



La energía dual en la
patología urgente:
¿para qué sirve?

Marina Da Silva Torres, Helena Cigarrán Sexto,
Ana Isabel Barrio Alonso, Miguel Martínez-
Cachero García, Luis Miguel Guadalupe
González, Juan Calvo Blanco

Hospital Universitario Central de Asturias, Oviedo

OBJETIVO DOCENTE

- Dar a **conocer** el papel de la tomografía computarizada con energía dual (TCED) en la urgencia.
- **Revisar** sus principales indicaciones así como hallazgos radiológicos de patologías frecuentes.
- **Recoger** las principales ventajas e inconvenientes.

REVISIÓN DEL TEMA

1. INTRODUCCIÓN A LOS PRINCIPIOS FÍSICOS

Los equipos convencionales de tomografía computarizada utilizan un haz de rayos X policromático a un único nivel de energía, clásicamente entre los 125-150 kV.

La introducción de la energía dual o energía multispectral ha supuesto un hito en el campo de la radiología en las últimas décadas, ya que implica el uso de dos espectros diferentes de rayos X (los más utilizados son **80kV y 140 kV**) permitiendo un postprocesado de las imágenes con mayor información morfológica y funcional de los diferentes tejidos y componentes incluidos en el estudio.

Para entender los principios físicos básicos de la TCED es imprescindible tener claros varios conceptos.

CONCEPTOS CLAVE:

- **Coefficiente de atenuación μ :** parámetro que refleja la habilidad de un material para detener fotones. Depende principalmente de tres factores: es directamente proporcional al número atómico del material (Z) y a su densidad, mientras que se relaciona inversamente con la energía. A medida que el μ de un material aumenta, más “blanco” aparecerá este en la imagen, y viceversa (los materiales con bajo μ dejan pasar más rayos X a través de ellos, y por eso se ven más “negros” en la imagen). Esta variable depende de dos mecanismos básicos de interacción de los rayos X con la materia.

Mecanismos básicos de interacción de los rayos X con la materia:

- **Efecto fotoeléctrico:** el fotón incidente invierte toda su energía en arrancar un electrón del átomo y comunicarle energía cinética. Dominante a energías bajas (<100KeV) y materiales de elevado Z.
- **Efecto Comptom:** el fotón incidente cede parte de su energía al átomo, por lo que es desviado de su trayectoria al arrancar al electron, produciendo un fotón dispersado. Dominante a energías intermedias (100<E<1000KeV), varía poco con Z.

- **Energía de unión de la capa K** (capa de electrones más cercana al núcleo): umbral de energía necesario de superar para poder movilizar un electrón a las capas más externas del átomo y que se produzca el efecto fotoeléctrico. Depende del número atómico (Z)

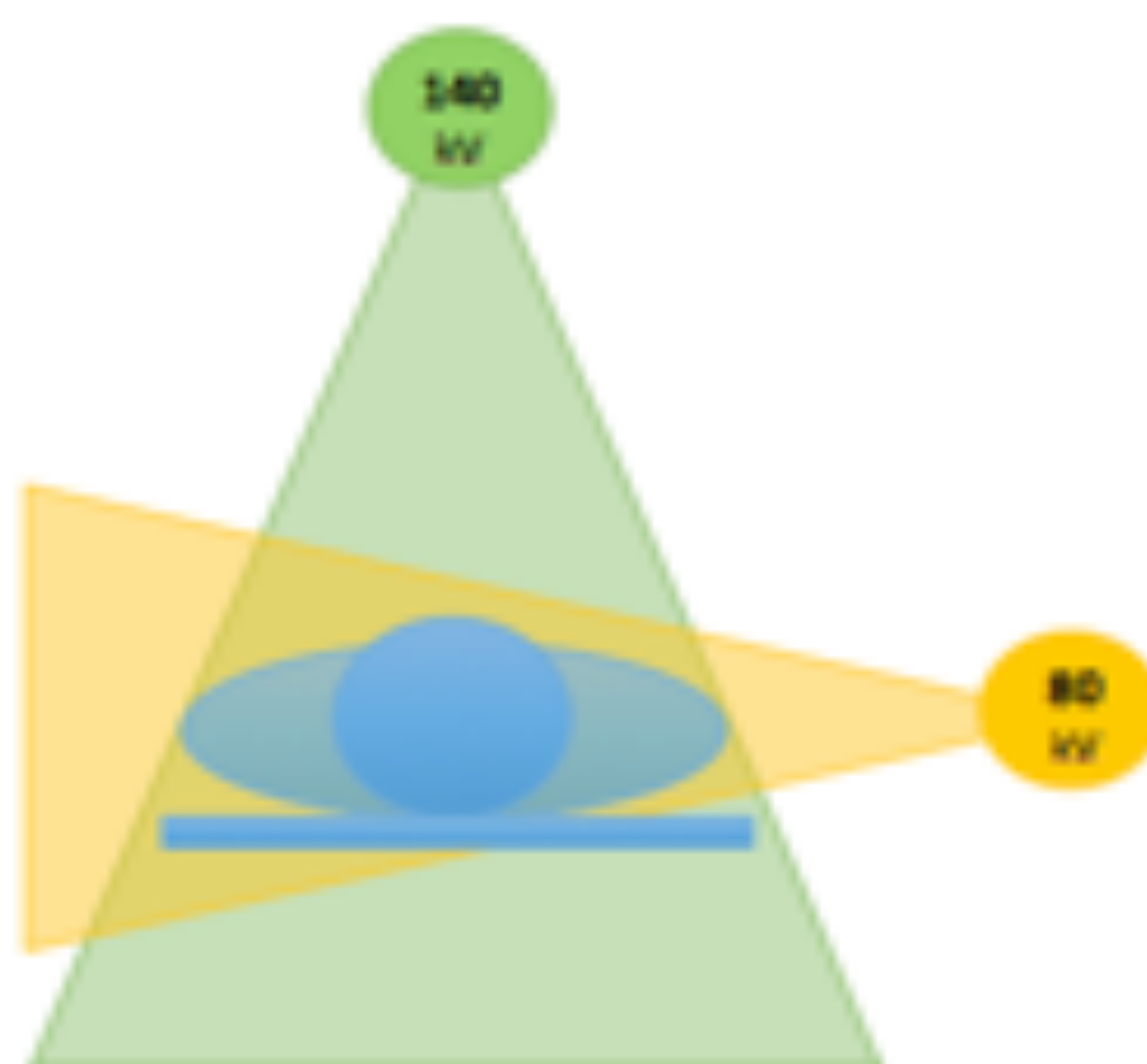
El principio físico básico de la energía dual se sustenta en que el grado de atenuación de un material en particular (reflejado mediante Unidades Hounsfield, UH) depende de forma directamente proporcional a su composición (densidad y número atómico principalmente) e inversamente proporcional a la energía del haz de rayos X utilizada, como ya hemos visto.

Los materiales con bajo número atómico y bajo umbral de la capa K (los que forman parte de los tejidos básicos del cuerpo humano como el hidrógeno, carbono o oxígeno) demuestran muy pequeñas diferencias en su atenuación entre espectros bajos y altos de energía. Sin embargo, ciertos materiales como el calcio, y especialmente el yodo, tienen unos umbrales de la capa K más cercanos a las energías utilizadas en las técnicas de diagnóstico de imagen (80-140 kV), por lo que se ven más afectados por el efecto fotoeléctrico y muestran mayores diferencias de atenuación.

Gracias a la diferencia de atenuación de estos materiales a diferentes energías, los estudios con energía dual permiten caracterizar el comportamiento y cuantificar diferentes sustancias (las más comunes calcio, yodo, ácido úrico), abriendo un nuevo horizonte de posibilidades diagnósticas en todos los campos de la radiología.

Métodos de adquisición de energía dual

- **Doble fuente:** dos fuentes de rayos X, situadas a 90º respectivamente respecto al gantry, que trabajan a diferente voltaje con sus dos detectores correspondientes.

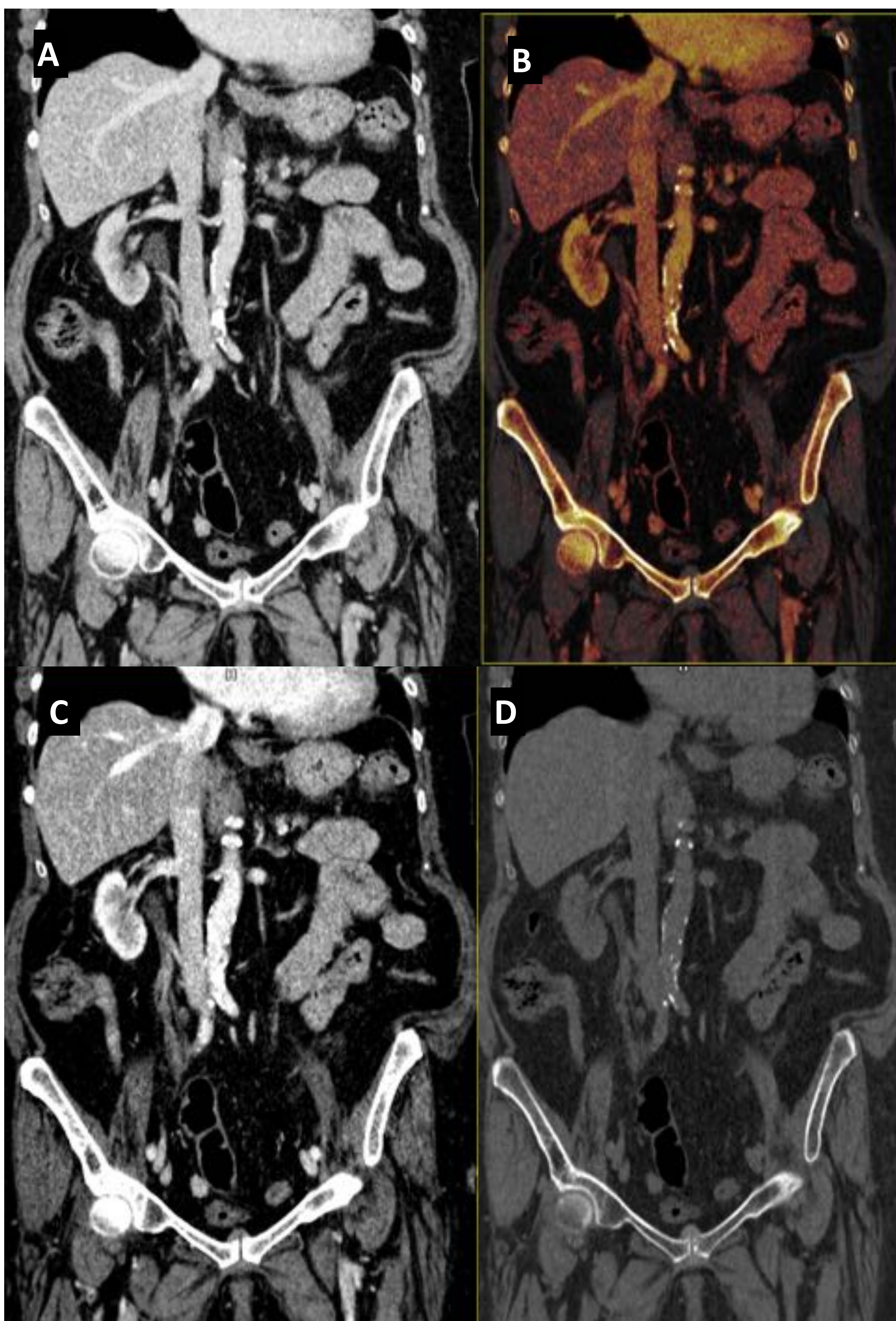


Esquema de funcionamiento básico de un TC con energía dual mediante doble fuente o doble tubo.

- **Cambio rápido de voltaje:** el voltaje del tubo sigue una curva pulsada; se recogen los datos dos veces para cada proyección, una a alto y otra a bajo voltaje.
- **Detector en capas:** dos capas de detectores con distinta sensibilidad en función de la energía.
- **Adquisición secuencial:** dos adquisiciones consecutivas, a diferente voltaje.

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 o Monocromáticas Virtuales (IME o IMC):** estas reconstrucciones muestran las imágenes como si se hubiesen obtenido a un nivel particular de energía.
 - Imágenes Monoenergéticas 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.
 - Imágenes Monoenergéticas de alta energía: reducen el artefacto por endurecimiento del haz en presencia de material metálico, como por ejemplo las prótesis o artrodesis metálicas.
- **Imágenes para diferenciación de materiales:** la diferente atenuación de los componentes del cuerpo humano a diferentes energías permite crear mapas específicos por componentes. Gracias a un algoritmo matemático y a un software específico es posible sustraer o aislar un determinado material. El más utilizado es el yodo, ya que es el componente principal de medios de contraste, obteniendo imágenes sin contraste virtual y mapas de yodo. También es frecuente y de gran utilidad la sustracción de calcio para los estudios vasculares.
 - Imágenes “sin contraste virtual”: 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.



Estudio TCED abdominal dual en fase portal normal: Reconstrucciones de los mapas average (A), mapa de yodo (B), Monoenergético virtual a baja dosis 40 keV (C) y Monoenergético virtual a alta dosis 180 keV(D).

2. PRINCIPALES INDICACIONES DE LA TCED EN URGENCIAS

2.1 ICTÚS ISQUÉMICO POST TROMBECTOMÍA

La enfermedad vascular cerebral es la primera **causa de muerte** en mujeres y segunda en hombres, así como la primera causa de **discapacidad** en adultos.

La terapia recanalizadora en el ictus isquémico agudo es el único tratamiento que ha demostrado una disminución significativa de la morbimortalidad. No obstante, hasta en un 15% de los pacientes presentan hemorragia intracraneal derivada de la recanalización, lo que supone un peor pronóstico a corto y largo plazo. Es por ello que de forma habitual se realizan estudios post trombectomía para valorar la aparición de dicha complicación.

Hallazgos radiológicos en TC:

Además de valorar la presencia de áreas de isquemia establecida y de la localización y extensión de las mismas, es importante reflejar la existencia de transformación hemorrágica.

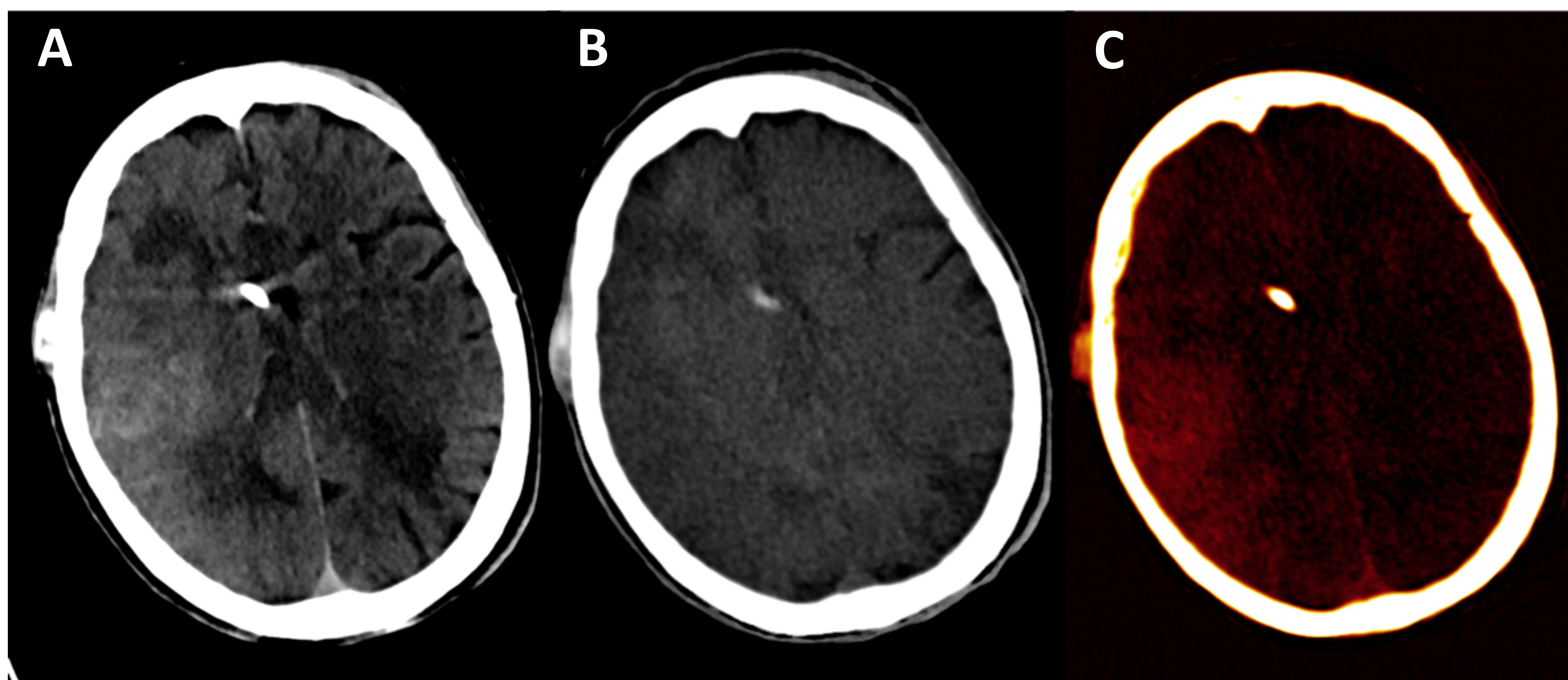
| Clasificación de la transformación hemorrágica. | |
|---|---|
| IH1 | petequias en región periférica |
| IH2 | petequias confluentes sin efecto masa |
| HP1 | hematoma <30% del área infartada |
| HP2 | hematoma >30% del área infartada con efecto de masa |
| HPR | hematoma parenquimatoso remoto |

La TC convencional tras la intervención terapéutica puede ser **difícil de interpretar** debido a que la administración de contraste durante la trombectomía puede resultar en la visualización de áreas hiperdensas debido a la rotura de la barrera hematoencefálica, pudiendo confundirse con áreas de sangrado debido a la similitud de densidades.

