rápida de kilovoltaje de fuente única (GE Healthcare) y el detector de doble capa (Philips Medical Systems) [6].

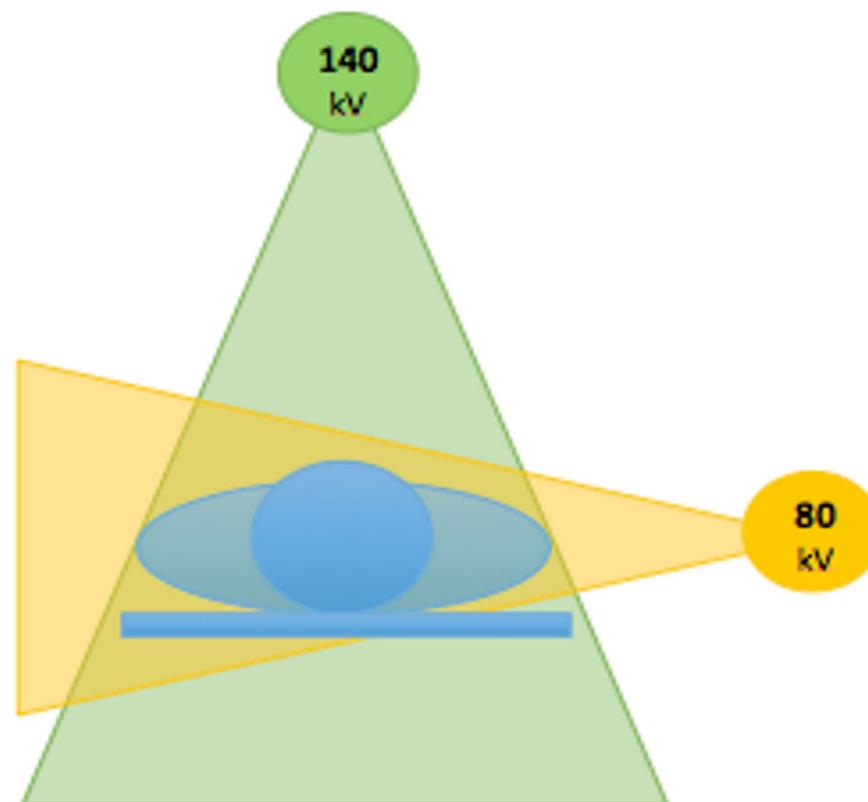


Figura 1: Representación de equipo TCED con doble fuente (tubo de 80 keV y tubo de 140 keV), orientados a  $90^\circ$  respectivamente.

## Reconstrucción y postprocesado de la imagen:

**Imágenes “average” o “mixed”:** este tipo de imágenes constituyen una simulación de un estudio convencional a un solo voltaje, a través de una combinación o fusión de las adquisiciones de baja energía (80 kV) y alta energía (140 kV).

**Imágenes Monoenergéticas Virtuales (ME):** estas reconstrucciones muestran las imágenes como si se hubiesen obtenido a un nivel particular de energía en un rango entre 40kV y 190 kV normalmente (Figura 2).

- ME de baja energía: mejoran la relación contraste-ruido facilitando la diferenciación de estructuras de tejidos adyacentes altamente contrastados. Por ejemplo, aumentan la intensidad de contraste en el interior de los vasos facilitando su visualización en estudios angiográficos.
- ME de alta energía: reducen el artefacto por endurecimiento del haz en presencia de material metálico, como por ejemplo las prótesis articulares o artrodesis metálicas.

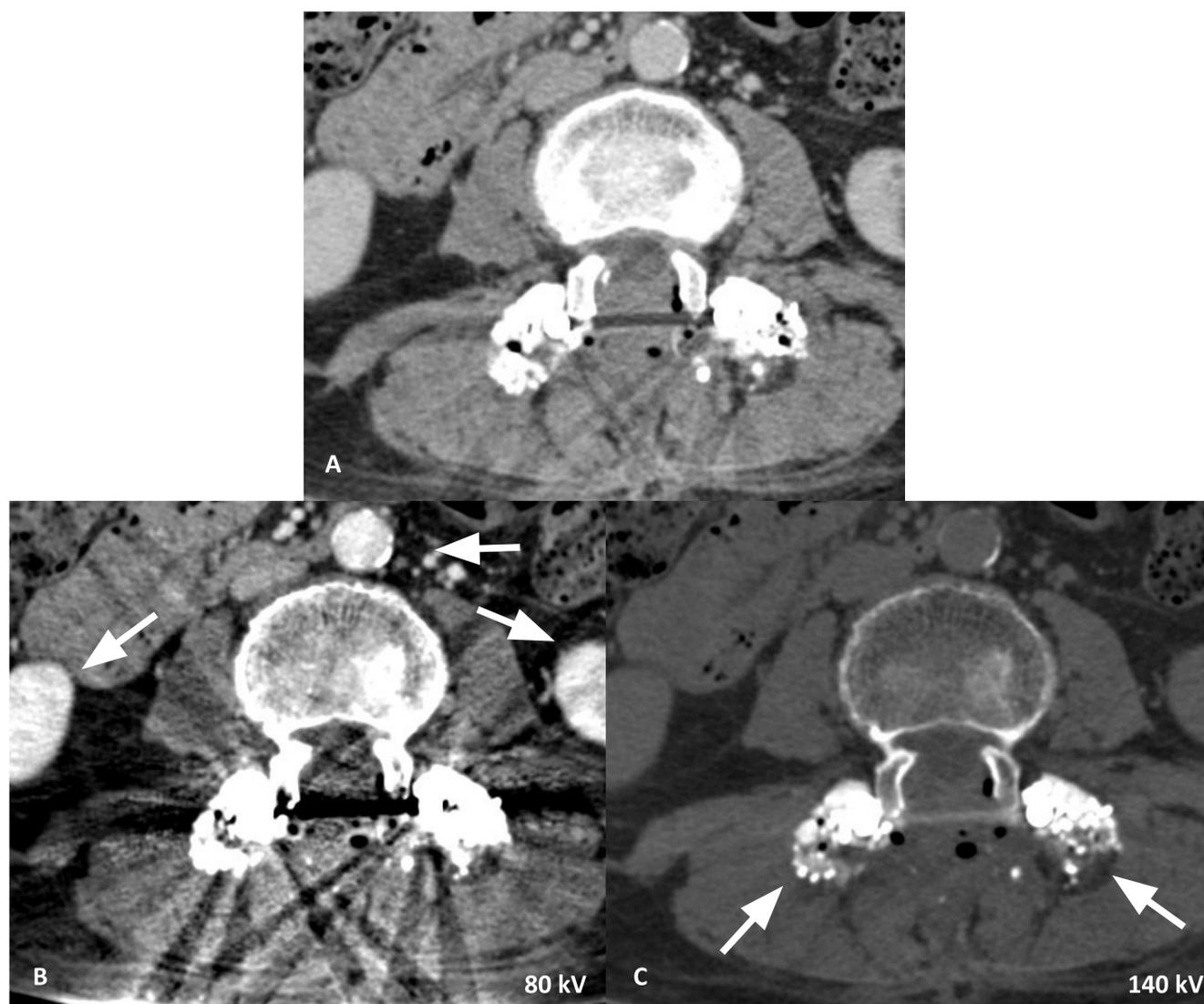


Figura 2: TCED de columna lumbar con contraste IV. Reconstrucción average (A) que simula una adquisición con TC convencional. ME de baja energía (B) donde se aprecia mayor contraste de las estructuras vasculares y de órganos hipercaptantes. ME a alta energía (C) con importante disminución del endurecimiento del haz por el material metálico protésico.

**Descomposición de materiales:** tanto el calcio como principalmente el yodo varían de forma significativa su atenuación con los diferentes niveles de energía, como hemos visto, lo que permite sustraerlos o aislarlos para generar mapas específicos (Figura 3):

- Imágenes **Sin Contraste Virtual (SCV)**: estas reconstrucciones permiten evitar la realización de un estudio basal verdadero sin contraste virtual, lo que reduce el tiempo de la exploración así como la dosis recibida por el paciente.
- **Mapas de yodo:** el postprocesado de imágenes permite calcular la cantidad de yodo por voxel. Esto aporta información no sólo cuantitativa (mediante la medición objetiva del realce de una estructura) sino también cualitativa mediante una visión general de la distribución del yodo en el organismo.
- Imágenes **Sin Calcio Virtual (SCaV)**: son especialmente útiles para diferenciar sangre de pequeñas calcificaciones. A nivel del sistema musculoesquelético, su aplicación más establecida es eliminar el hueso trabecular de la cavidad de la médula ósea, lo que permite identificar aumentos de densidad sutiles que mediante la TC convencional son prácticamente imperceptibles. Su principal aplicación actual es la detección del edema óseo.

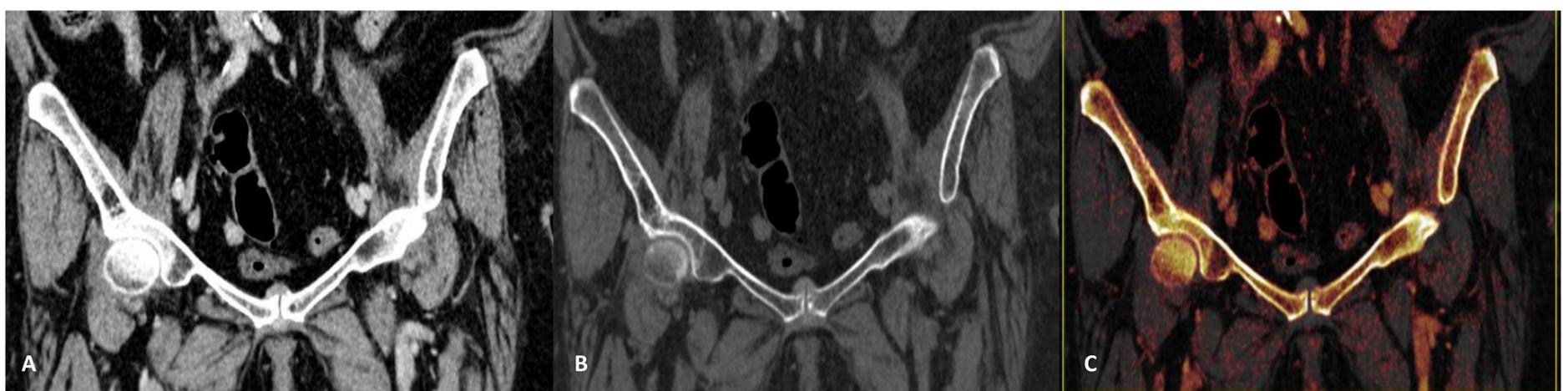


Figura 3: TCED pelvis con contraste IV, imágenes en coronal. Reconstrucción average (A), imagen SCV (B) y Mapa de yodo (C).

**Diferenciación de materiales:** con valores predefinidos es posible diferenciar los materiales por su composición. Se utiliza principalmente para distinguir las litiasis de ácido úrico de aquellas predominantemente cálcicas, siendo su uso más extendido la caracterización de las urolitiasis. En la patología osteoarticular permite de un modo similar identificar cristales de monourato sódico para el diagnóstico de gota.

## PRINCIPALES APLICACIONES DEL TCED EN LA IMAGEN MUSCULOESQUELÉTICA

### GOTA

El diagnóstico definitivo de gota se realiza mediante la visualización de cristales de monourato sódico en el aspirado del líquido articular, aunque de forma tradicional con una clínica y distribución típica suele ser suficiente.

Cuando la presentación es **atípica**, la localización es de **difícil acceso** para un análisis del líquido articular, éste es **no concluyente** o cuando existen otras artropatías concomitantes, la TCED ha demostrado ser una herramienta útil [7,8]. Tanto es así, que la detección de depósitos tofáceos de la gota fue una de las primeras indicaciones establecidas de la energía dual en el campo de la imagen musculoesquelética. Gracias a un algoritmo de diferenciación de materiales, es posible medir la diferencia de atenuación del calcio y de los cristales de monourato sódico a diferentes niveles de energía. Así, el mapa de urato se puede fusionar con las imágenes en escala de grises y producir un mapa de color visual y fácilmente interpretable (Figura 4 y Figura 5).

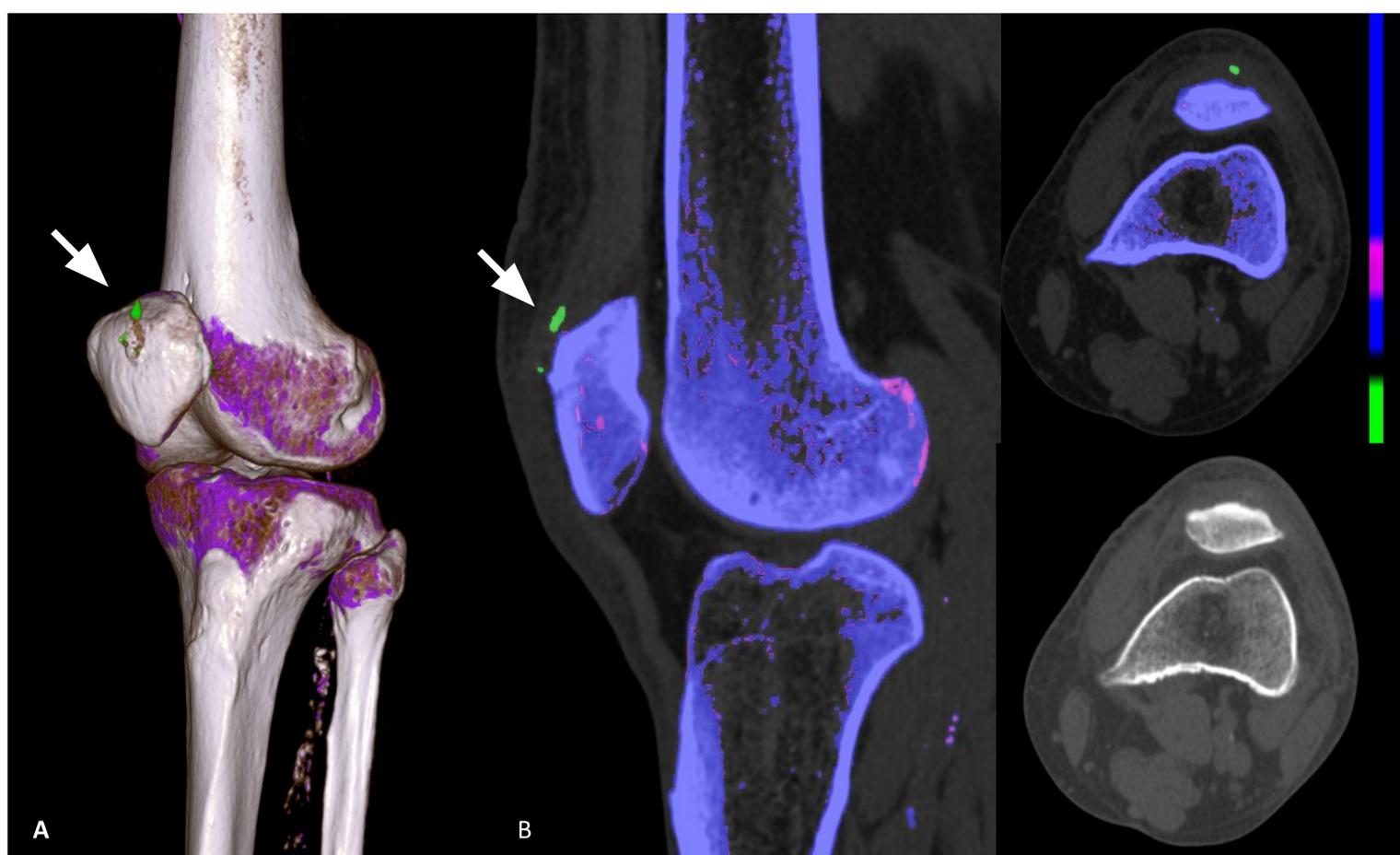


Figura 4: Varón de 72 años con episodios de dolor de tobillo y rodilla agudos y recurrentes. Exploración con dolor a la flexión de la rodilla, sin evidencia de peloteo o tumefacción. TCED con reconstrucción volumétricas (A) y en color (B) con depósito de ácido úrico prepatelar (verde).



Figura 5: Varón de 60 años con dolor agudo en primera articulación metatarsfalángica. Reconstrucciones volumétricas donde se observa el aumento de partes blandas en la región medial de la articulación (tofo) con cristales de monourato sódico tanto en la articulación metatarsfalángica como en la falange distal.

Estas imágenes nos permiten **detectar depósitos de ácido úrico en tejidos periarticulares, en ligamentos y tendones** de forma directa, lo que nos permite realizar el diagnóstico de gota a pesar de que los niveles de uricemia no estén elevados de forma significativa. También es posible realizar mediciones cuantitativas volumétricas lo que permite **monitorizar la enfermedad y la respuesta al tratamiento** [9,10]. Como **limitación** es la disminución de su rentabilidad en estadios iniciales, especialmente las primeras 6 semanas, cuando los depósitos son microscópicos o la concentración es baja.

Esta técnica también ha demostrado ser útil en casos de **pseudogota**. En ocasiones los depósitos de pirofosfato cálcico pueden simular clínicamente depósitos tofáceos, principalmente en la articulación radiocubital distal. La TCED aporta información sobre la composición de los cristales en otras artropatías evitando, al menos de inicio, métodos invasivos.

## EDEMA ÓSEO

El **gold standard** para la detección de edema óseo es la **RM**, visualizado como una disminución de la señal en secuencias T1 y aumento en T2 con saturación grasa. A pesar de que es una técnica de elevada sensibilidad, no siempre se puede realizar, especialmente en situaciones urgentes debido al mayor coste y menor disponibilidad. Además se trata de una prueba relativamente larga, que exige cierta colaboración del paciente y aunque cada vez menor, puede ser incompatible con ciertos dispositivos (marcapasos). En estos casos, la TCED ha demostrado tener mucho potencial y ser una **técnica alternativa útil**; incluso ha demostrado reducir la necesidad de segundas pruebas diagnósticas [11,12].

En la TC convencional el edema de médula ósea se presenta como un aumento de densidad en la cavidad medular del hueso afecto en comparación con hueso sano, sin embargo su identificación es muy limitada debido a la superposición del hueso trabecular. Las **reconstrucciones Sin Calcio Virtual (SCaV)** de la TCED sustraen la densidad correspondiente al hueso trabecular para poder estudiar correctamente la médula ósea. Las imágenes obtenidas se superponen a un **mapa de color** y se codifica con diferentes tonos la médula ósea amarilla normal y el **aumento de densidad** intramedular [13,14]. En el caso del mapa de color utilizado en este trabajo (SOMATOM Flash Siemens con software de postproceso Syngo.via) la médula ósea amarilla normal se representa en color azul y el espacio intramedular patológico en verde (Figura 6).

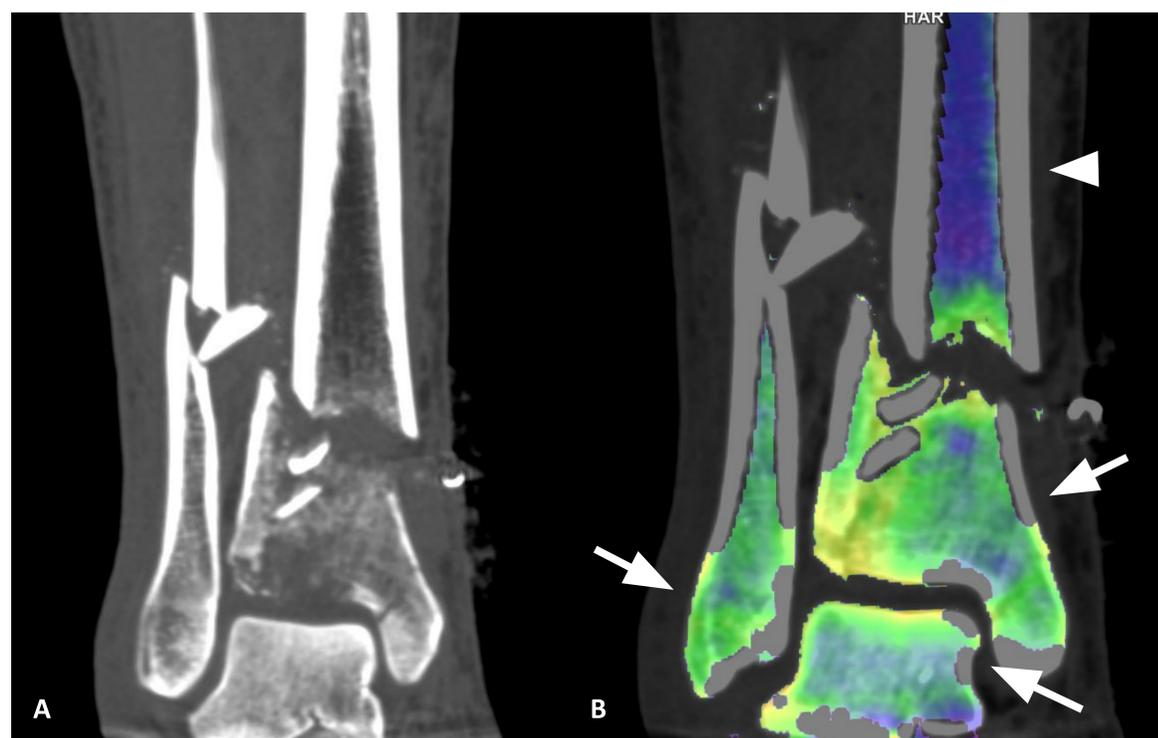


Figura 6: Fractura compleja de tobillo (fractura conminuta metafisodiafisaria de tibia, del pilón tibial y extremo distal del peroné). Reconstrucciones coronales en ventana ósea (A) y en mapa de color con técnica dual (B). Se puede percibir de forma evidente la alteración en el mapa de color por el edema óseo traumático del pilón tibial, extremo distal del peroné y cúpula astragalina (en verde/amarillo, flecha) respecto al color normal de la médula ósea de la diáfisis tibial (azul, punta de flecha).

## Detección de fracturas ocultas

Ante un traumatismo importante la primera prueba a realizar ante la sospecha de fractura es la radiografía simple, siendo en muchos casos suficiente para el diagnóstico. No obstante, dependiendo de la fuerza, el mecanismo y el lugar de impacto, las fracturas pueden ser más o menos evidentes en la radiografía y es necesario realizar una TC.

La detección de edema óseo juega un papel importante ya que aumenta la sensibilidad de **detección de fracturas ocultas o sutiles** como las fracturas sin desplazamiento significativo, aquellas que implican una sóla cortical o en las que hay compromiso único del hueso trabecular. Son especialmente importantes las fracturas ocultas que implican al **fémur proximal, pelvis, columna y muñeca** (Figuras 7, 8 y 9), debido a que un diagnóstico tardío en estas localizaciones puede significar un procedimiento quirúrgico más agresivo, mayor inmovilización y mayor tasa de complicaciones [15,16,17].