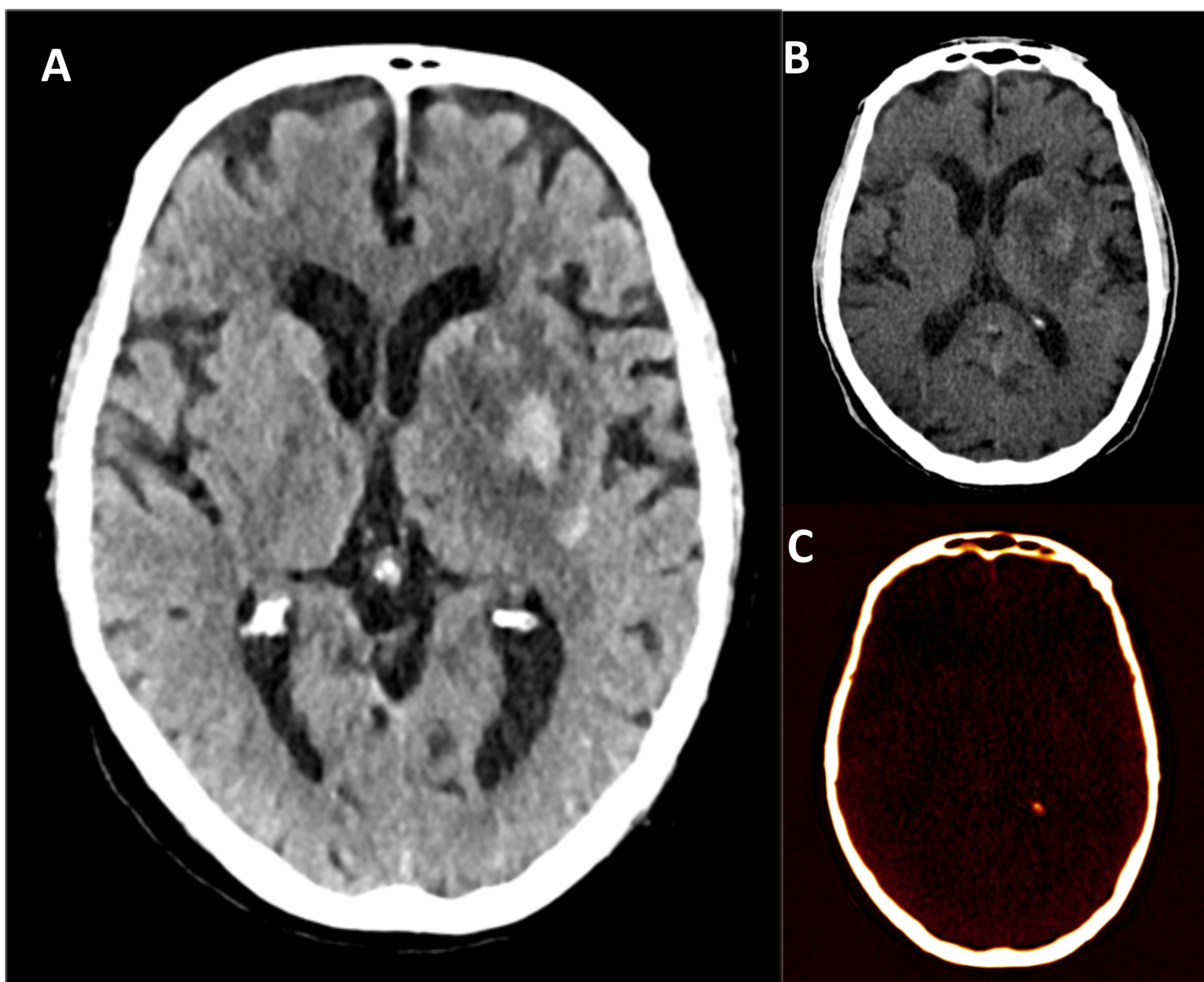
Esta diferenciación no sólo es importante para el pronóstico clínico del paciente sino para tomar decisiones terapéuticas como iniciar o continuar con tratamiento antiagregante.

Aportaciones de la Energía Dual

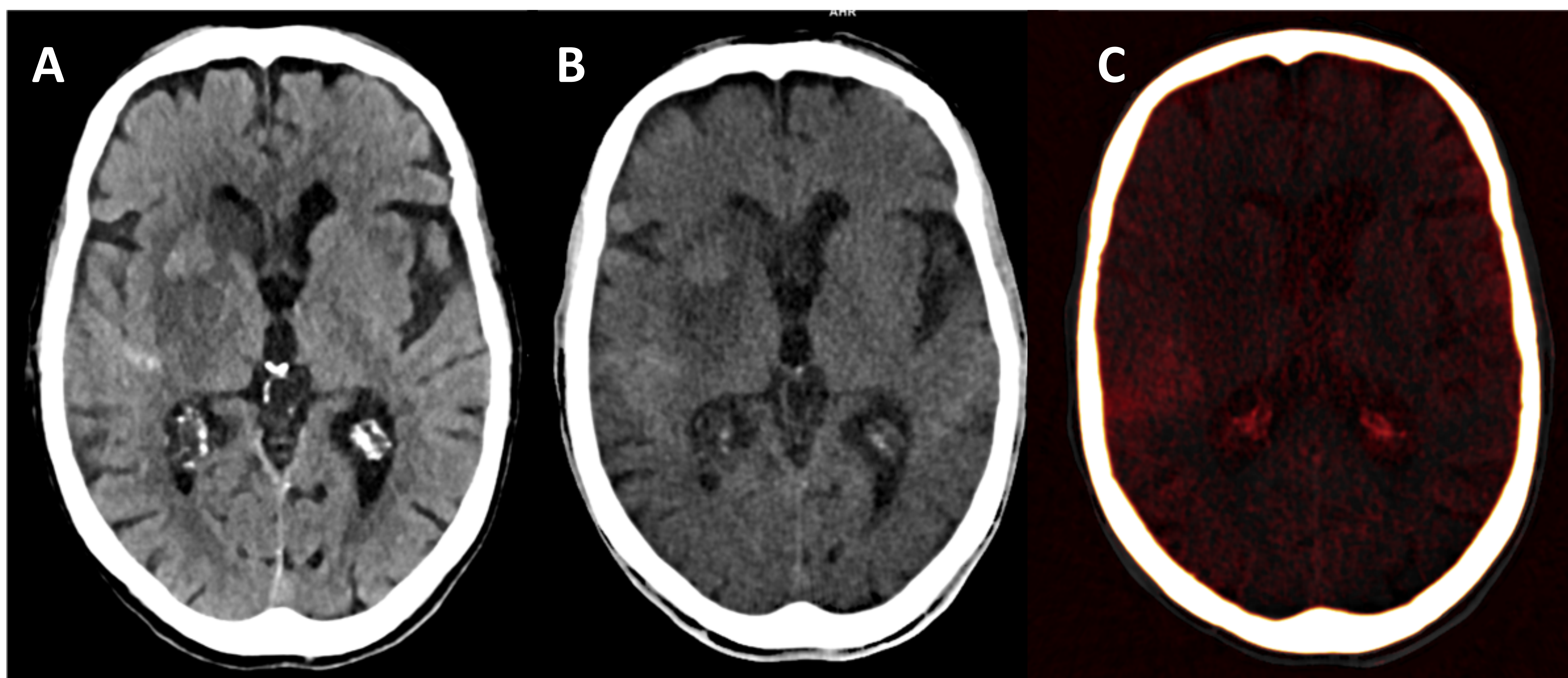
- **Diferenciar** con alta sensibilidad y especificidad la **transformación hemorrágica de la extravasación de contraste** en pacientes con ictus isquémico sometidos a trombectomía. En el mapa de yodo podremos ver si el componente hiperdenso se corresponde a extravasación de contraste y en el mapa de “sin contraste virtual” identificaremos áreas de hemorragia. El análisis global de ambos permitirá cuantificar cada componente si se trata de una mezcla de ambos.



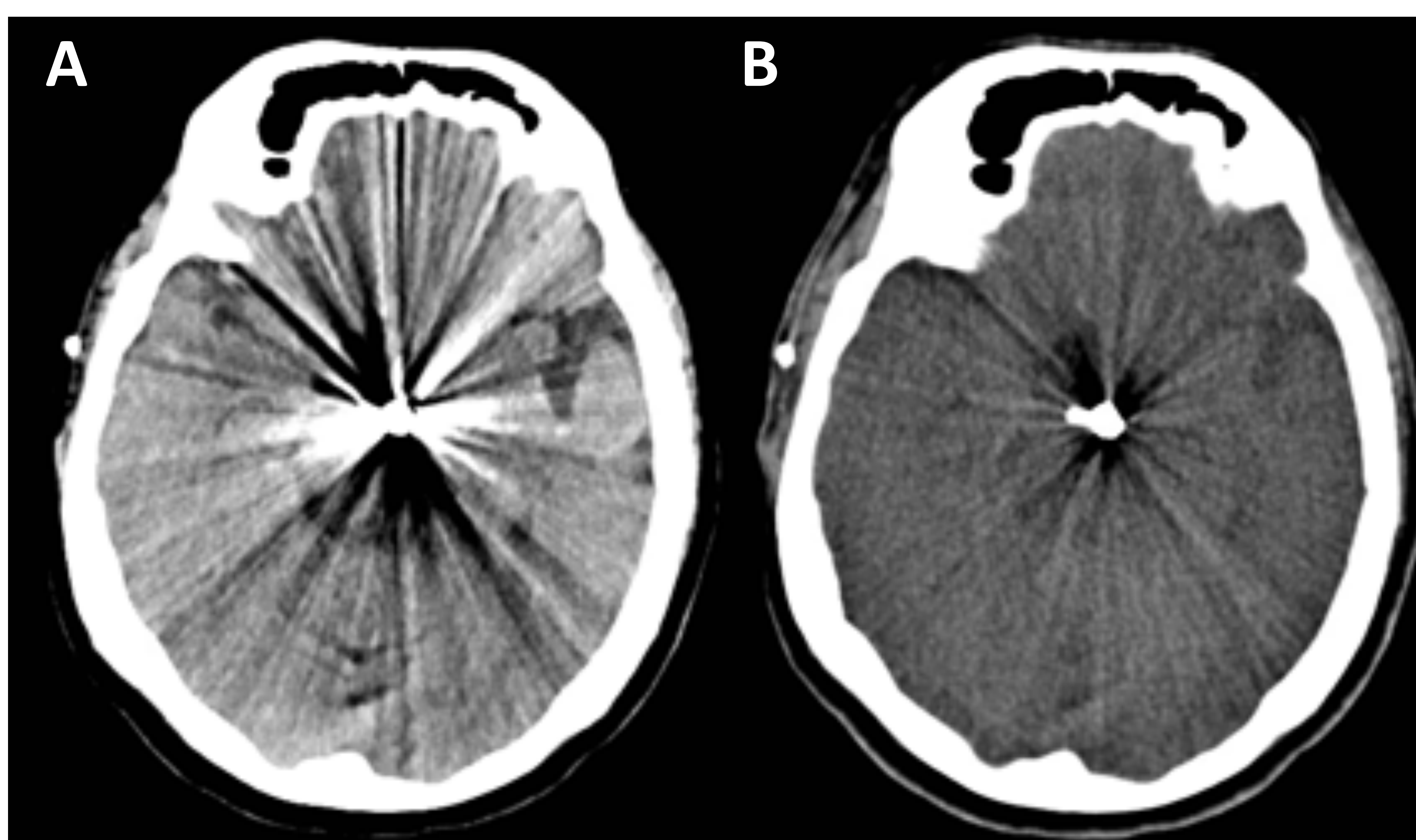
Mujer de 89 años (portadora de válvula ventrículo-peritoneal) con leve disminución de consciencia a las 24h tras la colocación de stent en arteria carótida interna derecha y trombectomía por oclusión de segmento M1 de ACM derecha. En el TC basal (A) se observa un borramiento global de los surcos del hemisferio derecho y un área hiperdensa en la corteza frontal posterior. En el mapa de energía dual de “sin contraste virtual” (B) no tiene representación, correspondiéndose íntegramente a retención de contraste en el mapa de yodo (C).



Control post trombectomía de oclusión de segmento M1 de ACM izquierda. En el TC basal (A) se observa una lesión isquémica subaguda en los ganglios basales izquierdos con dos pequeñas áreas hiperdensas, la más evidente en el núcleo lenticular. Esta hiperdensidad se traduce en hemorragia en el mapa de sin contraste virtual (B) ya que no tiene representación en el mapa de yodo (C). Correspondería con una transformación hemorrágica IH-2.



Mujer de 83 años sometida a trombectomía mecánica por oclusión en la carótida interna terminal derecha ("T carotídea"). En el TC basal (A) se observa una lesión isquémica en los ganglios basales derechos de perfil subagudo con dos zonas hiperdensas, en el núcleo lenticular y en la región posterior de la corteza insular y corteza temporal. En el mapa de sin contraste virtual (B) se identifica la presencia de transformación hemorrágica petequiral en los ganglios basales. Sin embargo, la otra región más periférica y posterior se corresponde a retención de contraste extravasado en el mapa de yodo (C).



TCED mapas Average (A) y Monoenergético de alta energía (B). Importante reducción del artefacto metálico causado por el material de embolización de un aneurisma en el top de la arteria basilar.

2.3 HEMATOMA SECUNDARIO ESPONTÁNEO

Las hemorragias intraparenquimatosas espontáneas (ausencia de traumatismo previo) son menos frecuentes que el ictus isquémico, pero presentan también importante morbimortalidad. Se clasifican según su etiología en:

- Primarias: las más frecuentes; de causa hipertensiva o amiloide.
- Secundarias: rotura de vasos anormales de forma congénita (aneurismas, malformaciones arteriovenosas...), neoplásica (hemorragia intratumoral) o séptica (vasculitis, aneurismas micóticos).

Clínicamente se presentan como un déficit neurológico focal espontáneo que progresa lentamente asociado a cefalea (menos intensa que la presentada en la hemorragia subaracnoidea), por lo que la TC sin contraste intravenoso suele ser la primera técnica de imagen a realizar.

Hallazgos radiológicos en TC:

En este estudio buscaremos la localización del sangrado, su extensión, su cronología y sus criterios de gravedad (efecto masa sobre la línea media, el vertido ventricular o herniación).