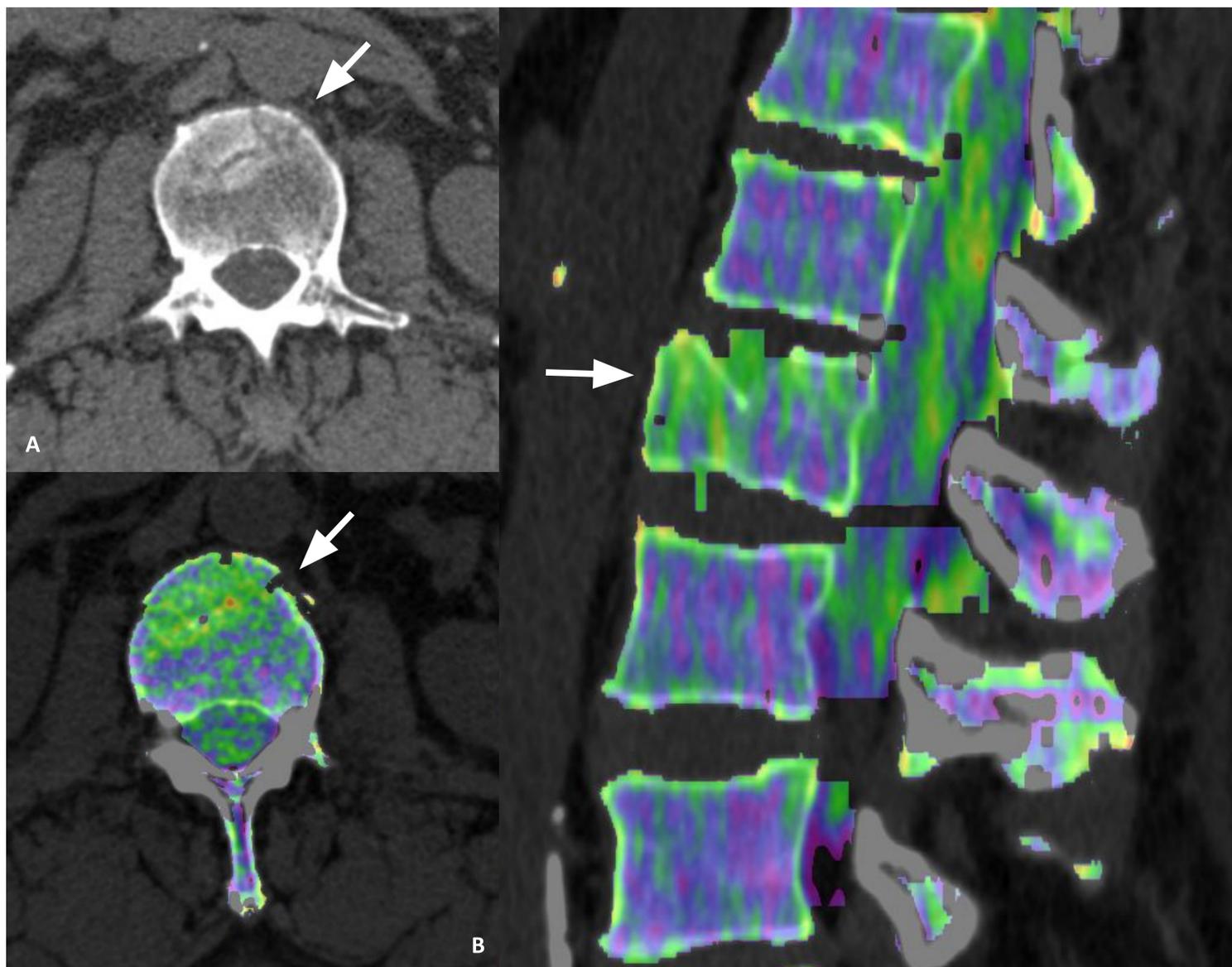


Figura 7: Mujer de 65 años que sufre caída sobre talones desde un metro de altura. En la imagen de TC se identifican pequeñas líneas de fractura del platillo superior de L1, mínimamente desplazadas y que pueden pasar desapercibidas (A). En el mapa de color se puede ver la región anterior del cuerpo vertebral representada en verde como signo de edema asociado a la fractura, muy fácilmente detectado (B, axial y sagital).

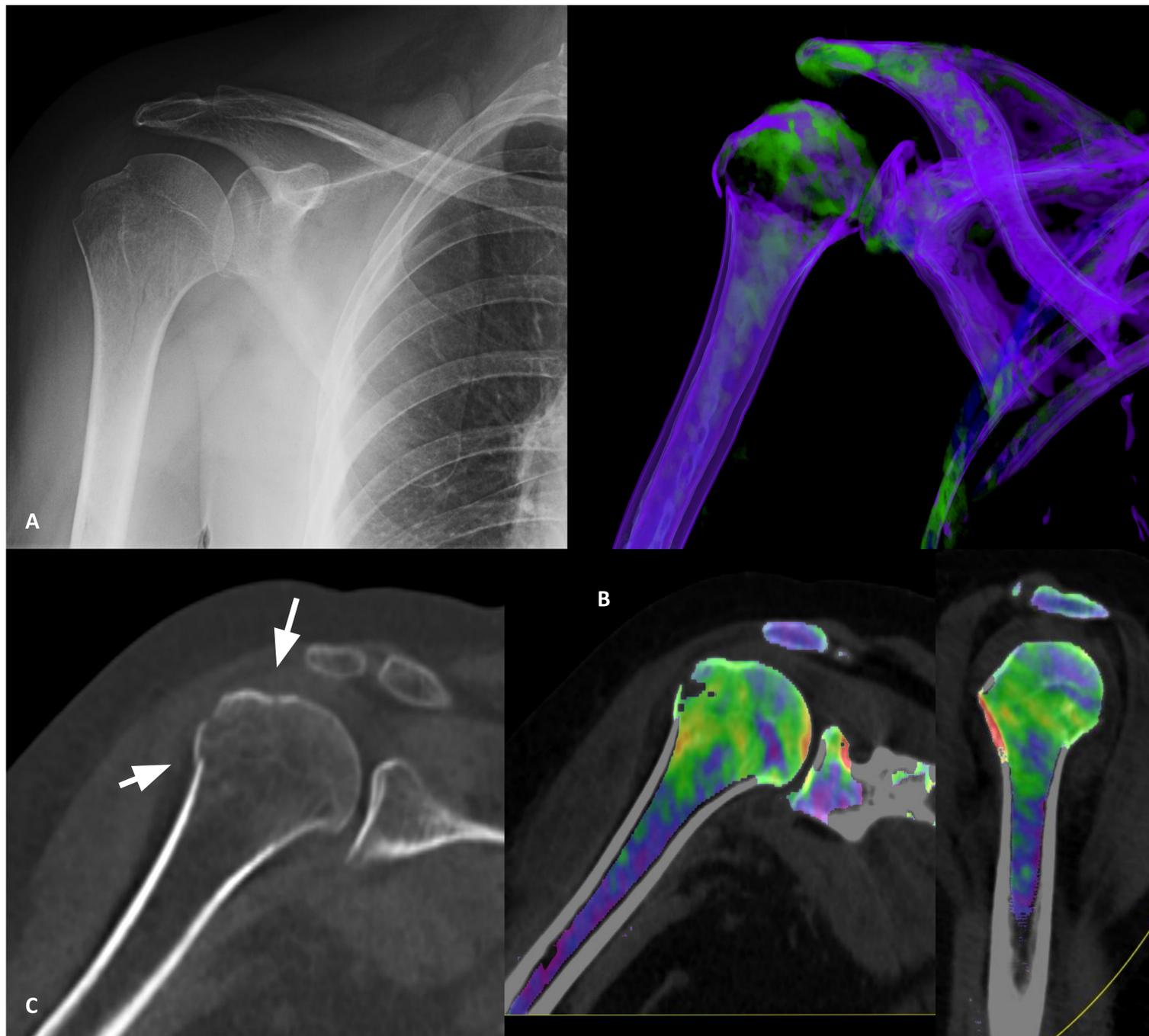


Figura 8: Varón de 31 años con caída sobre el hombro derecho jugando al hockey. En la radiografía simple no se identifican líneas evidentes de fractura (A). Se realiza TCED identificando una llamativa alteración en el mapa de color en la cabeza humeral (B, reconstrucción volumétrica y planos coronal y sagital) y, retrospectivamente, una línea de fractura a nivel del troquíter compatible con fractura no desplazada (C).

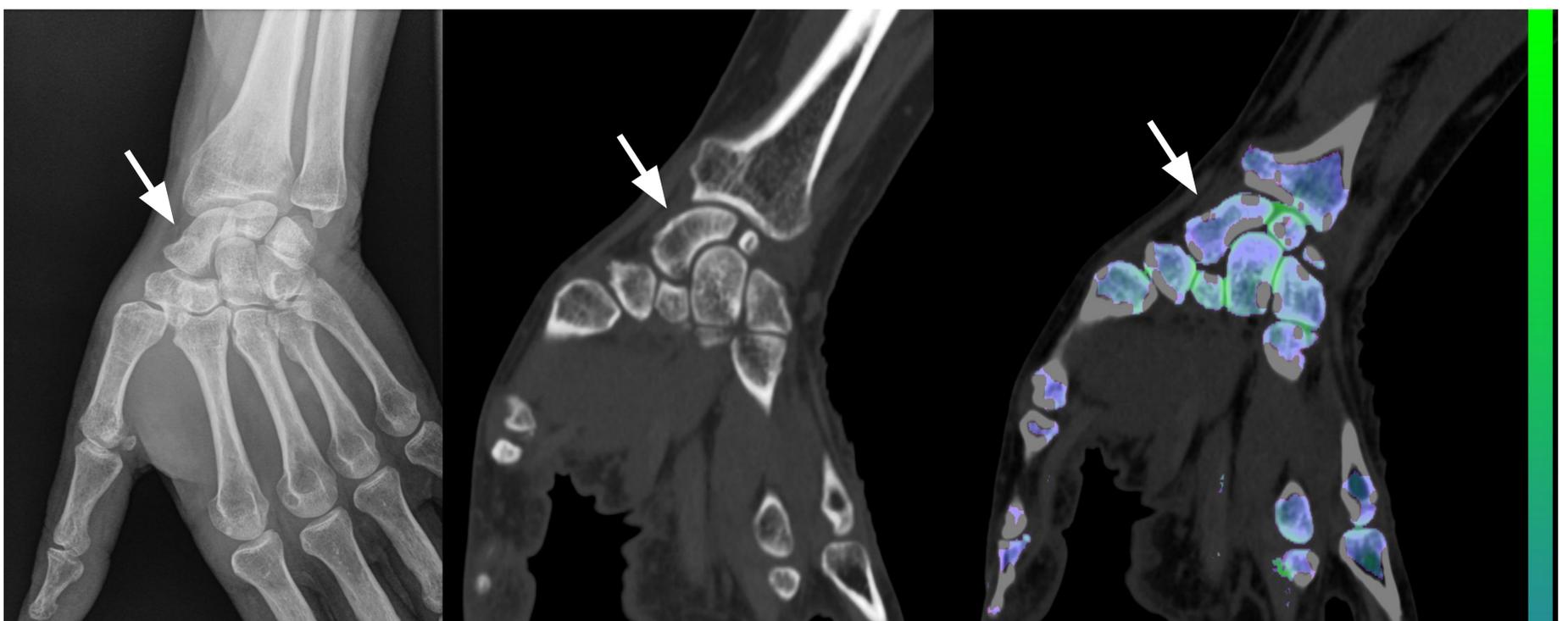


Figura 9: Mujer de 57 años que refiere caída sobre la muñeca. Se realiza Rx simple para descartar fractura de escafoides (A) identificando una dudosa línea hiperluciente. Dada la sospecha se decide realizar TC, donde no se observa una línea clara de fractura en la adquisición convencional (B) ni tampoco se evidencia edema óseo en el mapa de color (C) que sugieran fractura por lo que se descarta patología ósea aguda y se decide evitar la inmovilización prolongada de la articulación.

## Valoración de fracturas vertebrales

Las fracturas vertebrales son una causa importante de morbilidad y mortalidad, especialmente en mayores de 65 años, y son frecuentemente infradiagnosticadas en la práctica clínica. Actualmente existe una tendencia a utilizar cada vez más las técnicas de imagen para detectarlas y proporcionar tratamiento de forma precoz. El problema es que la mayoría aparecen solapadas a cambios degenerativos y osteoporosis y puede ser difícil diagnosticarlas. El uso de la TCED y la detección del edema óseo **facilita su identificación y reduce las pruebas complementarias de RM** de columna de forma significativa [18]. Además, en presencia de varias fracturas permite diferenciar si son recientes o remotas en función de la presencia de edema (Figura 10).

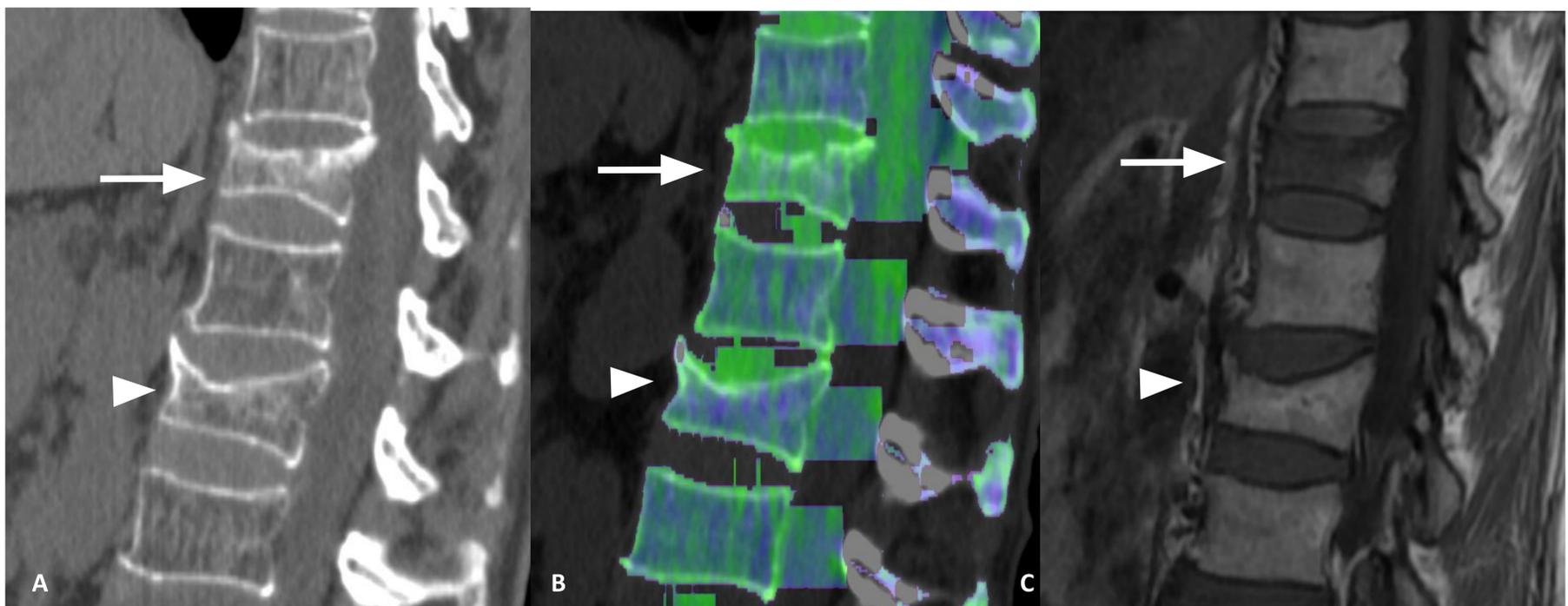


Figura 10: Mujer de 77 años que sufre una caída sobre sus pies desde un metro de altura, hace 2 días. En la TC de columna dorsolumbar (A) se objetivan dos colapsos vertebrales parciales. En el mapa de color de energía dual (B) la vértebra superior (T11, flecha) presenta una alteración de color verde respecto a la vértebra inferior (L1, punta de flecha), en relación con edema óseo que indica colapso reciente. A los pocos días vemos la correlación del edema con la imagen de RM (C) con hipointensidad en secuencia T1.

## Detección de patología inflamatoria e infiltrativa

La presencia de edema óseo no sólo aparece en contextos traumáticos. Cualquier condición inflamatoria, infecciosa o incluso infiltrativa que afecte a la cavidad medular puede manifestarse como edema óseo y, por consiguiente, podemos detectarlo con la TCED (Figuras 11 y 12). Especialmente en estos casos la energía dual puede ser útil como técnica de inicio o como screening en los estudios de control, ya que la mayoría de artropatías inflamatorias, artropatías por depósito, osteomielitis y patología tumoral requerirán igualmente estudio de RM [19].

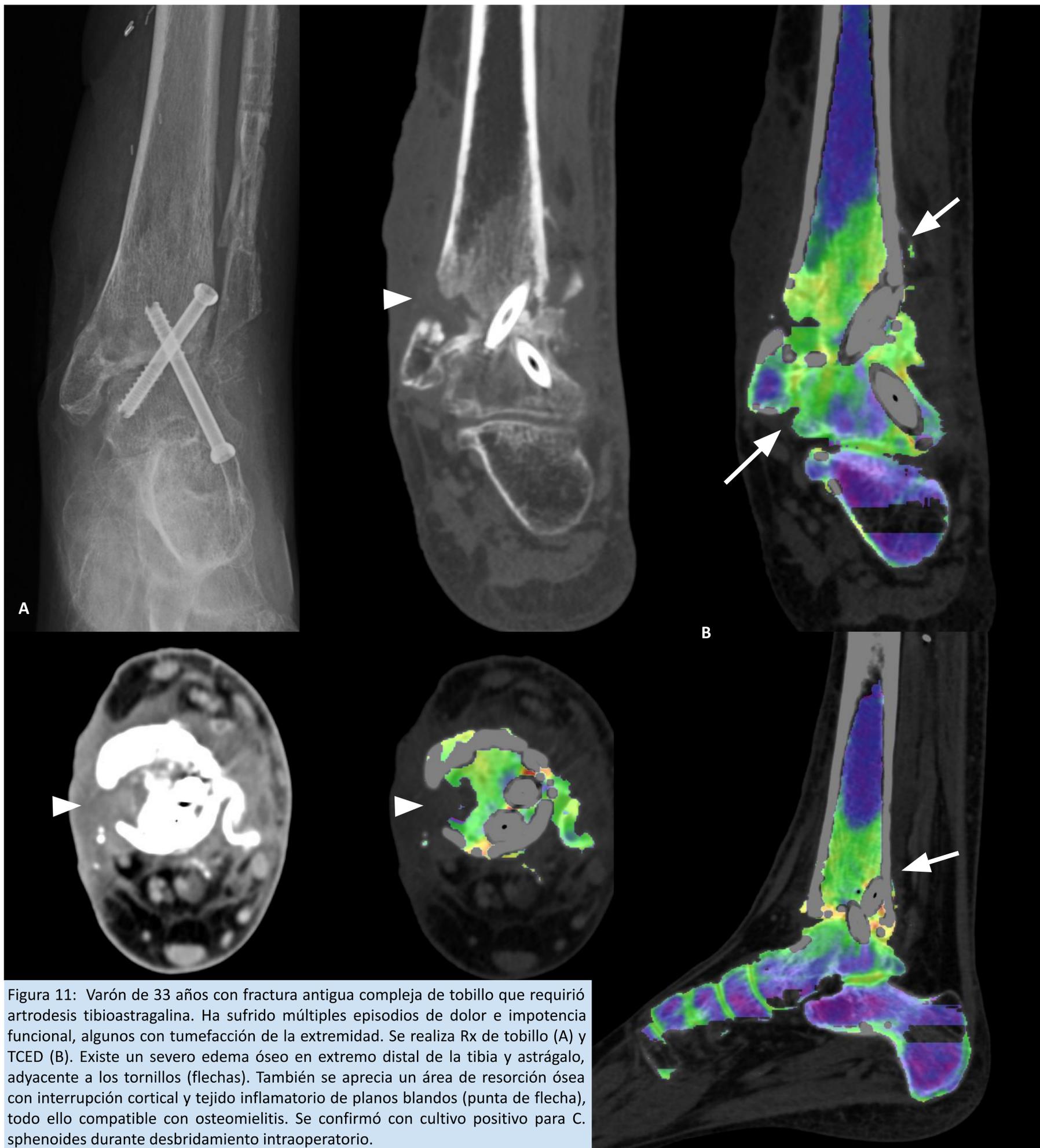


Figura 11: Varón de 33 años con fractura antigua compleja de tobillo que requirió artrodesis tibioastragalina. Ha sufrido múltiples episodios de dolor e impotencia funcional, algunos con tumefacción de la extremidad. Se realiza Rx de tobillo (A) y TcED (B). Existe un severo edema óseo en extremo distal de la tibia y astrágalo, adyacente a los tornillos (flechas). También se aprecia un área de resorción ósea con interrupción cortical y tejido inflamatorio de planos blandos (punta de flecha), todo ello compatible con osteomielitis. Se confirmó con cultivo positivo para *C. sphenoides* durante desbridamiento intraoperatorio.