La **topografía** de los hematomas ayudan a orientar su etiología:

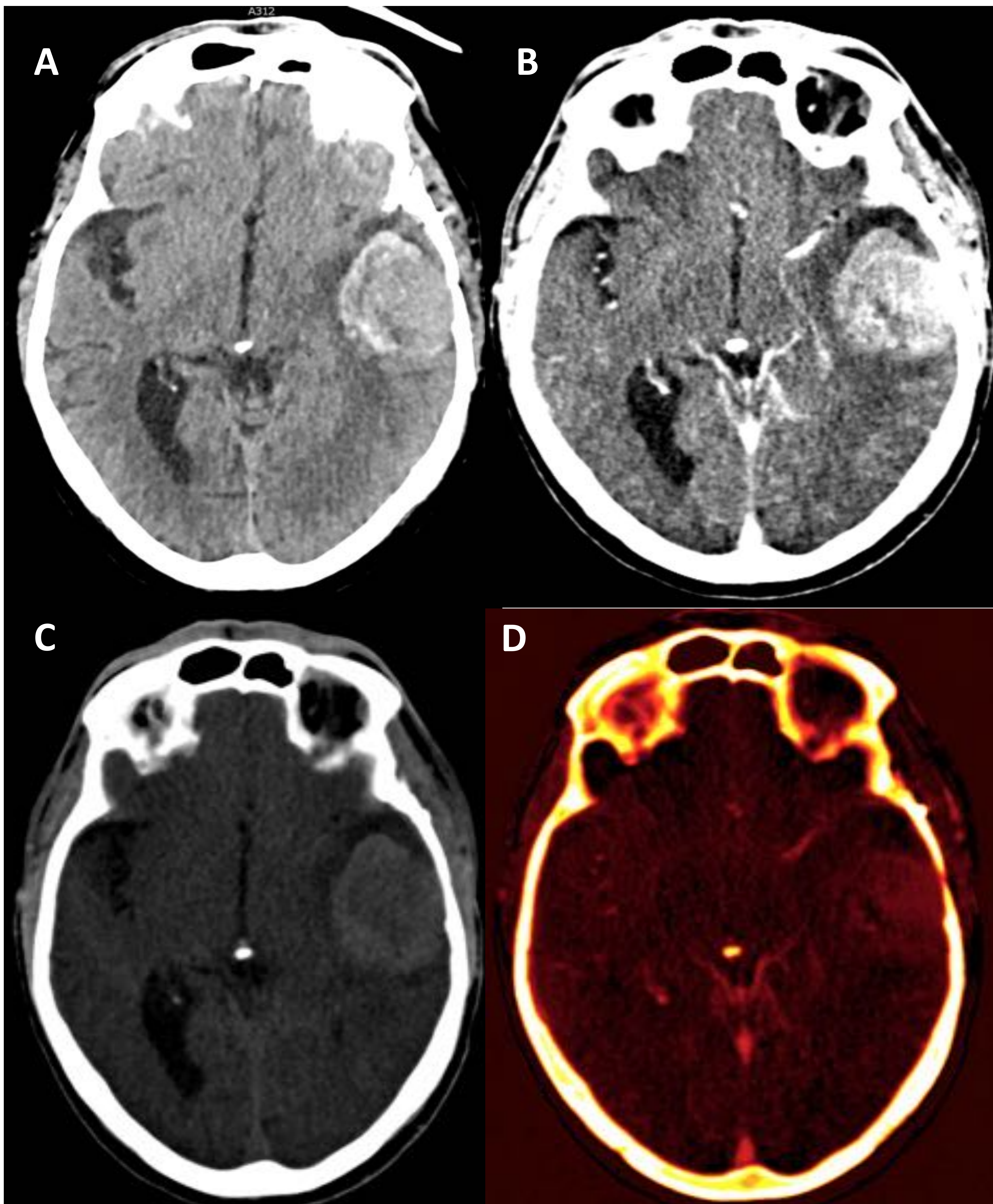
- La hemorragia hipertensiva se localiza típicamente en las regiones estriado capsulares, los tálamos y el tronco del encéfalo.
- La hemorragia por angiopatía amiloidea se presenta como un hematoma lobar pudiéndose acompañar en ocasiones de hemorragia subaracnoidea de la convexidad.

Otros criterios como la **morfología** pueden ayudar a filiar el sangrado; por ejemplo, la presencia de niveles y hematomas de gran tamaño son propias de pacientes anticoagulados (o con coagulopatías) y la presencia de edema desproporcional al hematoma puede indicar neoplasia subyacente.

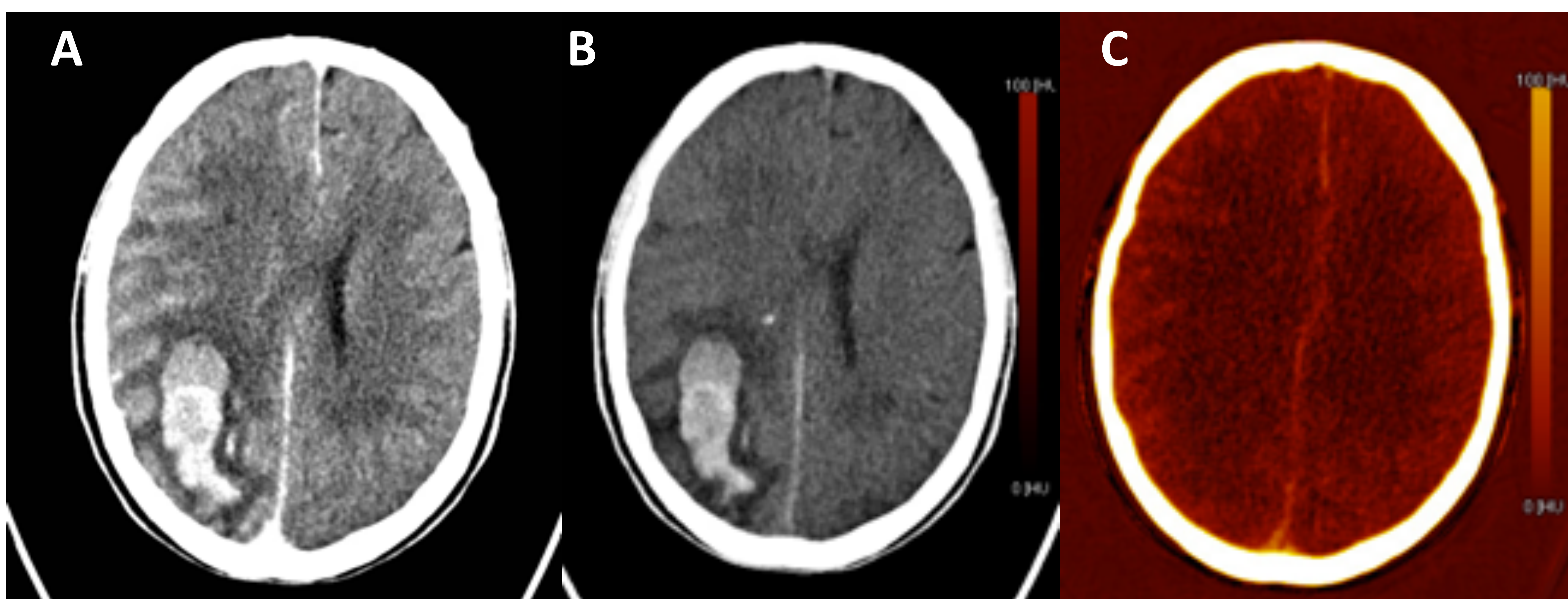
En ocasiones, la localización y la morfología (junto con el contexto clínico del paciente) no son suficientes para filiar la etiología del hematoma intraparenquimatoso o no se corresponden con el resto del cuadro clínico. Debemos pensar en la posibilidad de que la presencia de la hemorragia esté enmascarando su causa subyacente.

Aportaciones de la Energía Dual:

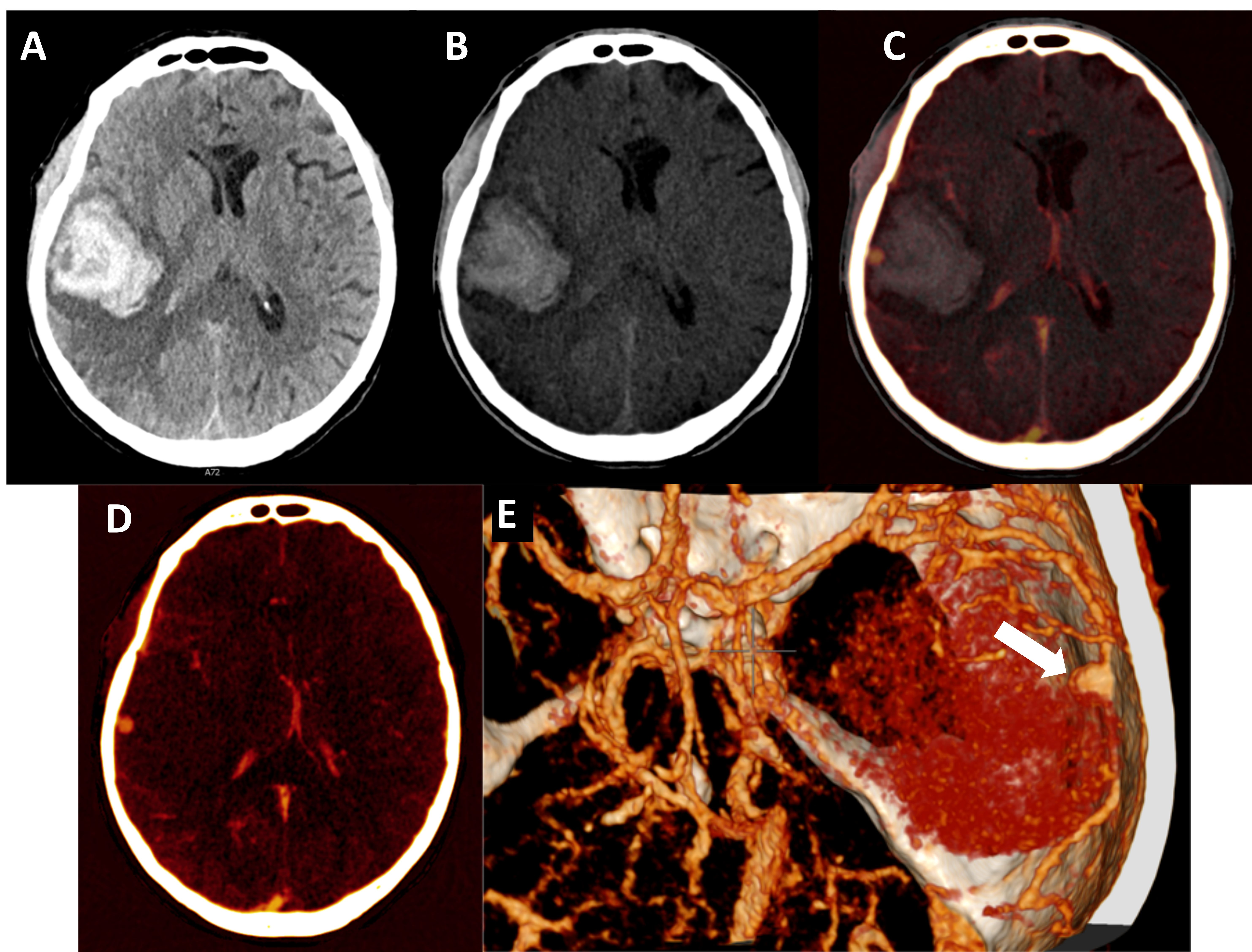
- **Identificación de lesión subyacente** en el seno de un hematoma intraparenquimatoso. La TCED permite diferenciar áreas de captación de contraste mediante la detección de yodo.



Varón de 63 años con antecedente de adenocarcinoma de pulmón. Tras episodio de clínica focal neurológica aguda se realiza un estudio con TC sin (A) y con CIV (B) observando una lesión temporoparietal izquierda de carácter hemorrágico. Debido al antecedente oncológico se realiza TCED observando que subyacente a la hemorragia visible en el mapa de sin contraste virtual (C) existe una lesión parenquimatosa que capta contraste en el mapa de yodo (D), en relación con metástasis de su carcinoma primario pulmonar.



Mujer de 71 años, con antecedente de melanoma maligno, que es traída al servicio de urgencias tras activarse Código Ictus por focalidad aguda en hemisferio izquierdo. Se realiza TCED con CIV identificando una lesión hemorrágica lobar frontoparietal derecha (A) con HSA asociada, sin representación en el mapa de yodo (C). Se diagnostica de hemorragia de probable etiología amiloidea.



Varón de 57 años con hemiplejía izquierda de 2h de evolución. En el TC basal se identifica un hematoma intraparenquimatoso temporoparietal derecho. Se realiza TC dual con contraste para descartar lesión subyacente con mapas sin contraste virtual (B), mapa de yodo (D) y mezcla de ambos (C). Se identifica una formación sacular pegada al diploe interno adyacente a la hemorragia, de aspecto vascular, que se confirma en un estudio angiográfico posterior como un aneurisma de rama M2 de ACM derecha (flecha en E).

2.1 TROMBOEMBOLISMO PULMONAR AGUDO

El tromboembolismo pulmonar agudo (TEPA) constituye una de las primeras causas de **mortalidad** en el hospital y morbimortalidad cardíaca.

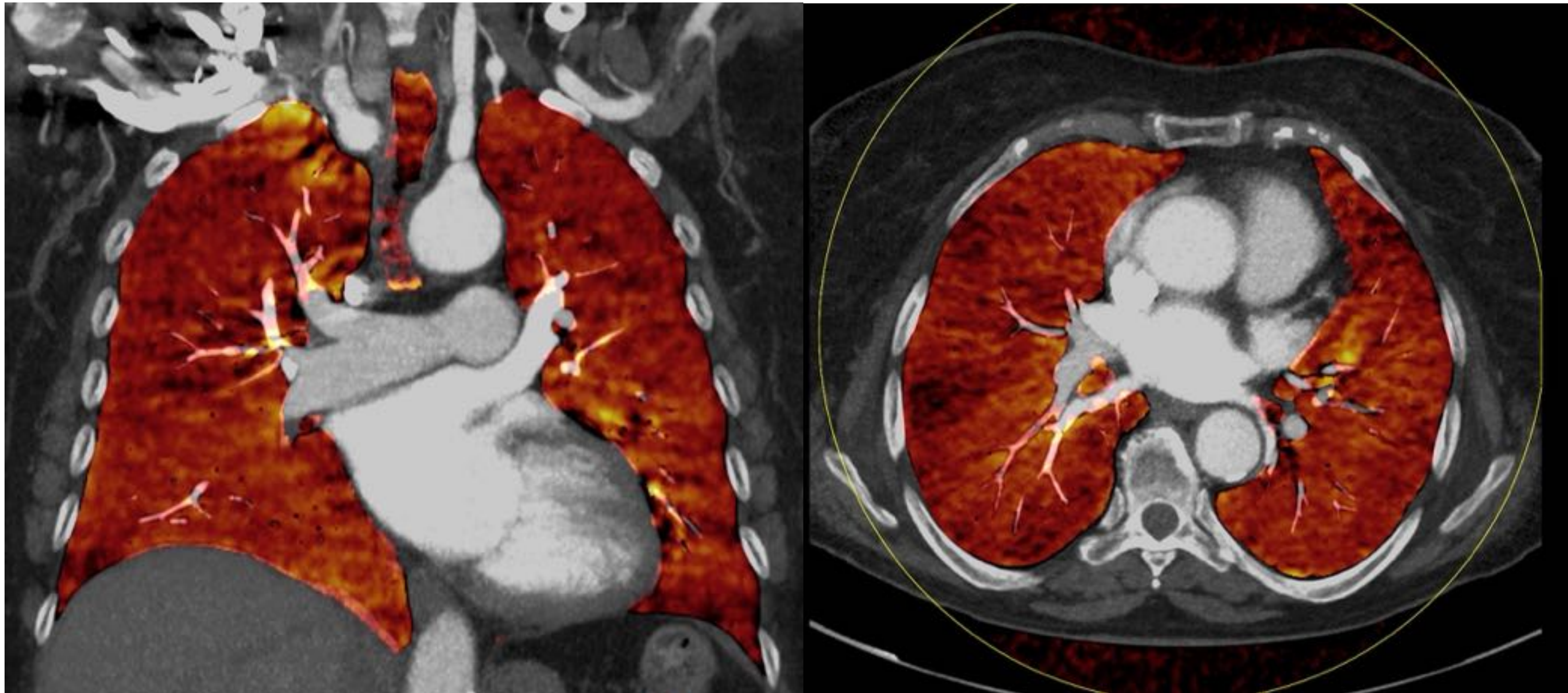
Puede ser silente o presentar clínica no específica como disnea, taquipnea y dolor pleurítico, por lo que el diagnóstico mediante angioTC de arterias pulmonares debe apoyarse en otros factores como la elevación del Dímero D o presencia de factores de riesgo (estados de hipercoagulabilidad, sedentarismo, cirugía reciente, proceso neoplásico o embarazo).

Hallazgos radiológicos principales en angioTC de arterias pulmonares:

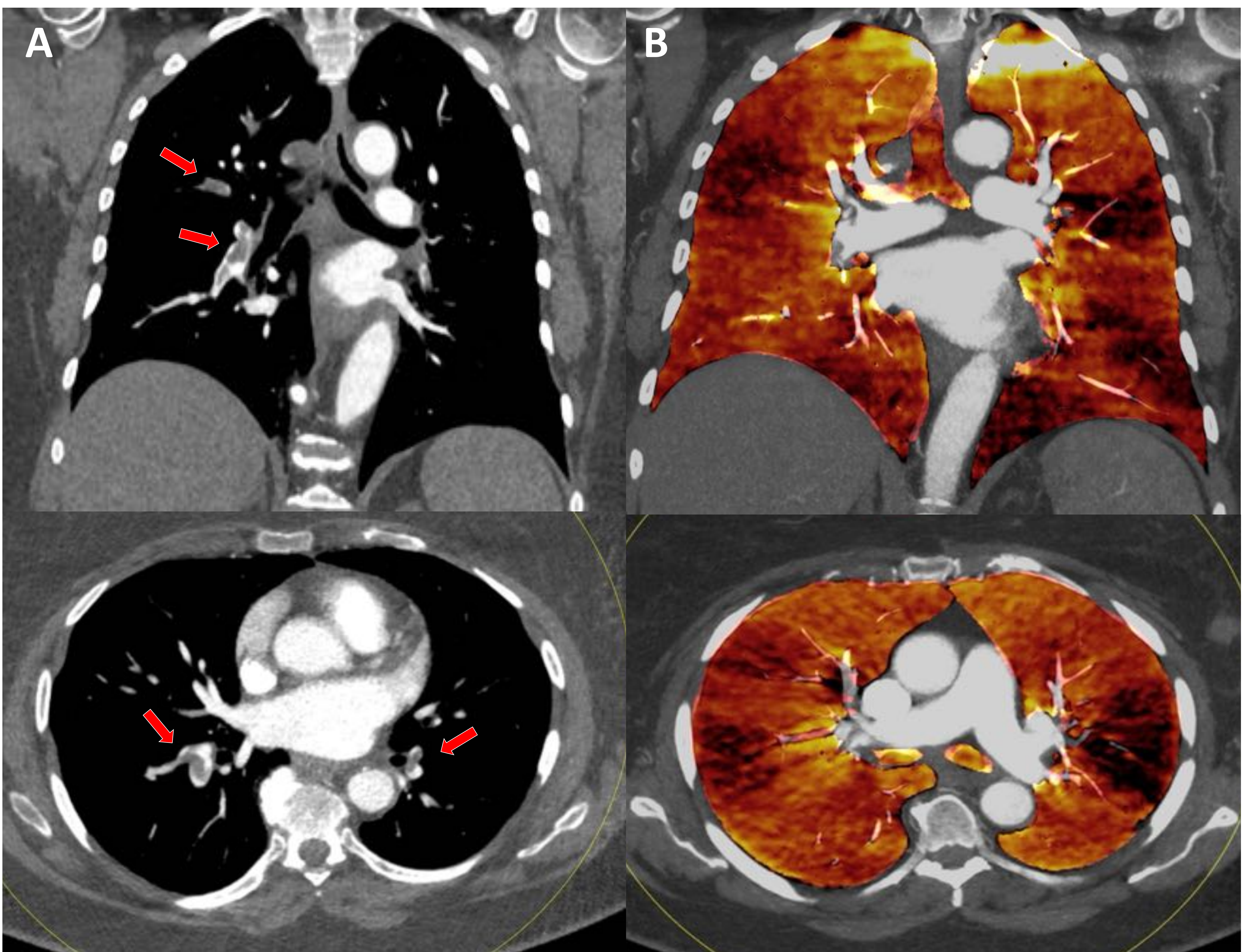
- Defectos de repleción (central o periférico), total o parcial de las arterias pulmonares y sus ramas.
- Infartos pulmonares: condensaciones triangulares de base periférica.
- Signos secundarios de hipertensión pulmonar: aumento del calibre de la pulmonar, dilatación del ventrículo derecho, desviación del tabique interventricular.

Aportaciones de la Energía Dual

- **Estudio simultáneo de los defectos de repleción arterial (trombo) y los defectos de perfusión del parénquima.** De esta forma, en pacientes normales el mapa de yodo mostrará una distribución homogénea (normalmente representada en color naranja) mientras que en presencia de TEP el mapa evidenciaría las áreas de hipoperfusión como un defecto de color de forma triangular. Permite estudiar la presencia de repercusión del trombo en la perfusión así como cuantificar su gravedad.
- La TCED evaluada en conjunto con el mapa de yodo también **incrementa la sensibilidad de la angio-TC para los émbolos periféricos.** En estudios convencionales los émbolos en arterias subsegmentarias pueden pasar desapercibidos. Con el mapa de yodo su detección aumenta, siendo importante por su necesidad de tratamiento para prevenir el TEP crónico y el desarrollo de hipertensión pulmonar.
- Globalmente, como cualquier estudio angiográfico, la posibilidad de una reconstrucción Monoenergética virtual de baja energía permite optimizar la relación contraste-ruido en el interior de los vasos pulmonares, mejorando la visualización del trombo en cualquier localización.



Estudio normal en paciente de 67 años que acude al servicio de urgencias por aumento de su disnea basal y dolor pleurítico bilateral. Se observa ausencia de defectos de repleción en el árbol vascular con mapas de perfusión normales.



Paciente de 54 años que acude con cuadro de disnea de 3 días de evolución. Se identifican múltiples defectos de repleción en ramas lobares superior e inferior derechas y segmentarias y subsegmentarias en todos los lóbulos compatible con TEPA bilateral (flechas rojas, A). En el mapa de perfusión pulmonar (B) se demuestran varios defectos de morfología triangular y base pleural en segmentos apicoposterior de LSI, línula y segmento superior de LII sin evidencia de infarto pulmonar.

2.4 ISQUEMIA MESENTÉRICA

La isquemia mesentérica es una de las causas de abdomen agudo en urgencias que conllevan mayor mortalidad (50-90%) debido al escaso tiempo que transcurre entre la disminución del flujo vascular y la instauración de la necrosis irreversible de las asas intestinales, por lo que su diagnóstico precoz es clave en el manejo de esta patología. La clínica puede ser inespecífica (dolor abdominal, distensión) y confundirse con otras causas de patología abdominal.

La oclusión aguda de la arteria mesentérica superior, ya sea de causa embólica o trombótica, constituye la causa más frecuente de isquemia aguda (60%), pero no debemos de olvidarnos de la trombosis venosa o los estados de bajo gasto como otras etiologías.

Hallazgos radiológicos en TC con CIV en fase arterial y venosa:

- Dilatación de asas intestinales
- Neumatosis intestinal y portal
- Edema de mesentérico
- Engrosamiento de la pared de las asas (o adelgazamiento en caso de necrosis establecida)
- Alteraciones en el patrón de realce de la pared
- Defectos de repleción en los principales troncos arteriales o venosos.

Recordamos que las paredes de las asas intestinales realzan tras la administración de contraste intravenoso, tanto en fase arterial como venosa, siendo éste signo de viabilidad y de buen pronóstico. Podemos encontrarnos diferentes anomalías:

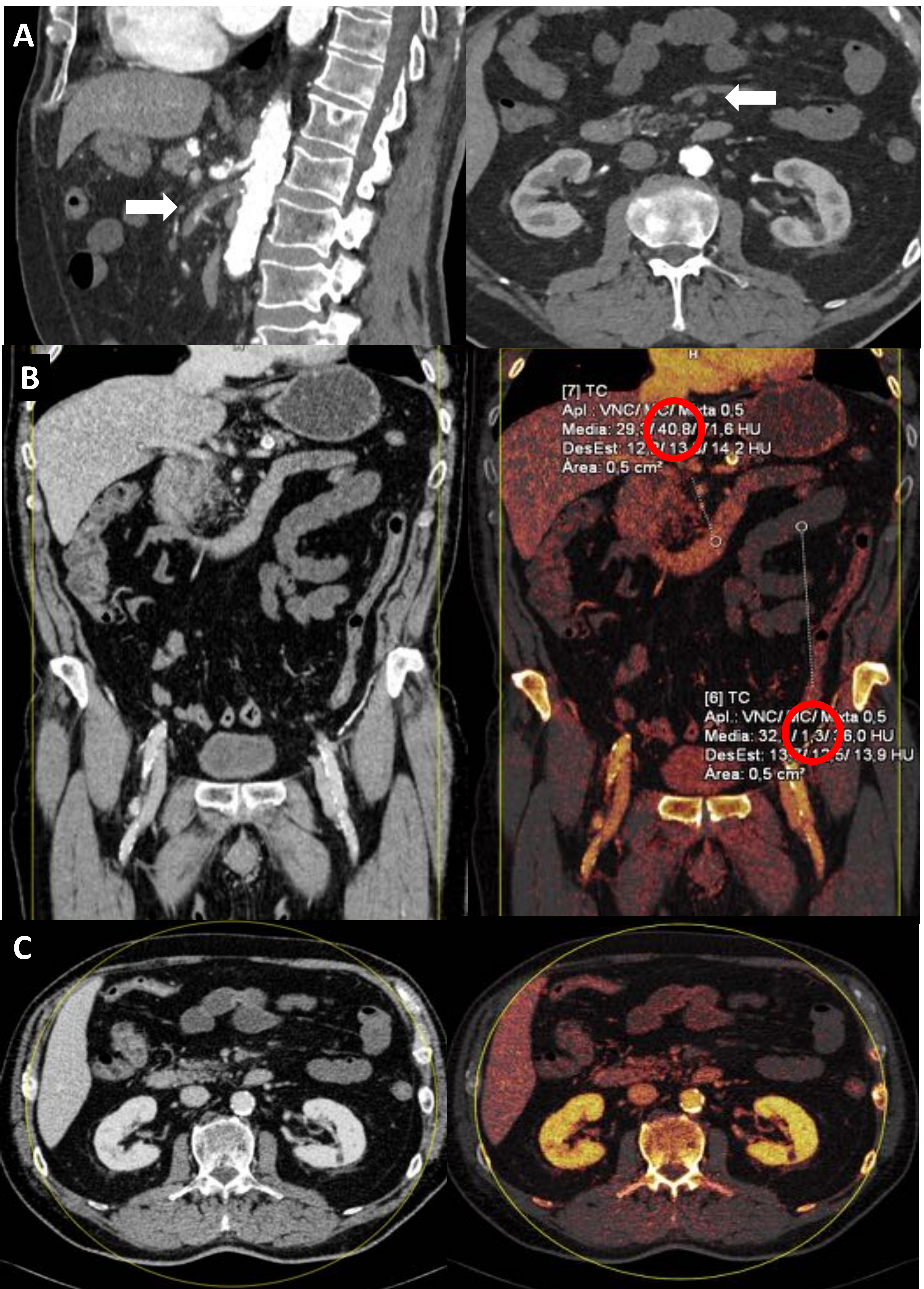
- **Aumento de realce:** signo precoz de isquemia como reflejo de un aumento de la presión capilar o ingurgitación venosa. Nos indica viabilidad del asa afectada.
- **Disminución de realce:** signo específico de isquemia intestinal, el asa afectada no es viable. Es en éste último caso donde la energía dual puede aportar un valor añadido al estudio convencional ya que a pesar de ser un signo muy específico, la hipoperfusión de la pared intestinal puede ser muy sutil.

Aportaciones de la Energía Dual

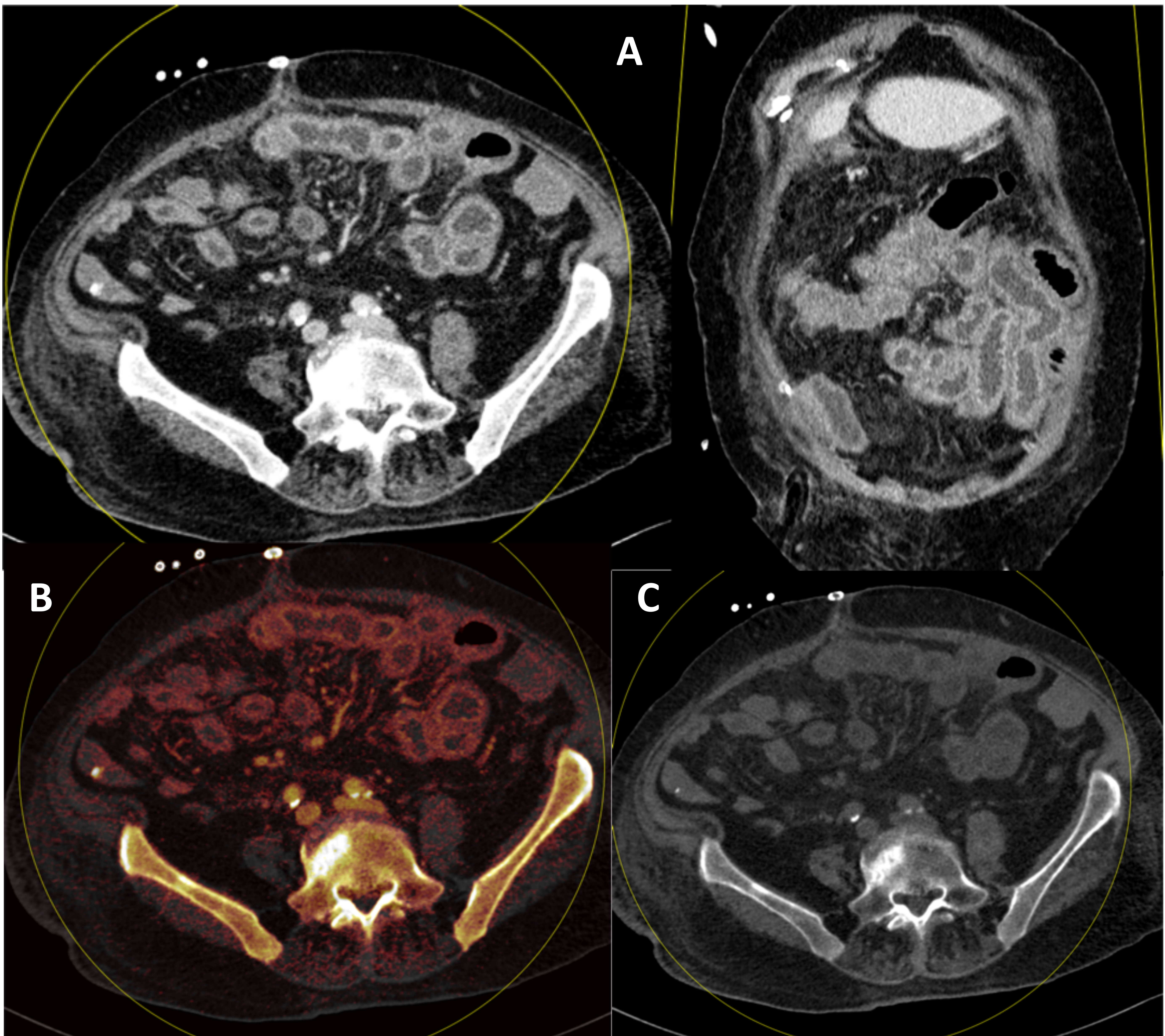
Valoración precoz de la **hipoperfusión de las asas afectadas**, observando varias diferencias:

- Cualitativa: interpretación visual de los mapas de yodo.
- Cuantitativa: La colocación de un ROI en la pared del asa afectada nos permite medir su captación de yodo en UH. El intestino hipoperfundido mostrará una menor atenuación que el intestino no afecto. La concentración de yodo en la pared intestinal dependerá de la concentración y velocidad de administración del contraste intravenoso así como de factores hemodinámicos del paciente, por lo que no existe consenso en los umbrales de UH necesarios para el diagnóstico. Se considera más adecuado realizar una comparación relativa, colocando un ROI en la pared del intestino delgado y otro en asas normales.