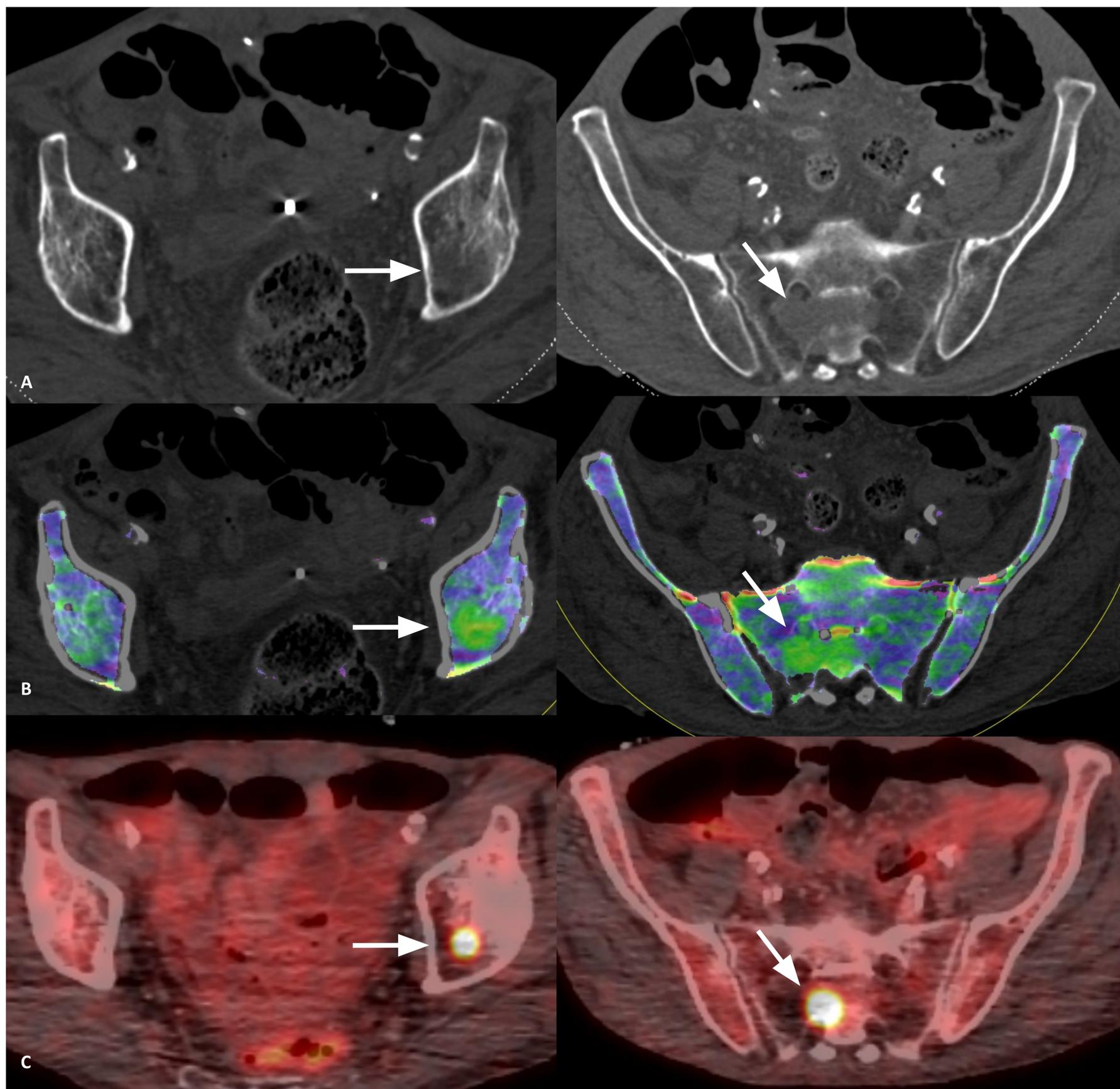


Figura 12: Varón de 69 años con antecedente de carcinoma escamoso oral y glotis, localmente avanzado pero sin evidencia de diseminación sistémica conocida. Se realiza un TCED tóracoabdominal (A) como parte de su seguimiento, identificando en el mapa de edema óseo (B) dos focos de alteración de color en la región acetabular izquierda y sacro (flechas), apenas perceptibles en ventana ósea, sospechosos de metástasis. A los 5 días se realiza PET-TC (C) y se correlacionan con lesiones hipermetabólicas así como aparición de otros nódulos pulmonares también en contexto de diseminación tumoral.

## COMPLICACIONES POSTOPERATORIAS

Una de las causas más frecuentes de indicación de un estudio en el campo de la imagen musculoesquelética es el contexto del **postoperatorio**, ya sea reciente o diferido. Las complicaciones postquirúrgicas más frecuentes, como la infección o el sangrado, pueden desencadenar una mala evolución si no son identificadas y tratadas de forma precoz. En el caso de la infección es muy importante valorar la formación de **coleciones** que requieran drenaje o reintervención. En este caso será de mucha utilidad las imágenes **ME de baja energía**, que aumentan el contraste entre tejidos y permiten definir con mayor confianza la relación con estructuras vecinas. Asimismo, el **mapa de yodo** delimitará el realce de contraste de las paredes de la colección o absceso siendo más fácil de identificar y de valorar su grado de organización en el tejido [20] (Figuras 13 y 14). Las imágenes SCV nos facilitarán la valoración de un foco de **sangrado** al poder descartar elementos hiperdensos espontáneamente como las calcificaciones o material quirúrgico y diferenciarlas de extravasación de yodo (Figura 15).

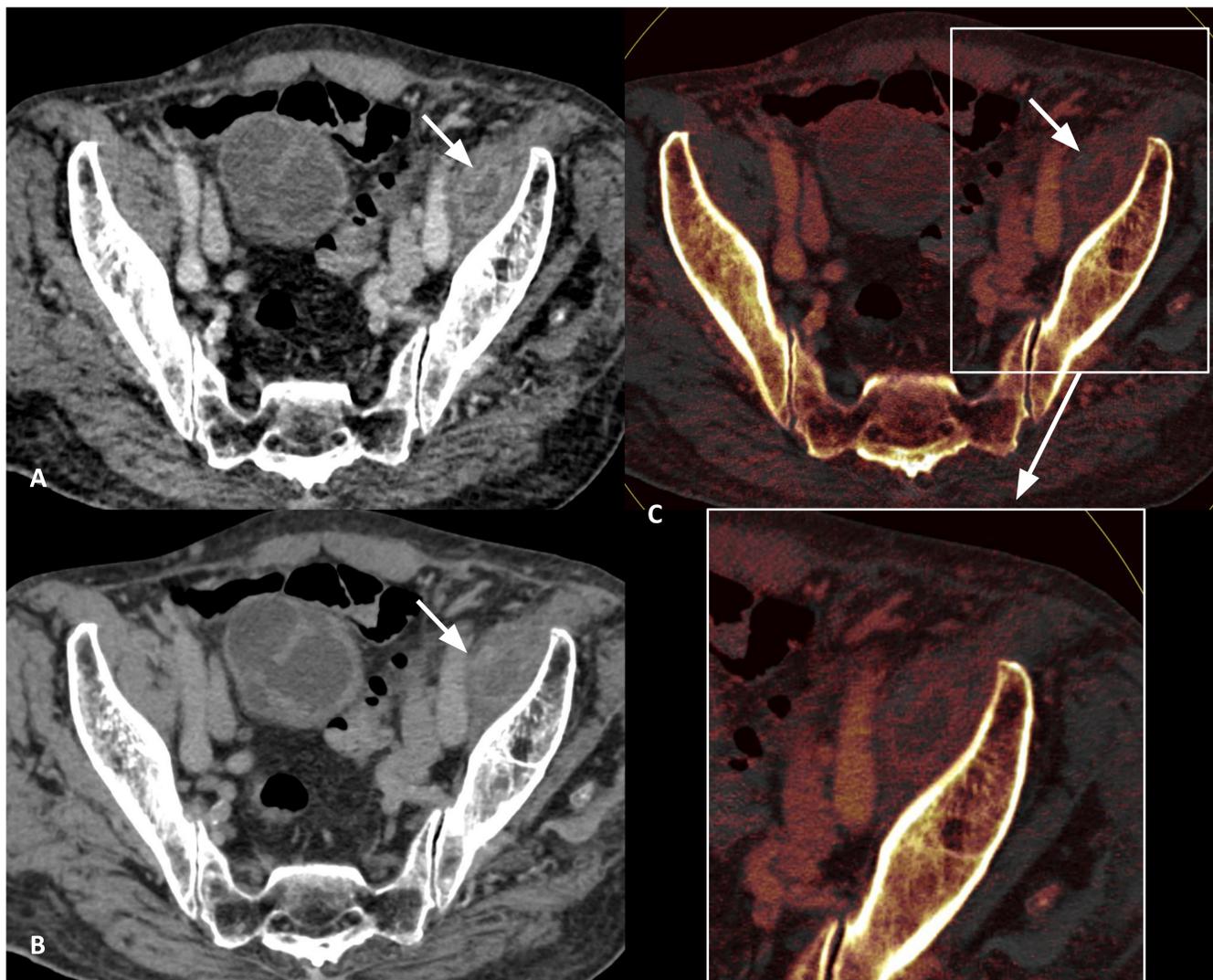


Figura 13: Mujer de 73 años operada de prótesis de cadera izquierda hace 15 días. La paciente refiere dolor irradiado a la ingle y febrícula. Se decide realizar un TCED de la pelvis donde se aprecia una colección hipodensa de bordes hipercaptantes en el músculo ilíaco izquierdo (flecha), compatible con pequeño absceso. Se aprecia cómo la colección se define más fácilmente en la imagen ME de baja energía (A) por mayor contraste respecto a la de alta energía (B). Además, en el mapa de yodo (C) podemos ver el absceso mejor delimitado por la representación en tonos rojos de la concentración de yodo.

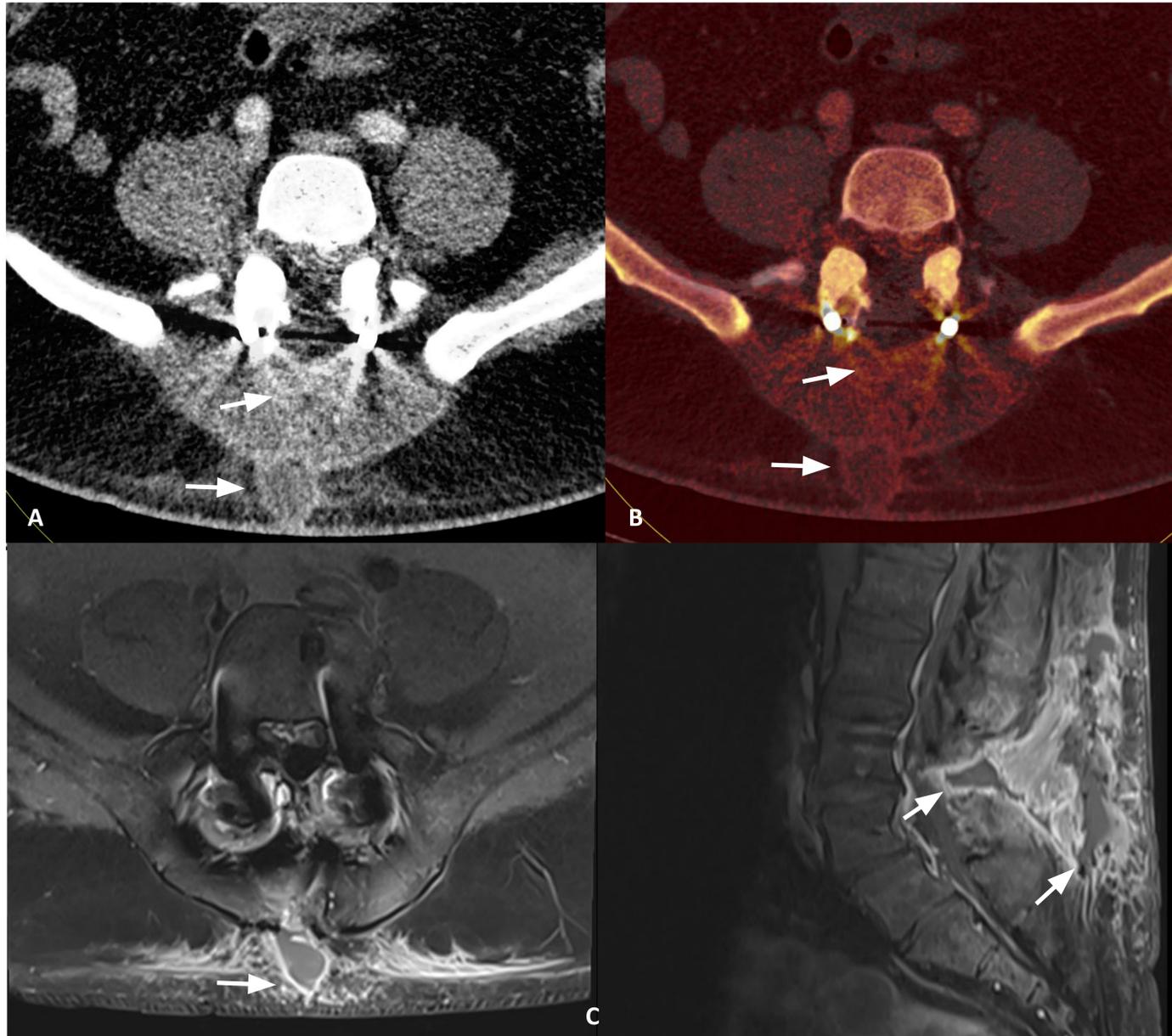


Figura 14: Varón de 58 años operado de artrodesis lumbar L3-L4 con laminectomía y colocación de tornillos transpediculares y barras laterales. A los 3 días de la cirugía continúa con intenso dolor y febrícula. En el TCED, en la imagen ME de baja energía (A) y en el mapa de yodo (B) se delimita una imagen de bordes hipercaptantes en el lecho quirúrgico y tejido celular subcutáneo (flechas) en relación con complicación por probable formación de colección postquirúrgica. Se adelanta la RM de control (C, secuencias T1 con contraste IV axial y sagital ) confirmando el hallazgo.