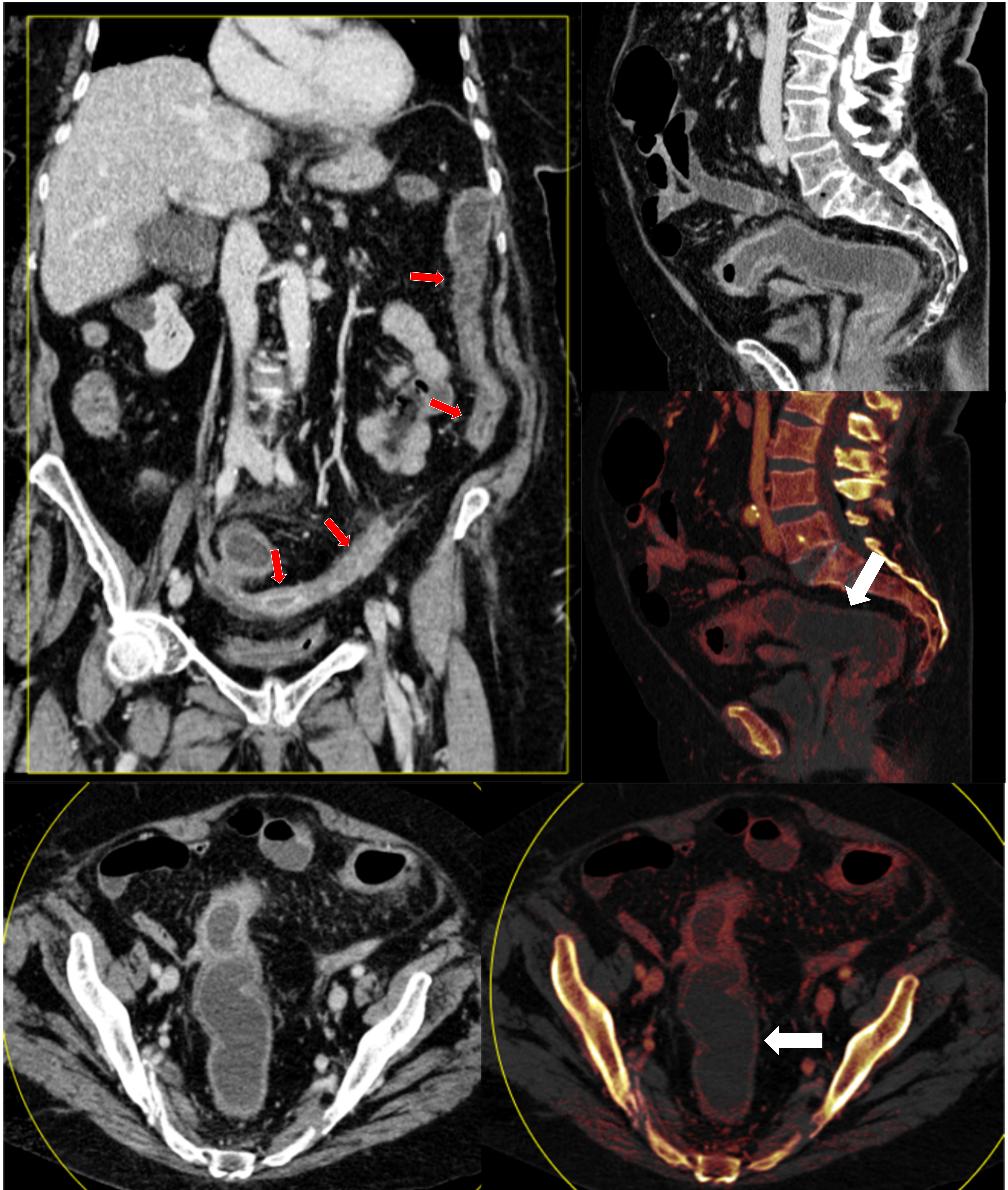
En fases avanzadas, debido al daño de la pared y de la microvascularización, la isquemia mesentérica puede asociar **hemorragia submucosa**. Los mapas de sin contraste virtual y mapas de yodo permitirán identificar la hiperatenuación de la pared debido a la hemorragia intramural, que podría enmascarar un hiporealce de la pared en un estudio sin ED.



Varón de 82 años con dolor abdominal agudo (AngiotTC de arteria mesentérica con energía dual). En la fase arterial (A) se observa una oclusión completa de la mesentérica superior (flecha), sin identificarse signos de isquemia sobre las asas intestinales (no dilatación de asas, no alteraciones en la pared). No obstante, en la fase venosa (B y C) en el mapa de yodo se observa una disminución de captación significativa de las asas proximales de yeyuno en comparación con el duodeno o íleon, que se corresponde a áreas de isquemia.



AngioTC de arteria mesentérica con energía dual en mujer de 87 años con dolor abdominal. Llamativo engrosamiento submucoso de asas de yeyuno con aumento de densidad lineal de la mucosa (A) e ingurgitación del mesentéreo. La ausencia de representación de esta hiperdensidad mucosa en el mapa de sin contraste virtual (C) descarta la posibilidad de hemorragia intramural y, por tanto, se confirma la presencia de hiperemia mural en el mapa de yodo (B), en contexto de probable reperfusión/hiperperfusión secundaria.



Mujer de 85 años con intenso dolor abdominal difuso y analítica con criterios de sepsis. Se realiza un TC abdominal dual con contraste en fase portal. Importante engrosamiento mural de las paredes del colon descendente, sigma y recto (flechas rojas) con leves cambios inflamatorios adyacentes compatibles con colitis, de probable origen isquémico. Gracias al mapa de yodo se hace evidente una menor captación mural de un segmento de la unión rectosigmoidea (flechas blancas), compatible con isquemia establecida/necrosis.

2.5 PANCREATITIS AGUDA

La pancreatitis aguda es un cuadro inflamatorio frecuentemente asociado a colelitiasis y al abuso del alcohol. Puede presentarse desde un cuadro leve con dolor abdominal y vómitos hasta un cuadro de elevada gravedad con fallo multiorgánico. Su diagnóstico se basa en:

- Dolor epigástrico característico “en cinturón”
- Elevación de amilasa o lipasa >3 veces lo normal
- Hallazgos típicos en pruebas de imagen

Si las dos primeras están presentes, la TC no sería necesaria. Su utilidad radica en casos con presentaciones atípicas, elevaciones enzimáticas menores o cuadros de gravedad.

Hallazgos radiológicos en TC con CIV:

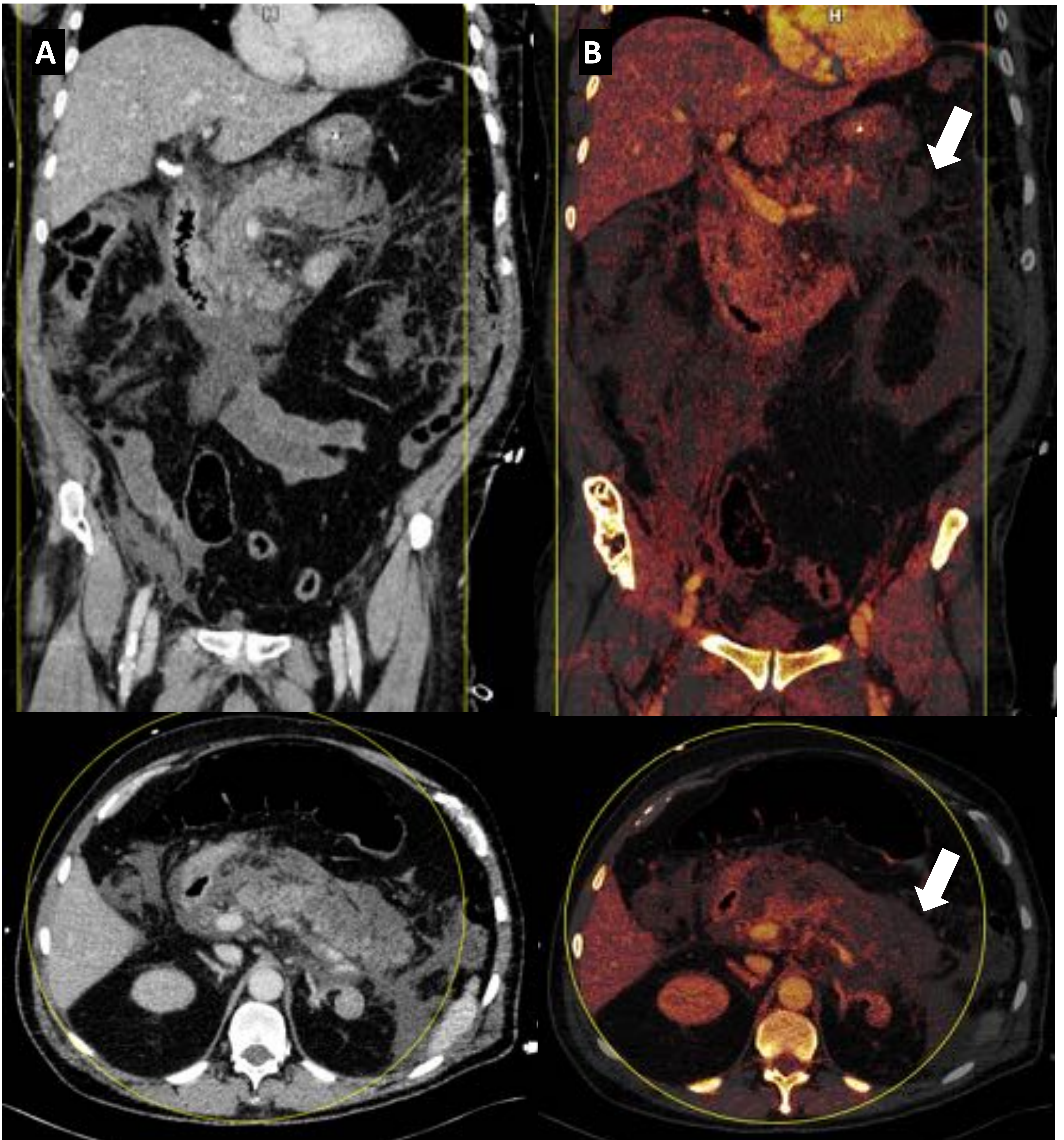
- **Pancreatitis aguda edematosa intersticial:** páncreas aumentado de tamaño con realce homogéneo y estriación y/o borrosidad de la grasa peripancreática. Pueden aparecer colecciones en saco menor o en flanco izquierdo.
- **Pancreatitis aguda necrotizante:** presencia de necrosis en el parénquima o peripancreáticas (o ambas) como áreas con escaso o nulo realce de al menos 3 cm de tamaño o más del 30% de la glándula.

Aportaciones de la Energía Dual

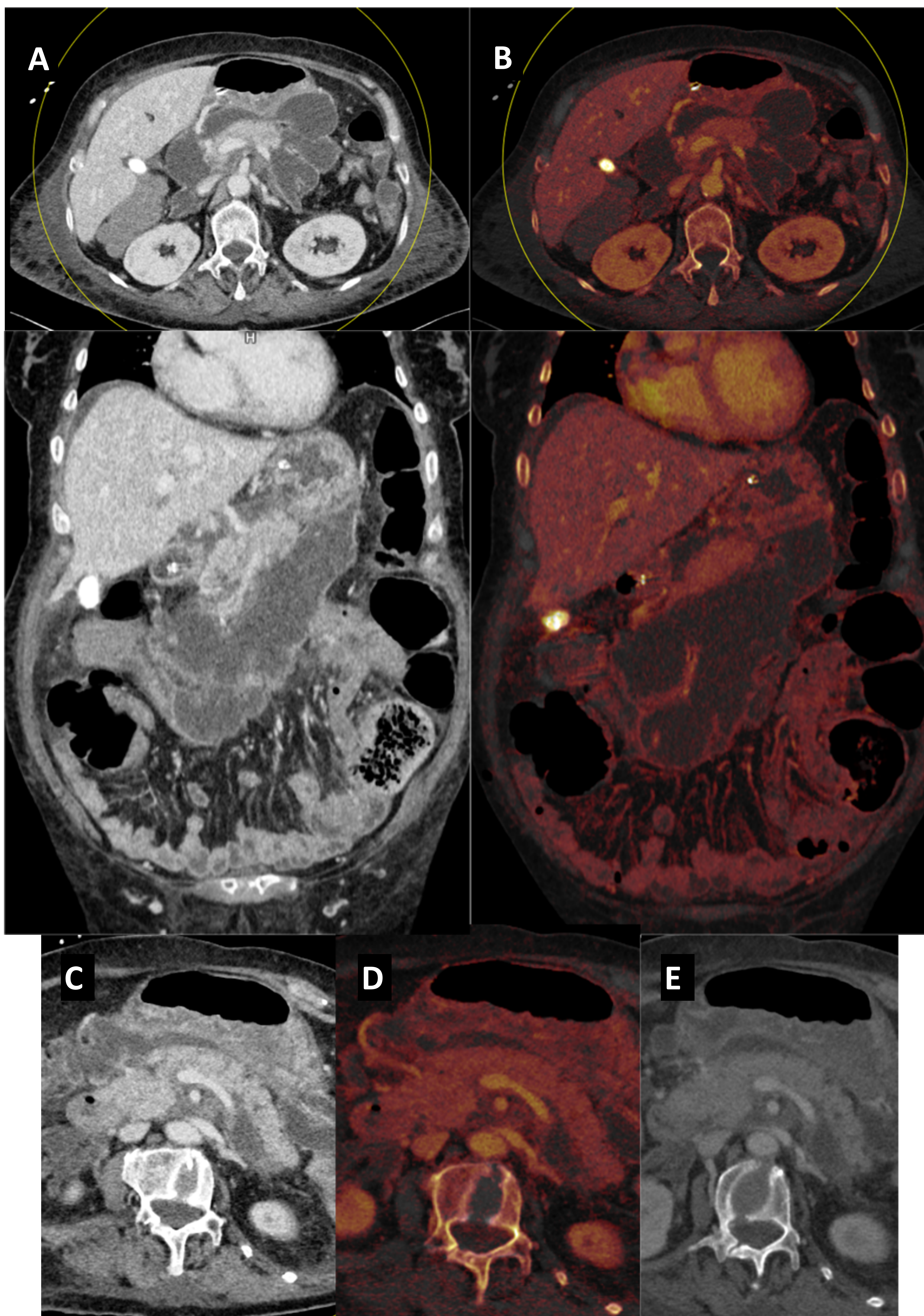
En el caso de la pancreatitis aguda, la energía dual tiene especial importancia en la valoración de las posibles complicaciones como la necrosis o colecciones pancreáticas y peripancreáticas.

La presencia de necrosis pancreática se asocia a un importante riesgo de insuficiencia orgánica y muerte. En ocasiones, puede ser difícil de diagnosticar debido a la observación de pequeñas áreas focales hipodensas, que se pueden confundir con edema reversible o debido al realce escaso y heterogéneo en caso de infiltración grasa de la glándula, frecuente en pacientes de edad avanzada.

- Las reconstrucciones Monoenergéticas de baja energía pueden ser útiles para la **detección de áreas de necrosis** ya que hace más evidente las diferencias de captación de contraste que en estudios convencionales pueden ser sutiles.
- El mapa de yodo ayuda a **distinguir áreas de perfusión disminuída respecto a verdaderas áreas de necrosis** que en la TC convencional veríamos como áreas de hipocaptación en ambos casos.
- Las **colecciones** pancreáticas y peripancreáticas también pueden ser evaluadas mediante TCED ya que permite una mejor delimitación de las mismas, con posibilidad de identificar componente necrótico, hematoma o zonas de parénquima preservado residual.
- Por último, las imágenes monoenergéticas de baja y alta energía permiten identificar con mayor sensibilidad la presencia de **litiasis no calcificadas** en el árbol biliar como causa potencial del cuadro.



Paciente de 59 años con dolor epigástrico y aumento de amilasa y lipasas séricas. Se realiza TC abdominal dual con contraste en fase portal por deterioro del estado clínico tras manejo médico en Urgencias identificando edema de la glándula pancreática y extensos cambios inflamatorios con líquido y estriación de la grasa en la celda peripancreática, en el saco menor y en ambos espacios pararenales en las reconstrucciones average (A). En el mapa de yodo (B) se identifica un área de hiporrealce en la cola pancreática (flecha), hallazgos compatibles con área de necrosis en contexto de pancreatitis aguda.



Mujer de 70 años con dolor abdominal de semanas de evolución y deterioro del estado general. Se realiza de forma urgente un TC abdominal dual con contraste en fase portal. Se identifica en la reconstrucción average (A) un páncreas aumentado de tamaño, edematoso, con múltiples colecciones agudas líquidas peripancreáticas organizadas, de paredes lisas, sin signos de infección ni sangrado en los mapas de yodo (B). El realce del parénquima es homogéneo en los mapas average (C), yodo (D) y Monoenergético de baja energía (E) centrado en la glándula, por lo que se trata de una pancreatitis aguda intersticial con colecciones peripancreáticas sin signos de necrosis.

2.6 UROLITIASIS Y CÓLICO RENAL

El cólico renal es la complicación más frecuente de las litiasis renales. Se caracteriza por **dolor súbito en fosa renal** con irradiación a región inguinal. Su diagnóstico se puede apoyar en la radiografía simple y normalmente es suficiente el manejo con analgesia. No obstante, en determinados casos es necesario ampliar los estudios de imagen como es la ausencia de respuesta al tratamiento, fiebre, riñón único o dudas diagnósticas.

El objetivo de la prueba de imagen es la identificación de posibles causas obstructivas (urolitiasis), su localización y repercusión sobre la vía urinaria. Para el manejo de este cuadro, también es importante conocer la composición de las litiasis.

Comúnmente, los cálculos se componen de **oxalato cálcico** (70%) o fosfato cálcico (20%). No obstante, existe un no despreciable 10% de los casos en los que pueden aparecer otros componentes como el ácido úrico, cistina o estruvita.

Hallazgos radiológicos en TC sin CIV:

La TC convencional es la prueba más sensible para detectar litiasis renal, especialmente tras ecografía no concluyente. Nos permite identificar la litiasis, su tamaño y localización, así como posibles complicaciones como la dilatación de la vía excretora, la alteración de la grasa perirenal o el edema renal.