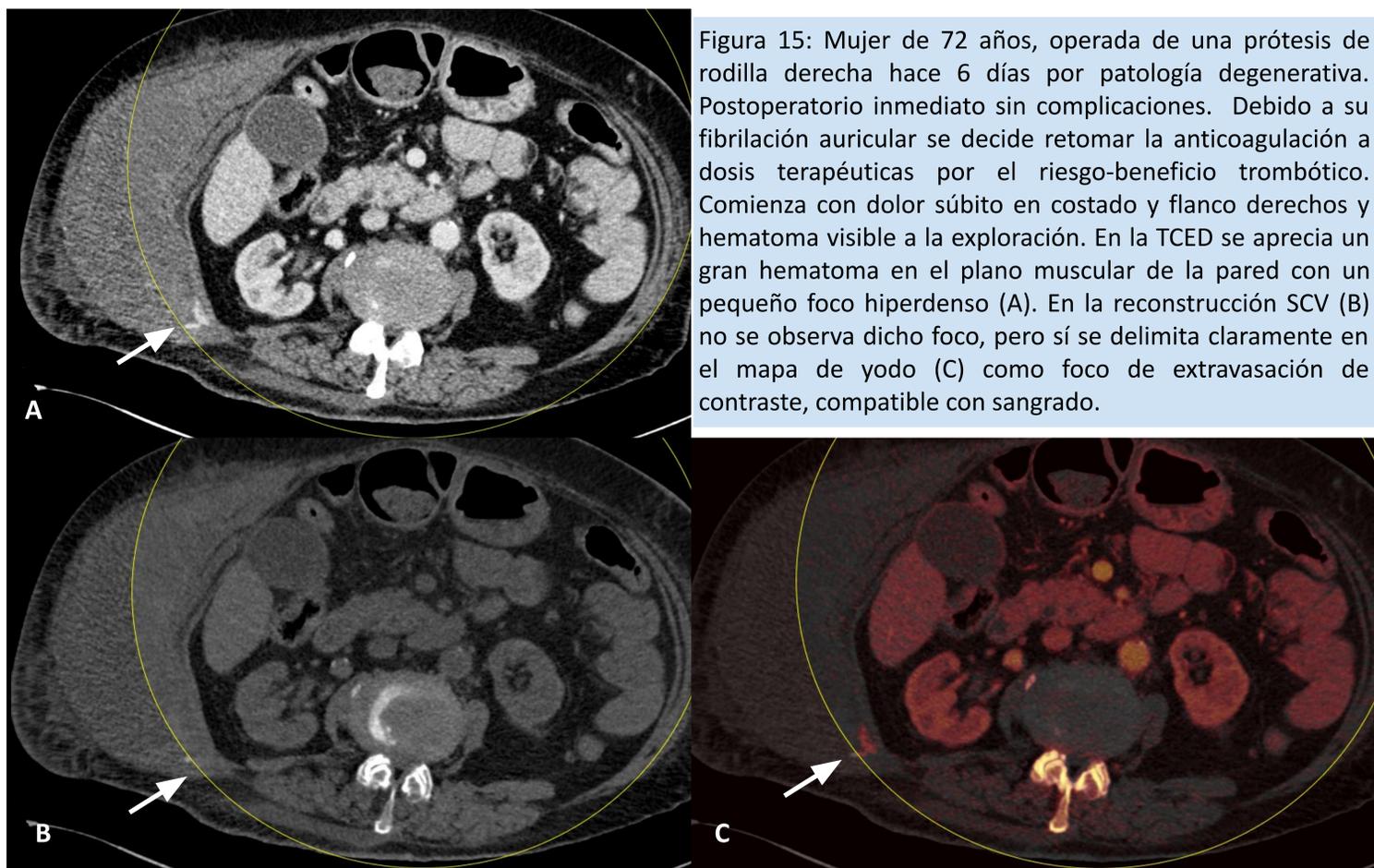


Figura 15: Mujer de 72 años, operada de una prótesis de rodilla derecha hace 6 días por patología degenerativa. Postoperatorio inmediato sin complicaciones. Debido a su fibrilación auricular se decide retomar la anticoagulación a dosis terapéuticas por el riesgo-beneficio trombótico. Comienza con dolor súbito en costado y flanco derechos y hematoma visible a la exploración. En la TCED se aprecia un gran hematoma en el plano muscular de la pared con un pequeño foco hiperdenso (A). En la reconstrucción SCV (B) no se observa dicho foco, pero sí se delimita claramente en el mapa de yodo (C) como foco de extravasación de contraste, compatible con sangrado.

## REDUCCIÓN DEL ARTEFACTO METÁLICO

El artefacto por endurecimiento del haz del material metálico es una de los retos diarios a los que se enfrenta el radiólogo en los estudios de musculoesquelético. La distorsión que produce el metal en la TC limita la valoración de la colocación de las prótesis, la detección de fracturas o colecciones periprotésicas, aflojamiento, recurrencia de enfermedad... cualquier proceso que ocurra adyacente a la prótesis puede quedar camuflado por el artefacto.

Hasta la aparición de la energía dual, las técnicas convencionales de reducción de este artefacto se centraban en la optimización de la posición del paciente, el ajuste del campo de radiación y, en especial, el incremento del voltaje. Los equipos de TCED permiten **reducir de forma significativa el artefacto metálico sin necesidad de incrementar la dosis de radiación** de forma proporcional [21]. Esta técnica a partir de sus adquisiciones a baja y alta energía (normalmente 80 y 140 kV) puede postprocesar los datos y generar, como hemos visto, imágenes ME en un rango entre 40 y 190 kV.

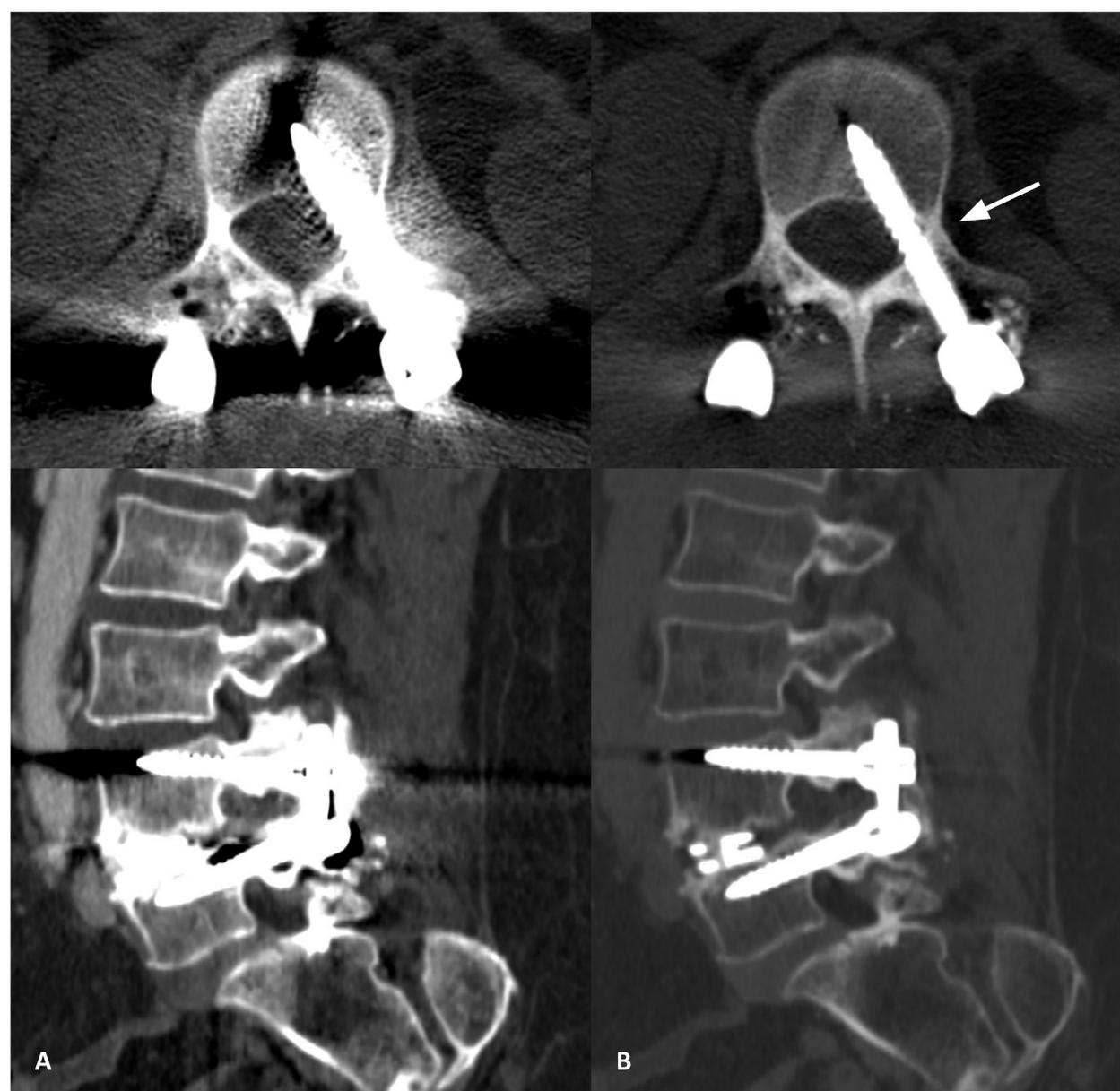


Figura 16: Reconstrucciones ME a baja (A) y alta (B) energía en planos axial y sagital de columna lumbar con artrodesis L4-L5 con tornillos transpediculares, barras laterales y espaciador intersomático. La reducción del artefacto metálico con las imágenes ME de alta energía permiten delimitar los elementos quirúrgicos con mejor precisión. En este caso se identifica ligera medialización hacia el canal del tornillo intersomático de L4 izquierdo (flecha).

La mejor visualización de los tejidos próximos a la prótesis permite realizar valoraciones con mayor confianza. En primer lugar, facilita la evaluación de la **colocación del material metálico** y de su **integridad**, por ejemplo, la correcta colocación de tornillos transpediculares en las artrodesis de columna (Figura 16). A raíz del apartado anterior, también permite valorar las complicaciones periprotésicas directas derivadas de la cirugía (como las **fracturas periprotésicas**) (Figura 17) y las complicaciones a largo plazo (Figura 18). Entre estas últimas, podemos destacar la valoración del **aflojamiento** o mala congruencia de la **prótesis** (Figuras 19 y 20).

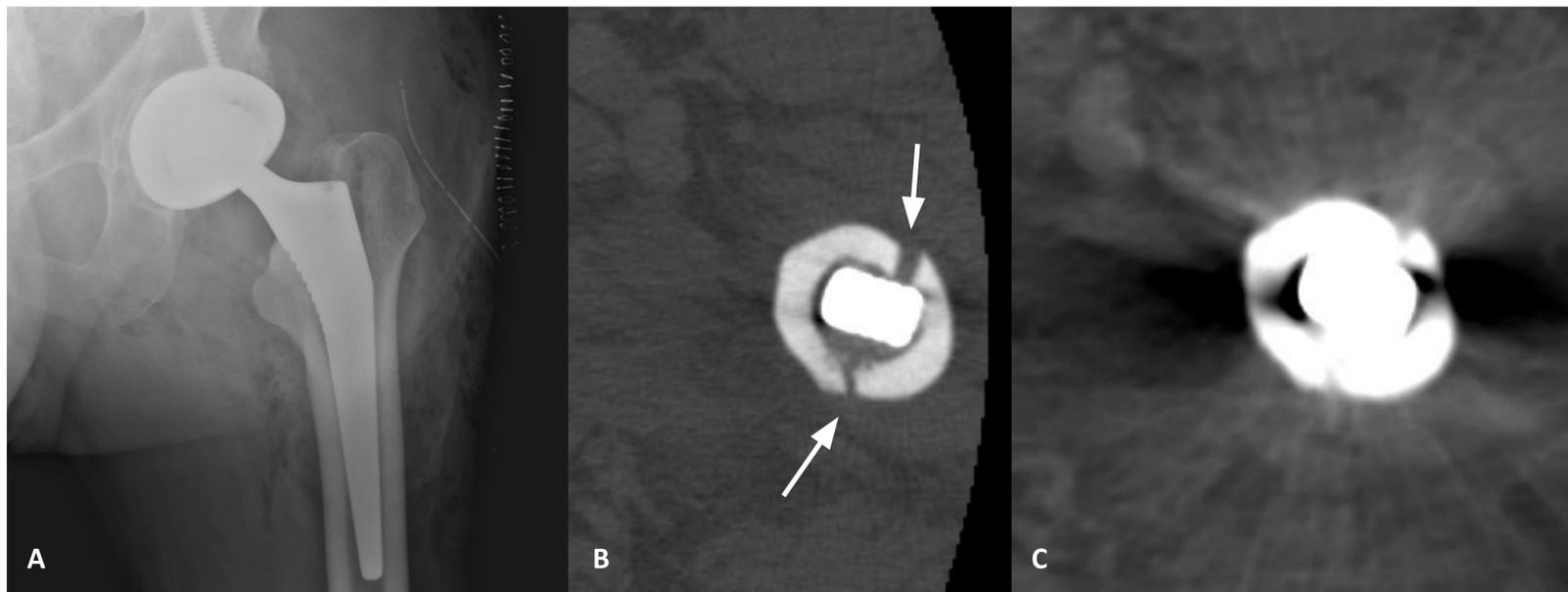


Figura 17: Varón de 69 años con prótesis total de cadera izquierda. Refiere dolor y leve inestabilidad. No se aprecian alteraciones periprotésicas evidentes en la rx simple (A). En la imagen ME de alta energía de la TCED se aprecia una línea de fractura alrededor del vástago (B, flecha), prácticamente imperceptible en la imagen average (C).



Figura 18: Varón de 35 años con fractura de húmero derecho tratada con placa de osteosíntesis y tornillo. Sufrir una refractura periprotésica con desplazamiento del material quirúrgico (A, rx simple). En las imágenes ME de alta energía (B y C, con reconstrucción MIP) permiten identificar todos los componentes metálicos y su relación con los fragmentos óseos. Se aprecian hasta tres tornillos desplazados respecto a la placa (flecha).

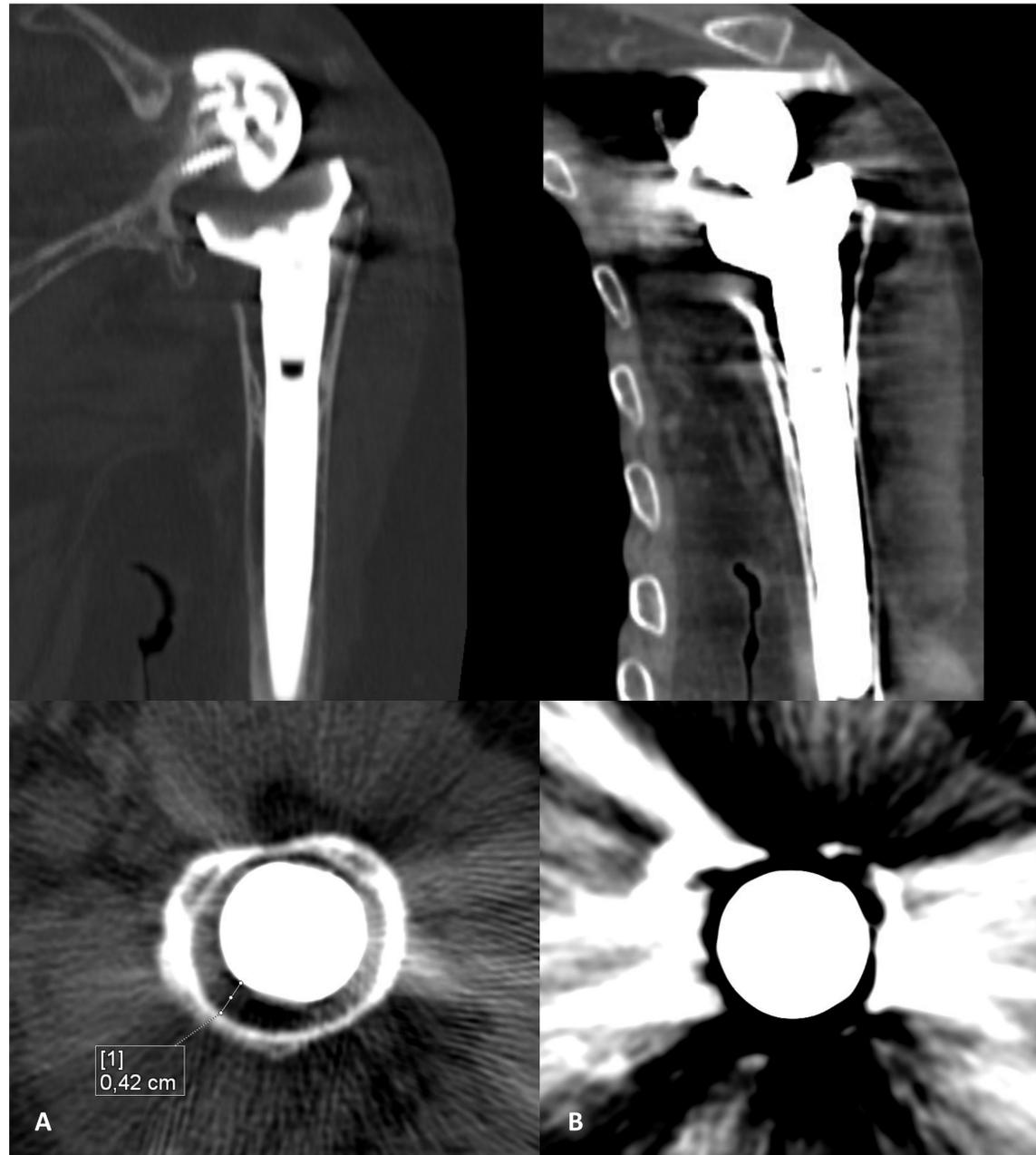


Figura 19: Varón de 39 años con prótesis de hombro izquierdo, con sospecha clínica de aflojamiento protésico. Reconstrucciones ME a alta (A) y baja energía (B) en planos coronal y axial. La reducción del artefacto metálico permite valorar una zona de baja densidad periférica al vástago de la prótesis, de hasta 42 mm, compatible con la sospecha clínica de aflojamiento.

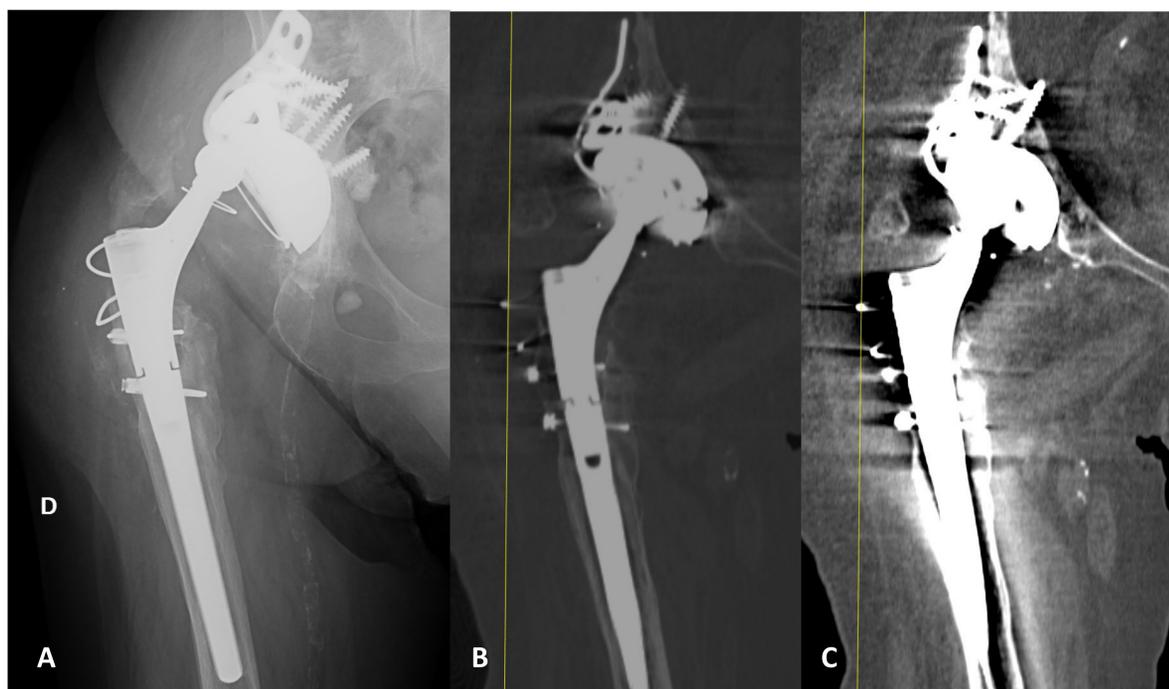


Figura 20: Mujer de 81 años con prótesis total de cadera derecha. Tras una caída sufre una luxación de la prótesis (A, rx simple) que se reduce mediante tracción. Se solicita TC para comprobar la correcta reducción. Es posible afirmar con seguridad la adecuada congruencia de la cabeza respecto al cóndilo en la imagen ME de alta energía (B) gracias a la reducción del artefacto metálico, siendo muy poco valorable en la imagen ME de baja energía (C).

## OTRAS APLICACIONES EN DESARROLLO

La TCED también se está abriendo camino en la valoración de las **partes blandas periarticulares**, principalmente los **tendones, ligamentos y discos**. Aunque son estructuras sobre las que la RM se mantiene claramente superior, el alto contenido en hidroxilisina e hidroxiprolina del colágeno de estas estructuras permite aprovechar su densidad relativamente elevada para diferenciarlo de estructuras adyacentes (obteniendo un teórico “mapa de colágeno”) (Figura 21). Los estudios realizados hasta la fecha no son contundentes como para afirmar su utilidad de forma sistemática, pero sí han demostrado resultados prometedores en identificación de desgarros (principalmente en ligamento colateral anterior de la rodilla) que deben seguir siendo explorados en el futuro [22,23].