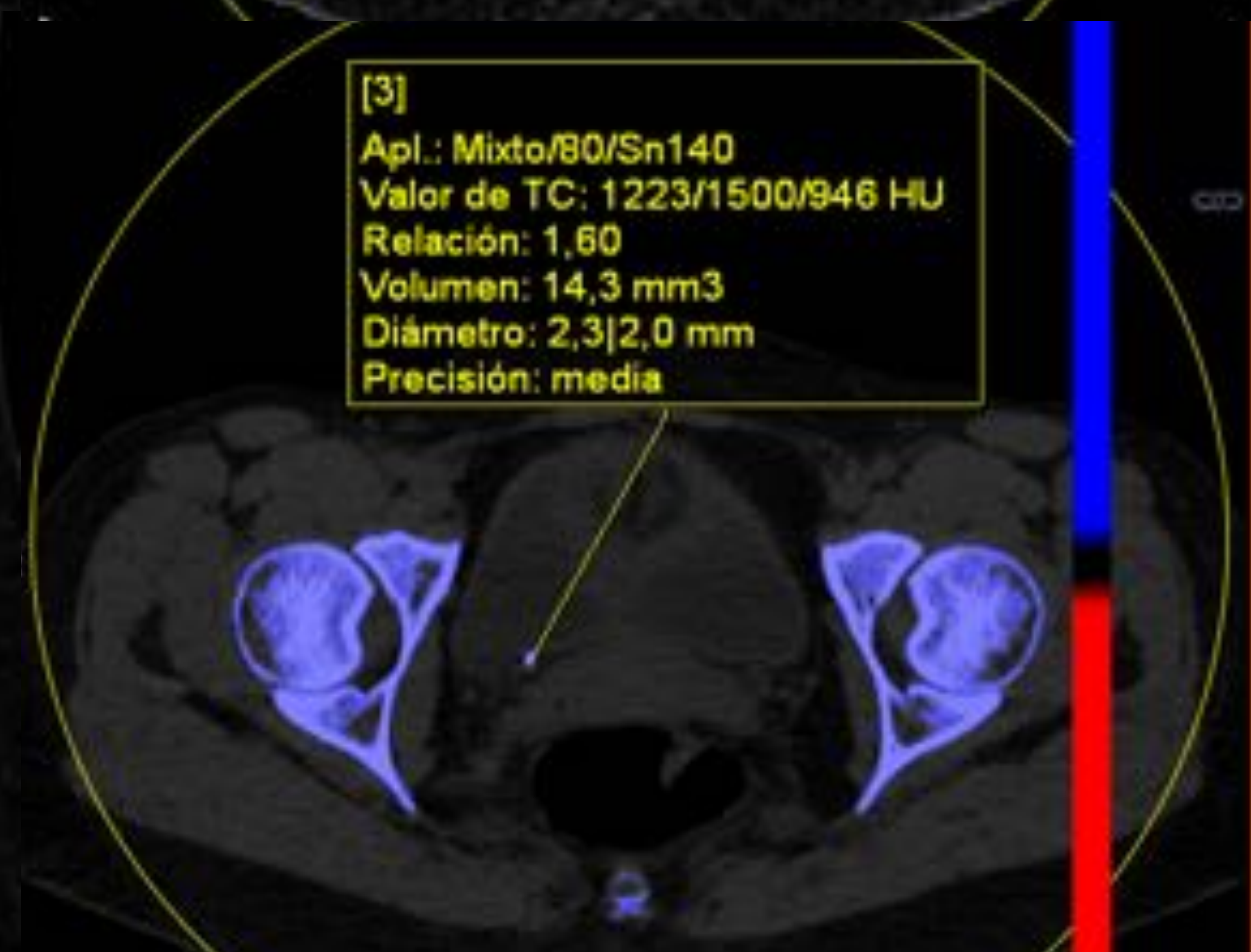
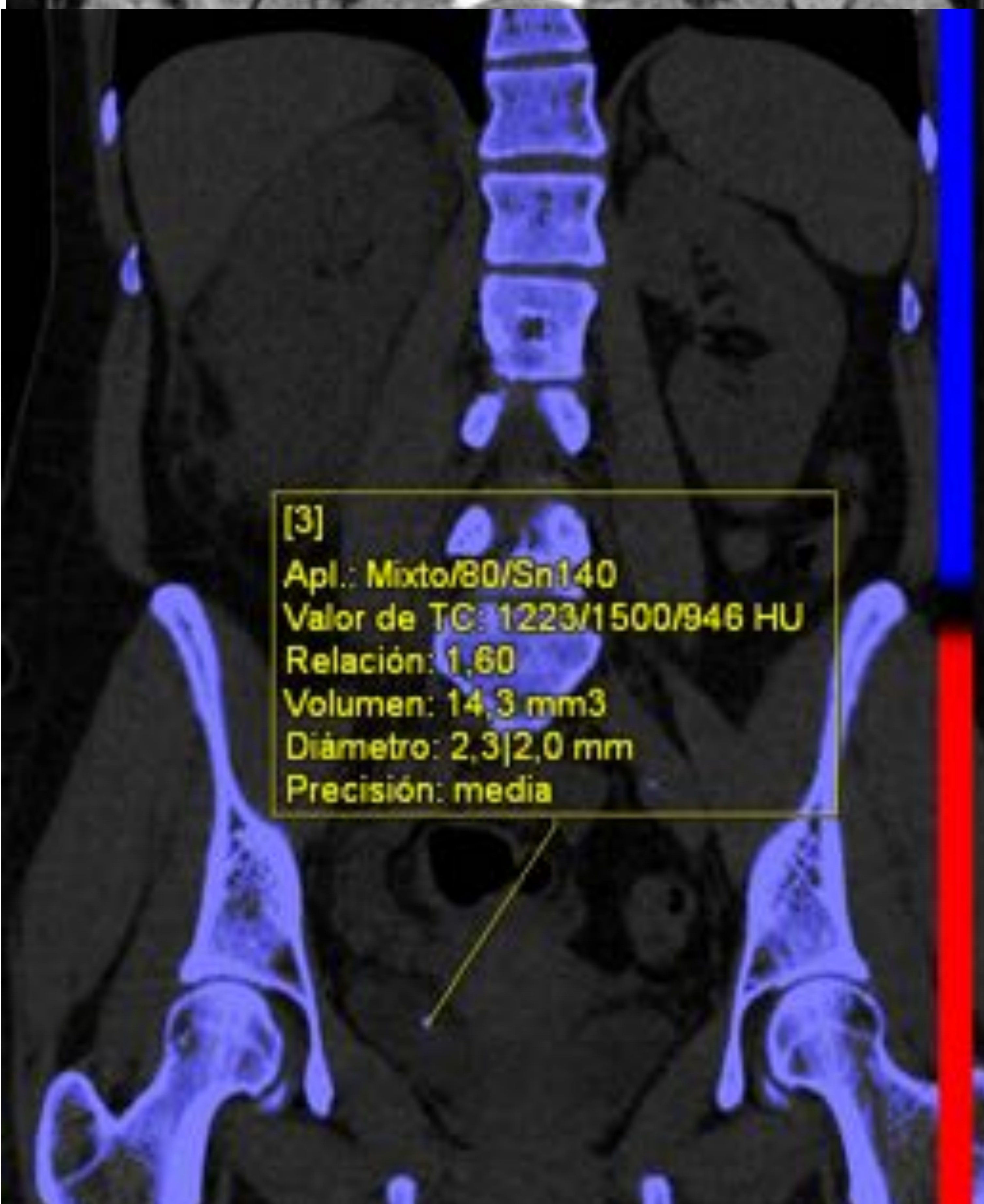
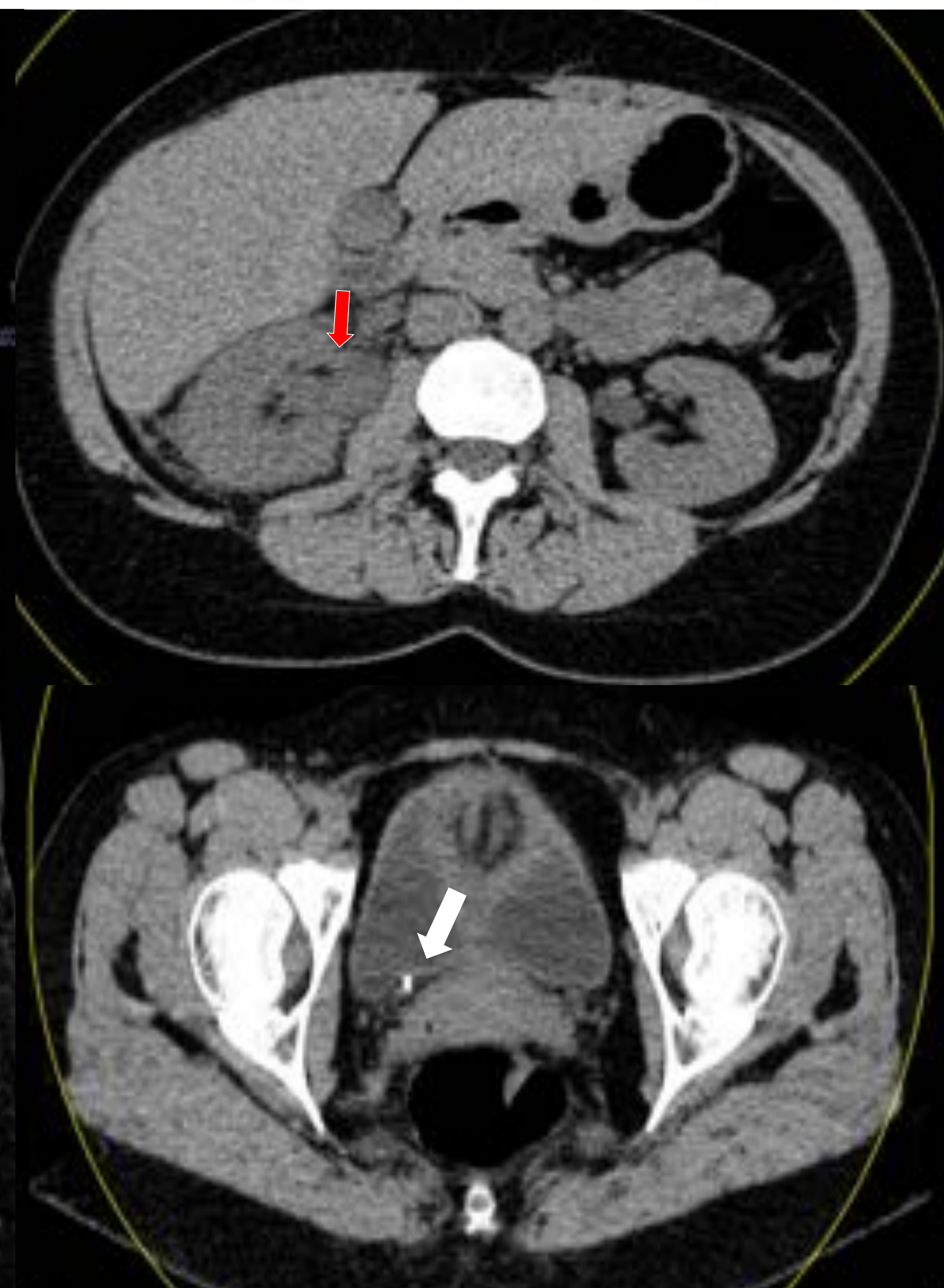
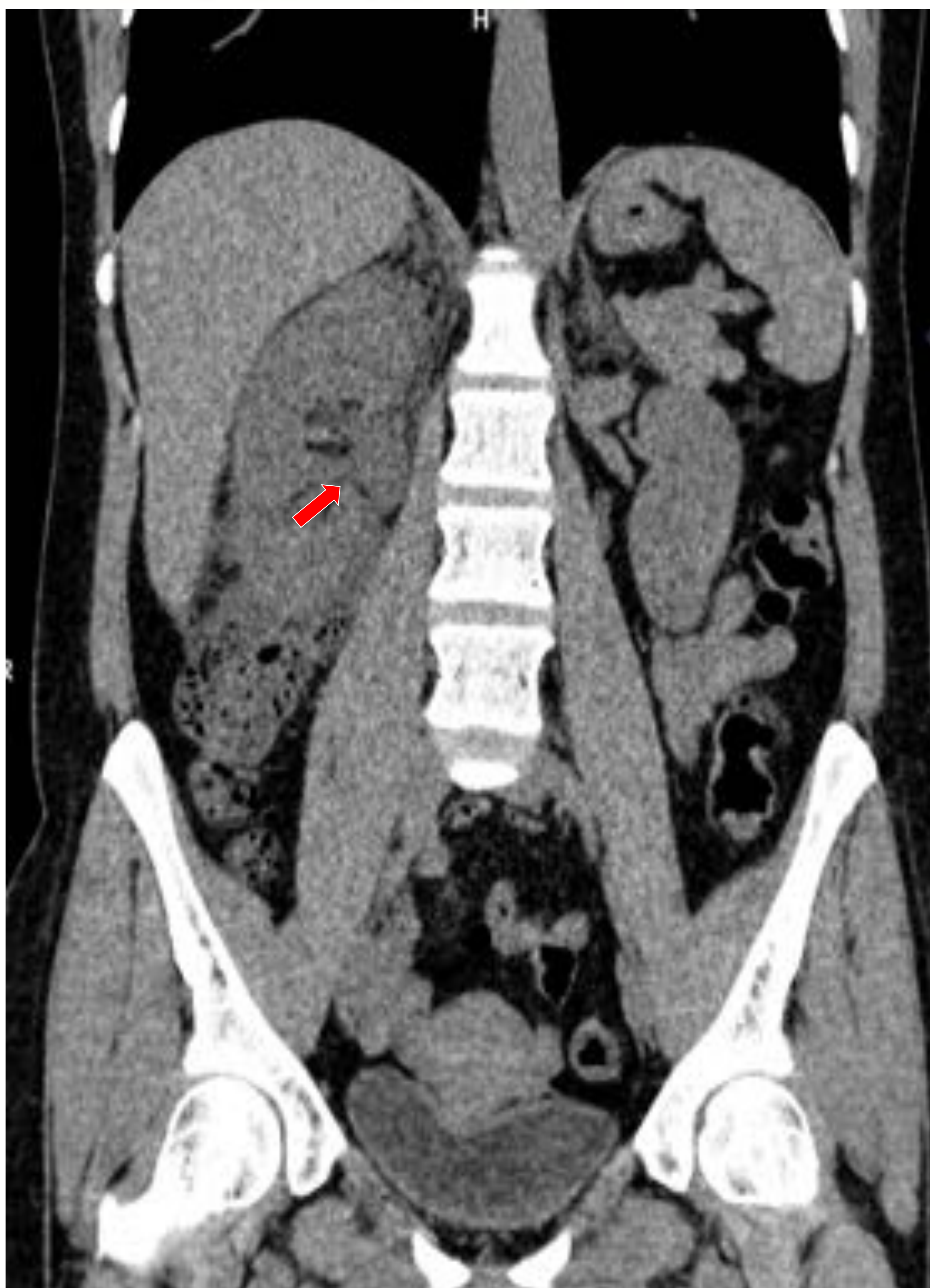
Aportaciones de la Energía Dual

La TCED ha permitido **caracterizar las litiasis en función de su composición**.