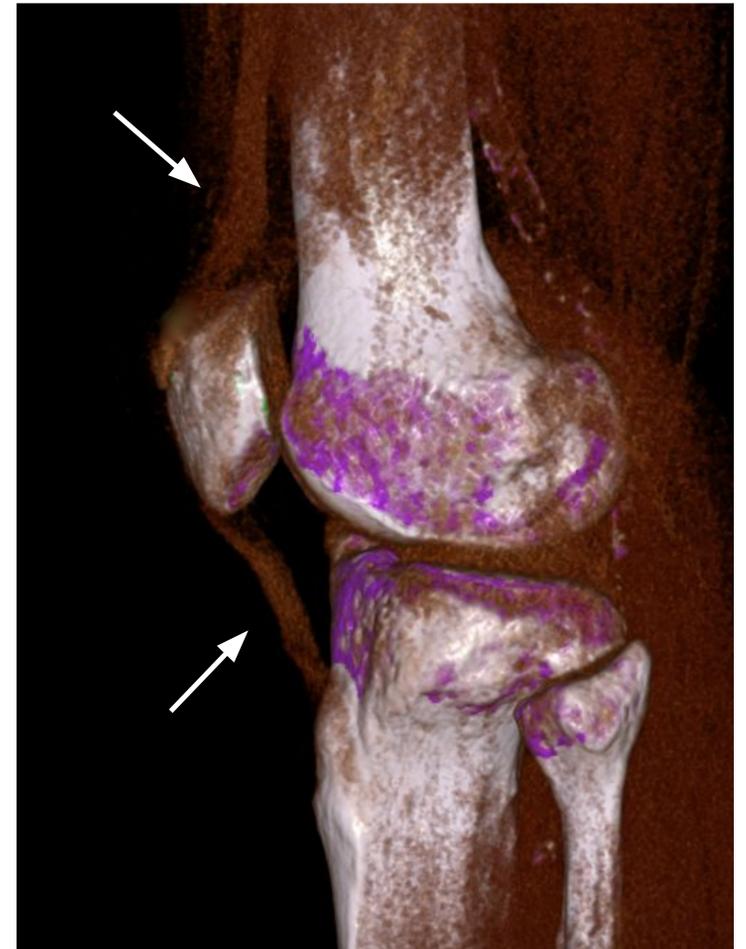


Figura 21: Reconstrucción de partes blandas de TCED de rodilla. Representación de las estructuras con alto contenido en colágeno (tendones cuadricipital y rotuliano).

En los estudios de **artrografía** la TCED podría resultar útil diferenciando el hueso cortical del contraste intraarticular gracias a las imágenes SCV y a los mapas de yodo. Una de las varias teorías en desarrollo afirma que ayudaría a evaluar más fácilmente la morfología y la pérdida ósea de la glenoides en la ArtroTC en el contexto de inestabilidad del hombro [24,25], entre otras.

Por último, otro campo que está siendo explorado por los avances de la energía dual es la patología relacionada con la densidad y estructuración ósea, como la **osteoporosis y osteopenia**, debido a su elevada prevalencia y comorbilidad asociada. La técnica de elección tanto para el diagnóstico como para monitorización del tratamiento es la absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA), pero tiene limitaciones al ser una técnica en 2D debido al diferente volumen de los pacientes y a artefactos por la contribución de los planos blandos. Aunque todavía no hay suficiente literatura que avale su uso, la TCED podría intentar paliar estas limitaciones con una aproximación en 3D y con algoritmos de descomposición de materiales para aislar y cuantificar de forma objetiva al verdadero contenido mineral del hueso [26,27].

## CONCLUSIONES

La TCED es una herramienta moderna ampliamente extendida, con múltiples aplicaciones en todos los campos de la radiología. En el ámbito de la imagen musculoesquelética, donde la ecografía y, en especial la resonancia tienen un papel protagonista, esta técnica ofrece información adicional y alternativas útiles y prometedoras a los problemas clínicos de cada día.

- La **detección de cristales de monourato sódico** gracias al postproceso de imagen para diferenciación de materiales facilita el diagnóstico y monitorización de la enfermedad en casos de **artropatía gotosa** atípicos, con escaso líquido articular para el diagnóstico definitivo o en clínica poco expresiva.
- A pesar de que la RM es superior en la **detección del edema óseo**, la TCED puede ser una alternativa en determinadas situaciones y una forma de detectar pacientes con elevado riesgo a través de las imágenes SCaV y su postproceso en mapa de color. Ha demostrado ser útil en la detección de **fracturas ocultas o sutiles**, en identificar y caracterizar las **fracturas vertebrales** y en la detección de edema óseo de causa **inflamatoria, infecciosa** e incluso **infiltrativa**.
- Las imágenes ME de baja energía, los mapas de yodo y las imágenes SCV aportan mayor confianza en la detección de patología postoperatoria en relación a **complicaciones infecciosas y hemorrágicas**.
- La **reducción del artefacto metálico** a través de imágenes ME de alta energía es una de las aplicaciones más consolidadas debido a su eficacia sin aumento significativo de dosis y a la elevada demanda de estudios con material protésico.

A pesar de ser una herramienta prometedora, su uso no está todavía extendido en este campo debido a la falta de experiencia en su uso. Es necesario el papel del radiólogo para continuar estudiando y probando esta técnica y así descubrir todo su potencial.

## REFERENCIAS

1. Johnson TRC. Dual-energy CT: general principles. *AJR Am J Roentgenol.* 2012;199(5 Suppl):S3-8.
2. McCollough CH, Leng S, Yu L, Fletcher JG. Dual- and multi-energy CT: Principles, technical approaches, and clinical applications. *Radiology.* 2015;276(3):637–53.
3. Chellini D, Kinman K. Dual-energy CT principles and applications. *Radiol Technol.* 2020;91(6):561CT-576CT.
4. Omoumi P, Becce F, Racine D, Ott JG, Andreisek G, Verdun FR. Dual-energy CT: Basic principles, technical approaches, and applications in musculoskeletal imaging (part 1). *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(5):431–7.
5. Omoumi P, Verdun FR, Guggenberger R, Andreisek G, Becce F. Dual-energy CT: Basic principles, technical approaches, and applications in musculoskeletal imaging (part 2). *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015;19(5):438–45.
6. Megibow AJ, Kambadakone A, Ananthakrishnan L. Dual-energy computed tomography: Image acquisition, processing, and workflow. *Radiol Clin North Am.* 2018;56(4):507–20.
7. Carotti M, Salaffi F, Beci G, Giovagnoni A. The application of dual-energy computed tomography in the diagnosis of musculoskeletal disorders: a review of current concepts and applications. *Radiol Med.* 2019;124(11):1175–83.
8. Rajiah P, Sundaram M, Subhas N. Dual-energy CT in musculoskeletal imaging: What is the role beyond gout? *AJR Am J Roentgenol.* 2019;213(3):493–505.
9. Ramon A, Bohm-Sigrand A, Pottecher P, Richette P, Maillefert J-F, Devilliers H, et al. Role of dual-energy CT in the diagnosis and follow-up of gout: systematic analysis of the literature. *Clin Rheumatol.* 2018;37(3):587–95.
10. Desai MA, Peterson JJ, Garner HW, Kransdorf MJ. Clinical utility of dual-energy CT for evaluation of tophaceous gout. *Radiographics.* 2011;31(5):1365–75; discussion 1376-7.
11. Wong WD, Shah S, Murray N, Walstra F, Khosa F, Nicolaou S. Advanced musculoskeletal applications of dual-energy computed tomography. *Radiol Clin North Am.* 2018;56(4):587–600.
12. Mallinson PI, Coupal TM, McLaughlin PD, Nicolaou S, Munk PL, Ouellette HA. Dual-energy CT for the musculoskeletal system. *Radiology.* 2016;281(3):690–707.
13. Suh CH, Yun SJ, Jin W, Lee SH, Park SY, Ryu C-W. Diagnostic performance of dual-energy CT for the detection of bone marrow oedema: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol.* 2018;28(10):4182–94.
14. Foti G, Serra G, Iacono V, Zorzi C. Identification of traumatic bone marrow oedema: The pearls and pitfalls of dual-energy CT (DECT). *Tomography.* 2021;7(3):424–33.
15. Wong AJN, Wong M, Kutschera P, Lau KK. Dual-energy CT in musculoskeletal trauma. *Clin Radiol.* 2021;76(1):38–49.
16. Gosangi B, Mandell JC, Weaver MJ, Uyeda JW, Smith SE, Sodickson AD, et al. Bone marrow edema at dual-energy CT: A game changer in the emergency department. *Radiographics.* 2020;40(3):859–74.

17. Ali IT, Wong WD, Liang T, Khosa F, Mian M, Jalal S, et al. Clinical utility of dual-energy CT analysis of bone marrow edema in acute wrist fractures. *AJR Am J Roentgenol.* 2018;210(4):842–7.5.
18. Bierry G, Venkatasamy A, Kremer S, Dosch J-C, Dietemann J-L. Dual-energy CT in vertebral compression fractures: performance of visual and quantitative analysis for bone marrow edema demonstration with comparison to MRI. *Skeletal Radiol.* 2014;43(4):485–92.
19. Nicolaou S, Liang T, Murphy DT, Korzan JR, Ouellette H, Munk P. Dual-energy CT: a promising new technique for assessment of the musculoskeletal system. *AJR Am J Roentgenol.* 2012;199(5 Suppl):S78-86.
20. Walstra FE, Hickle J, Duggan P, Alsharhan R, Murray N, Mallinson P, et al. Top-ten tips for dual-energy CT in MSK radiology. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2019;23(4):392–404.
21. Pessis E, Campagna R, Sverzut J-M, Bach F, Rodallec M, Guerini H, et al. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching: reduction of metal artifacts at CT. *Radiographics.* 2013;33(2):573–83.
22. Jeon JY, Lee S-W, Jeong YM, Yu S. The utility of dual-energy CT collagen material decomposition technique for the visualization of tendon grafts after knee ligament reconstruction. *Eur J Radiol.* 2019;116:225–30.
23. Peltola EK, Koskinen SK. Dual-energy computed tomography of cruciate ligament injuries in acute knee trauma. *Skeletal Radiol.* 2015;44(9):1295–301.
24. Sandhu R, Aslan M, Obuchowski N, Primak A, Karim W, Subhas N. Dual-energy CT arthrography: a feasibility study. *Skeletal Radiol.* 2021;50(4):693–703.
25. Stern C, Marcon M, Bouaicha S, Wieser K, Roskopf AB, Sutter R. Dual-energy CT arthrography in shoulder instability: successful iodine removal with virtual non-contrast images and accurate 3D reformats of the glenoid for assessment of bone loss. *Skeletal Radiol.* 2022;51(5):1027–36.
26. Gruenewald LD, Koch V, Martin SS, Yel I, Eichler K, Gruber-Rouh T, et al. Diagnostic accuracy of quantitative dual-energy CT-based volumetric bone mineral density assessment for the prediction of osteoporosis-associated fractures. *Eur Radiol.* 2021
27. Booz C, Noeske J, Albrecht MH, Lenga L, Martin SS, Yel I, et al. Diagnostic accuracy of quantitative dual-energy CT-based bone mineral density assessment in comparison to Hounsfield unit measurements using dual x-ray absorptiometry as a standard of reference. *Eur J Radiol.* 2020;132(109321):109321.

**36** Congreso Nacional

**XXXI** Congreso CIR

**seram**  
Sociedad Española de Radiología Médica



Asociación Española de Radiología



COLLEGIO INTERAMERICANO DE RADIOLOGÍA

**Málaga**

25/28 MAYO 2022

Palacio de Ferias y Congresos

24 MAYO

CURSO PRECONGRESO

**RSNA**

**seram**