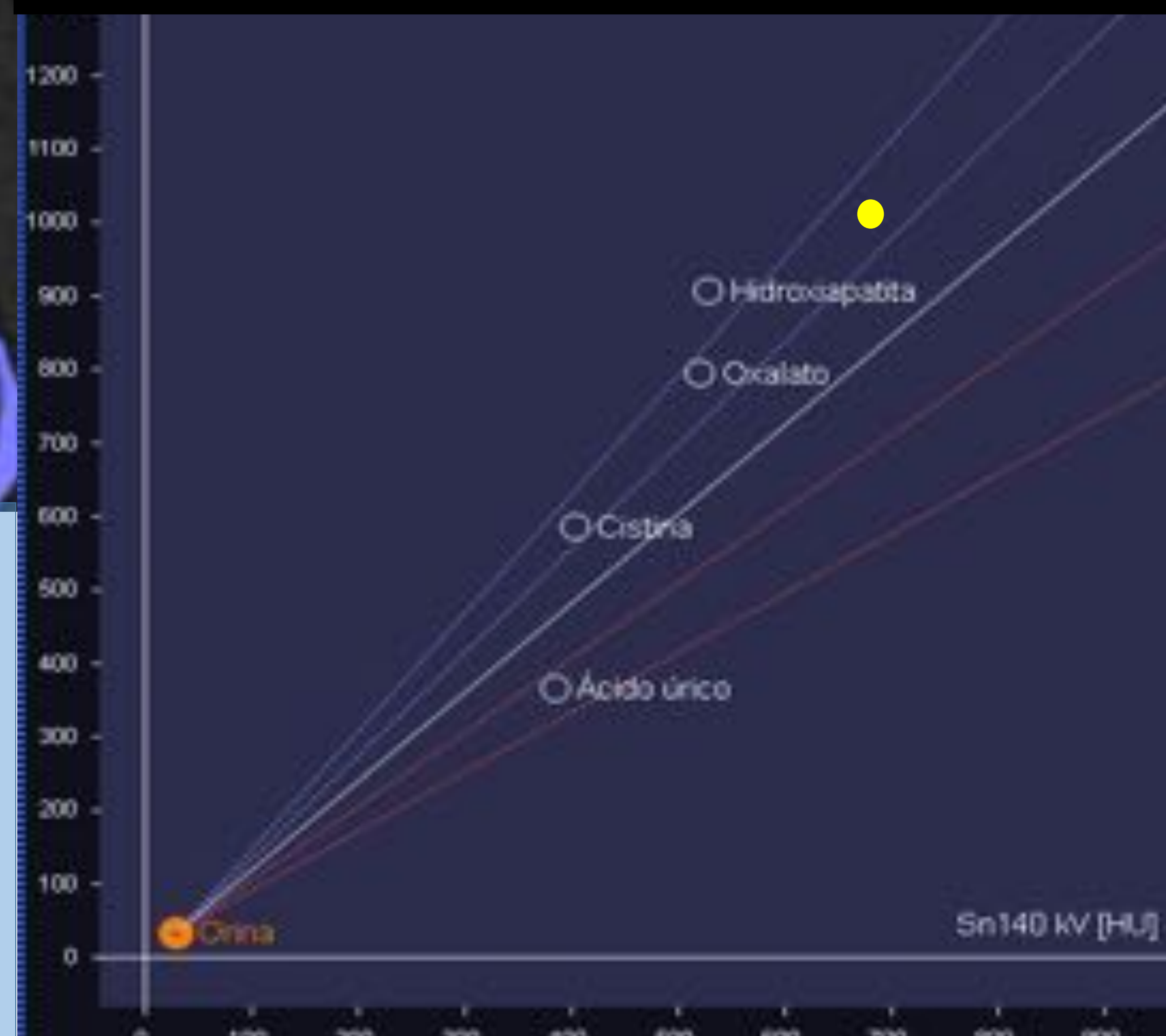
Los cálculos de ácido úrico tienen elementos con bajo número atómico (hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno), mientras que los de oxalato o fosfato cálcico tiene elementos de mayor número atómico (fósforo, calcio y sulfuro). Esto explica por qué los cálculos de ácido úrico atenúan más la radiación de alta energía mientras que los cálcicos atenúan más la de menor energía.

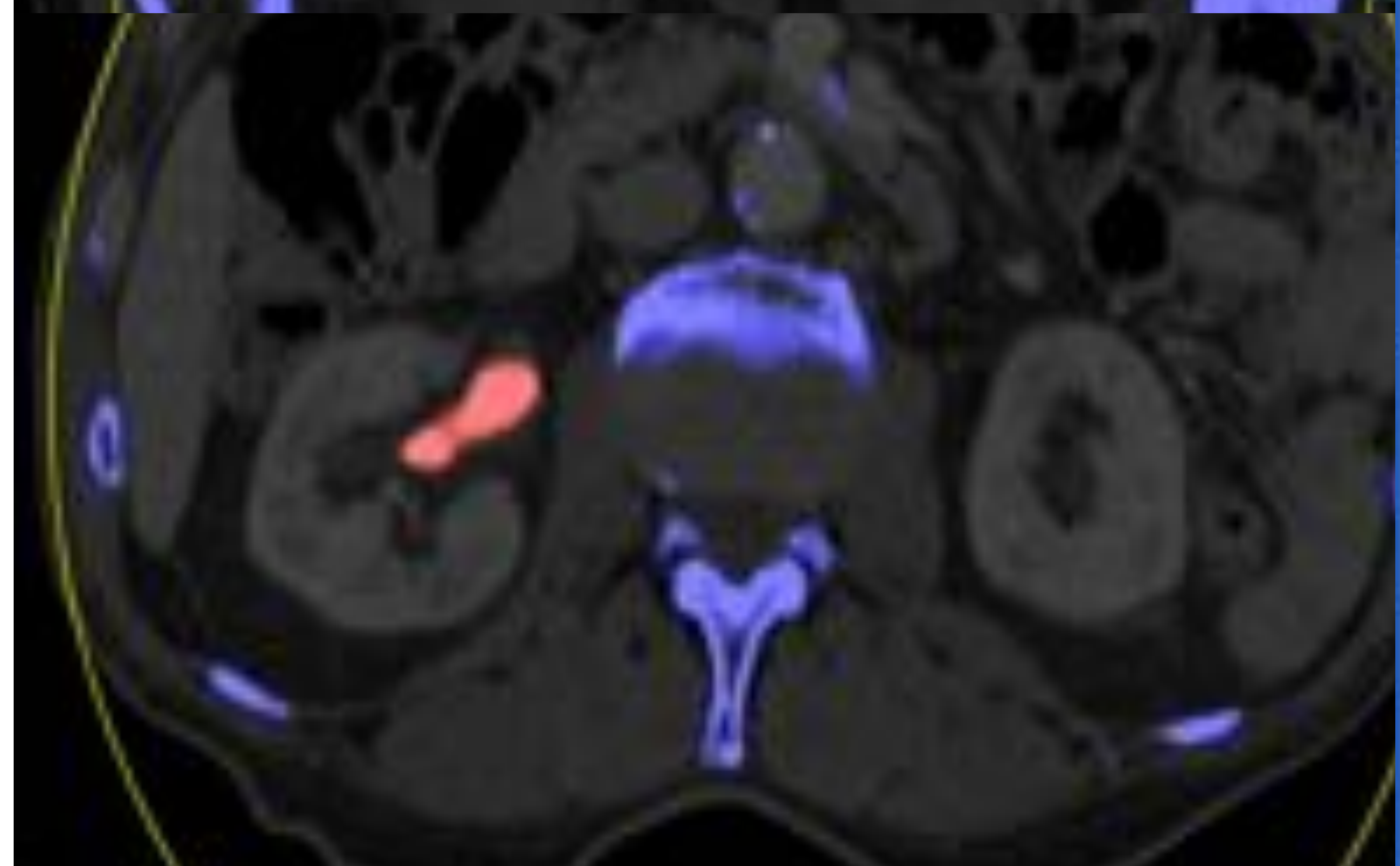
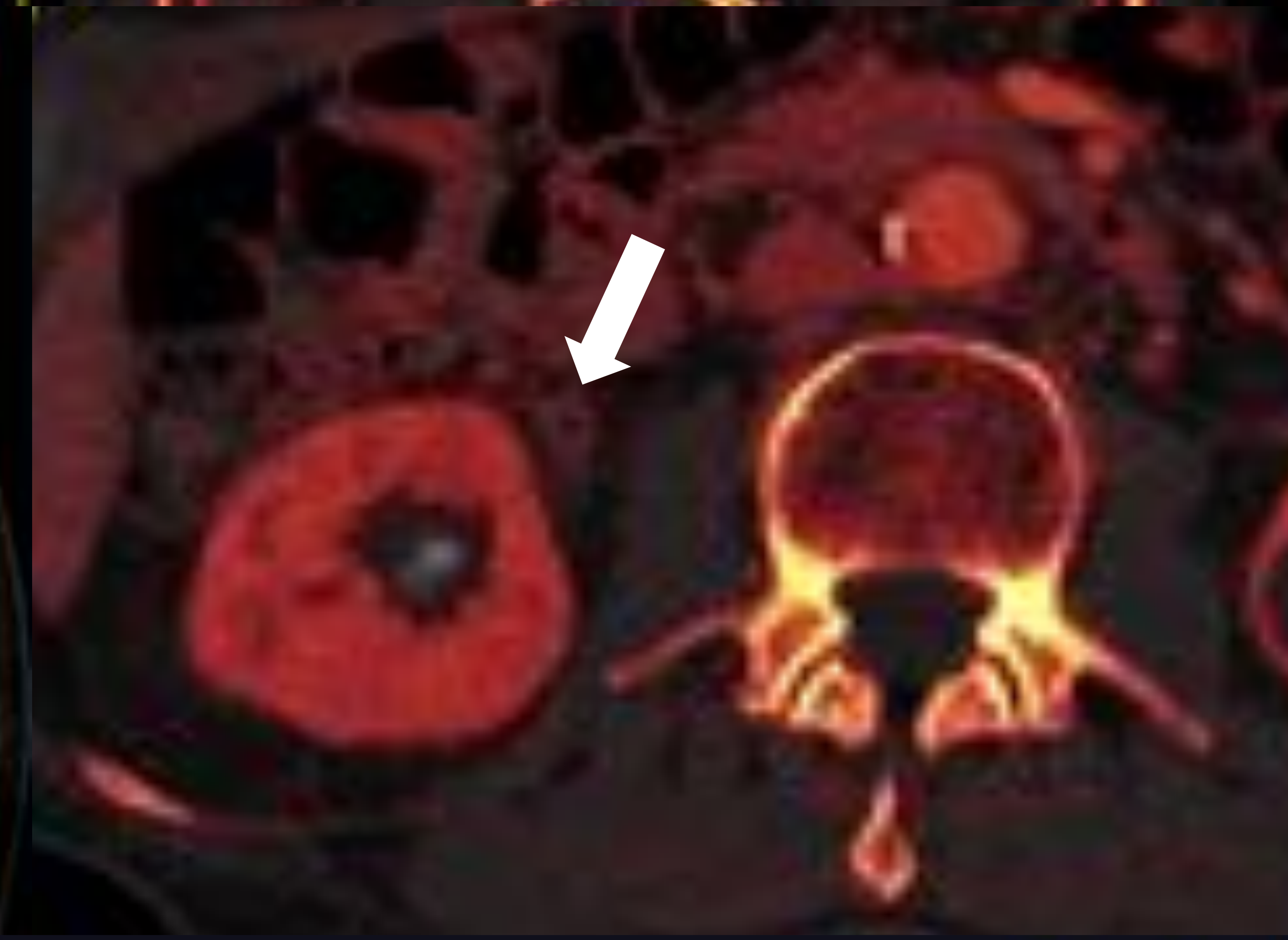
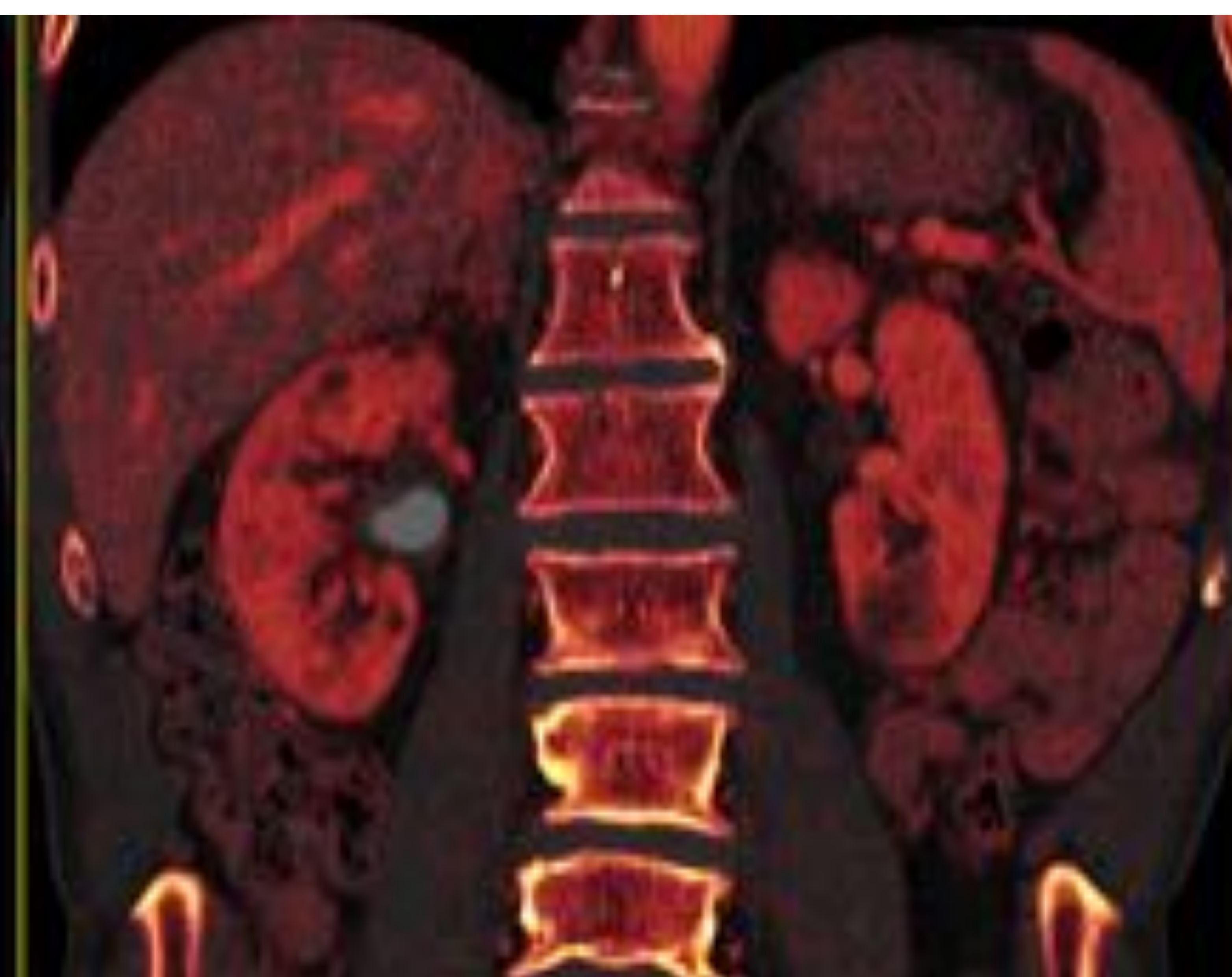
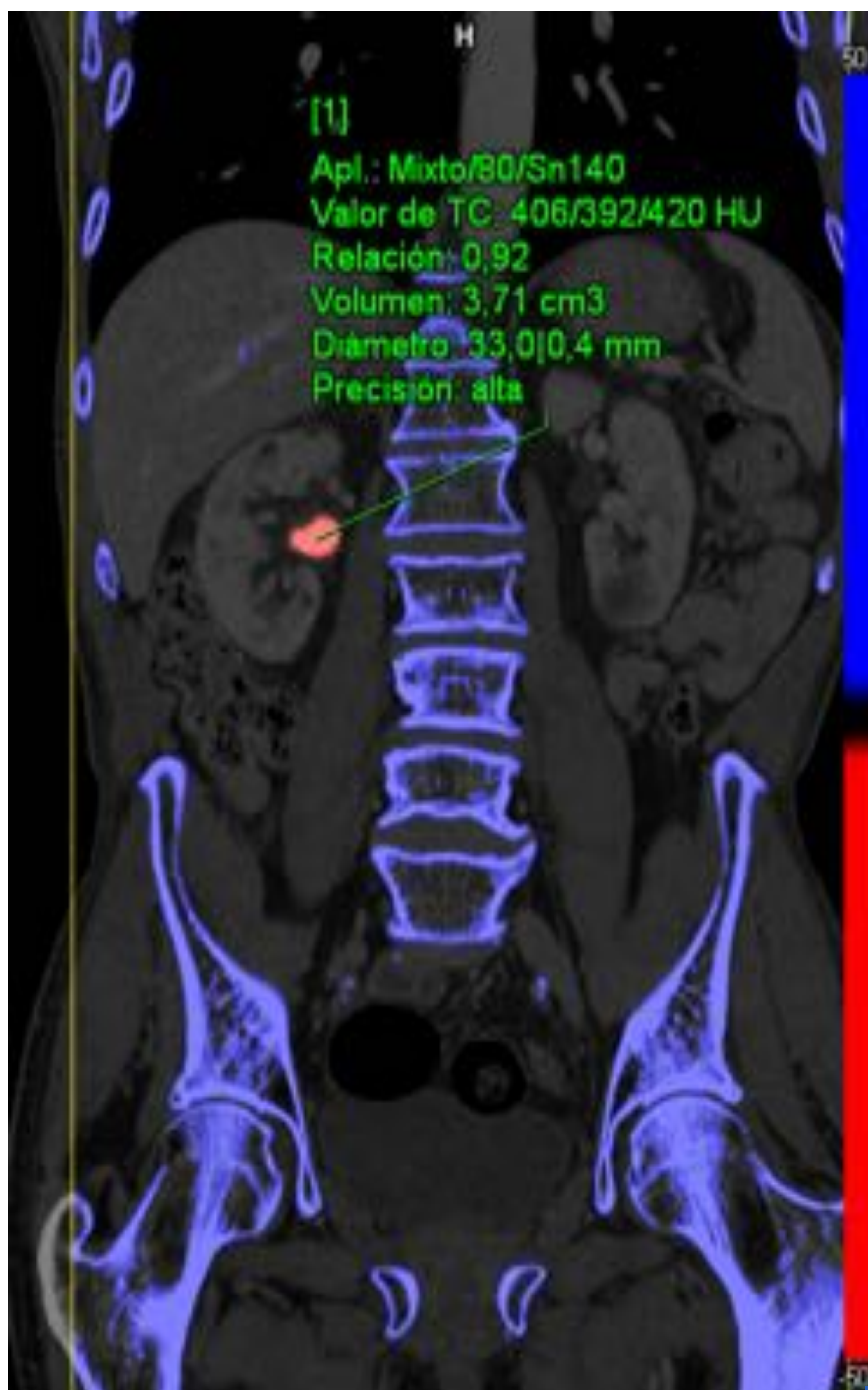
La composición de los cálculos renales es clínicamente importante no sólo por que tiene impacto en la actitud diagnóstica sino también en el **tratamiento**. Permite evitar intervenciones invasiva o litotricia para eliminar una litiasis obstructiva en casos en los que exista tratamiento médico específico como es el caso de la alcalinización de la orina en las litiasis de ácido úrico.

No debemos olvidar que, gracias a los mapas de sin contraste virtual, podemos identificar la presencia de litiasis en la vía urinaria que pueden pasar desapercibidos en estudios realizados con contraste en otro contexto clínico.



Mujer de 43 años con clínica de cólico renal derecho. Se realizó una ecografía donde se objetivó ureterohidronefrosis derecha, sin visualizar causa obstructiva. En el TCED se identificó la dilatación de la vía (flecha roja) por una litiasis cálcica (flecha blanca) en unión ureterovesical derecha.

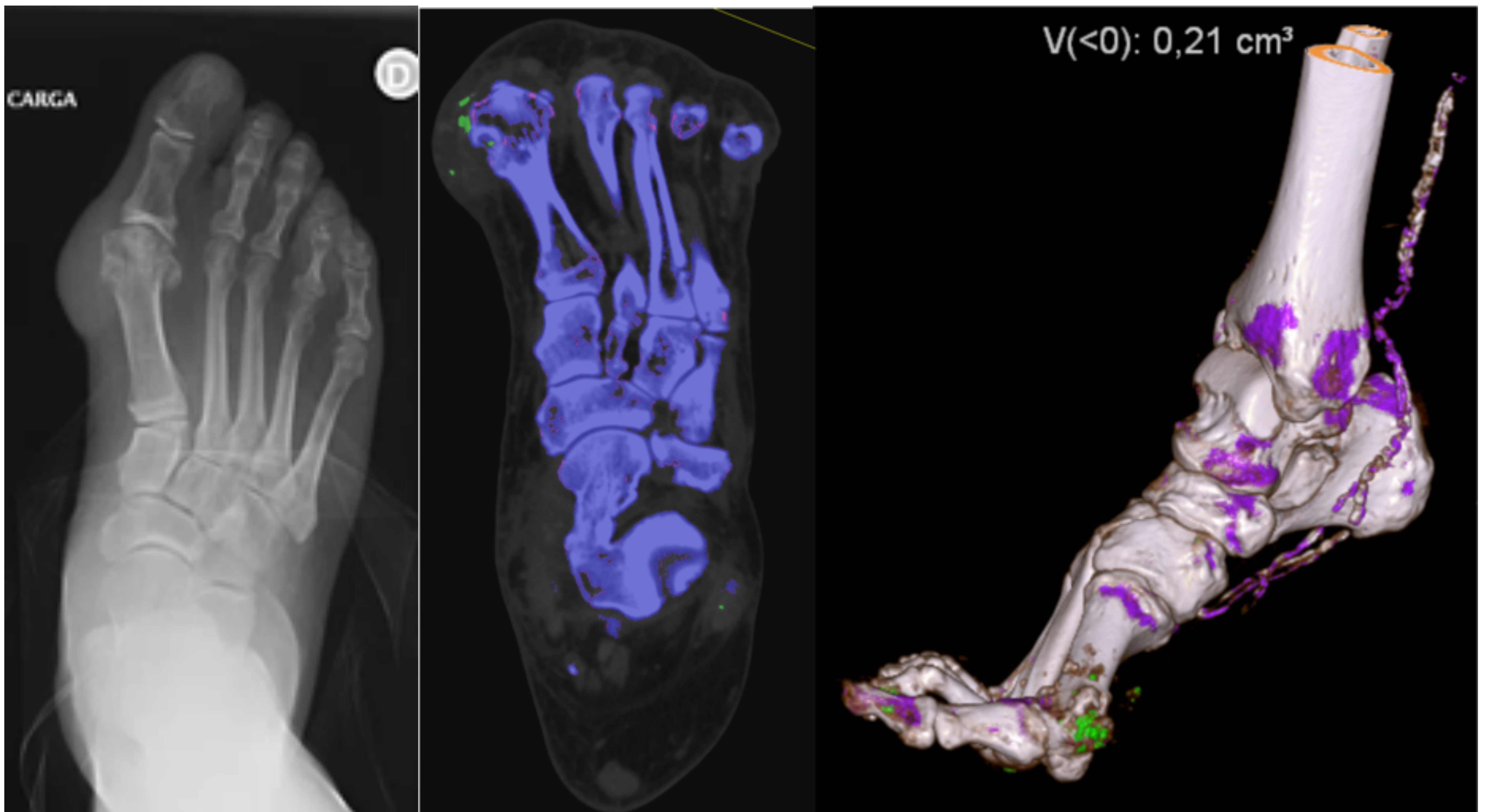




Paciente vasculópata de 73 años con cólicos renales de repetición. Acude a urgencias con dolor abdominal agudo inespecífico.

En el TCED se identificó una litiasis de morfología coraliforme de ácido úrico en riñón derecho que producía dilatación de grupos caliciales superiores y uréter proximal, mostrando éste aumento de la perfusión del urotelio en el mapa de yodo (flecha blanca), compatible con ureteritis.

El mismo principio que permite caracterizar la composición de las litiasis renales en los estudios abdominales, se puede aplicar a otros campos, más allá de la patología estrictamente urgente. En concreto, la detección de depósitos de ácido úrico en los estudios de sistema musculoesquelético permite diagnosticar de forma precoz los casos de artropatía gotosa.



Rx simple y TCED de tobillo derecho. Aumento de partes blandas en 1ª articulación metatarsofalángica con calcificaciones groseras en cara interna. Se demuestra la composición de urato de las mismas diagnósticas de tofos gotosos.

2.7 SANGRADO ACTIVO

La hemorragia aguda es una de las situaciones que requieren de forma más frecuente diagnóstico precoz y determinación de la **gravedad** para evitar cuadros como la hipovolemia y el shock. Dependiendo del origen del sangrado y la patología desencadenante la clínica puede ser muy variable. La importancia de estos estudios reside en valorar el origen y la posibilidad de tratamiento.

No traumático

- Hemorragia **digestiva**: es la más frecuente. Puede ser alta (HDA) y baja (HDB) en función de su localización respecto al ángulo de Treitz; presentándose en forma de hematemesis y/o melenas y rectorragias y/o anemia respectivamente.
- Hemorragia **yatrógena**: especialmente en pacientes postoperados o tras colocación de materiales de derivación, vías o catéteres.
- Hemorragia en **paciente anticoagulado**
- Hemorragia **tumoral**
- Hemorragia **vascular**
- Hemorragia **ginecológica**

Traumático

Suelen ser casos graves, especialmente en lesiones de órgano sólido, con inestabilidad hemodinámica, en los que la prioridad es la intervención quirúrgica.

Hallazgos radiológicos en TC basal, con CIV en fase arterial y venosa:

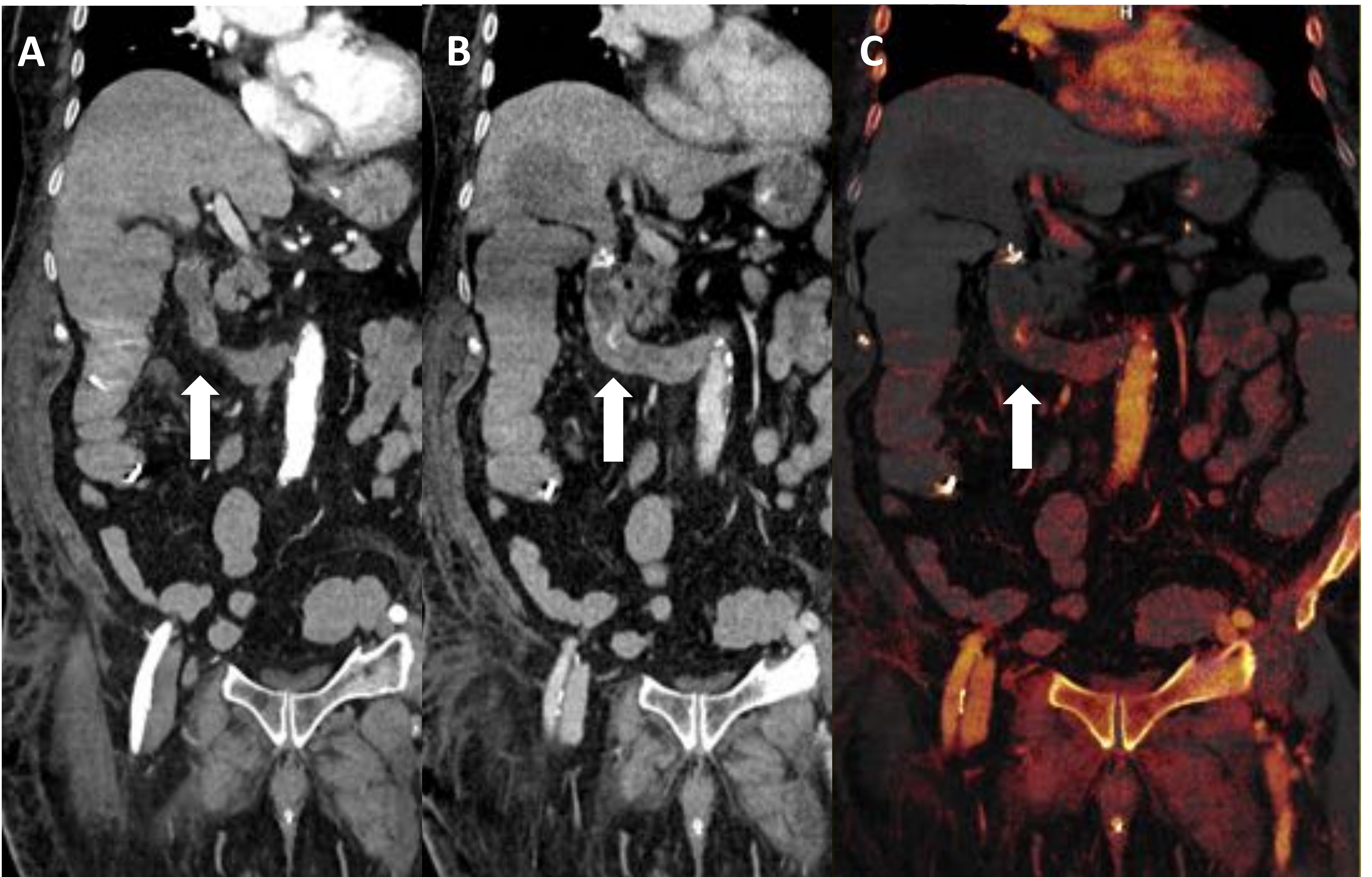
De forma habitual se realiza mediante TC un estudio basal, en fase arterial y en fase venosa. El objetivo es detectar la extravasación extraluminal de contraste como evidencia de sangrado activo: veremos **un área focal de aumento de atenuación (>60 UH)** durante la fase arterial que aumenta durante la fase venosa.

Los objetivos de esta exploración deben ir enfocados a:

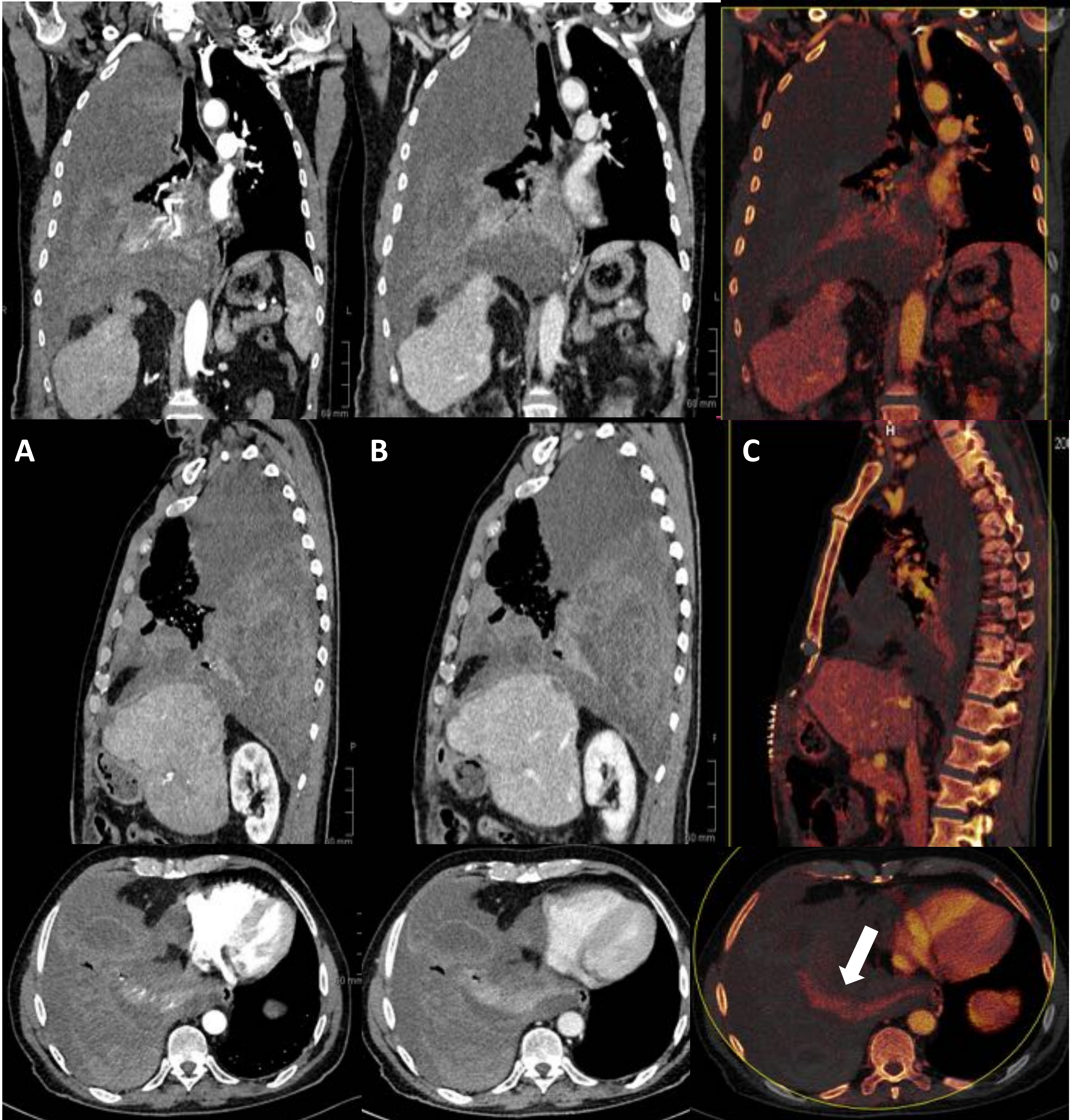
- Identificación del punto y localización del sangrado activo
- Determinación de la gravedad y posibles complicaciones
- Valoración del árbol vascular y sus variantes anatómicas
- Permeabilidad del acceso vascular

Aportaciones de la Energía Dual

- Posibilidad de **prescindir de la adquisición basal** sin contraste gracias a los mapas de sin contraste virtual, disminuyendo el tiempo de exploración.
- Mayor **sensibilidad y precisión** para demostrar extravasación de contraste y cuantificación del yodo en sospecha de sangrado activo.
- Mayor **definición del contraste** en los vasos gracias al mapa monoenergético de baja energía, lo que permite también disminuir la dosis de contraste intravenoso.
- **Sustracción del calcio** de las paredes del árbol vascular para mejor caracterización de la anatomía arterial.



Varón de 81 años, intervenido de ulcus duodenal sangrante mediante clips hemostáticos, con shock hemorrágico por HDA. Se observa un foco de hiperdensidad en la segunda porción duodenal en fase arterial (A). En la fase portal (B) se hace ligeramente más evidente, siendo indiscutible su presencia en el mapa de yodo (C), correspondiéndose a extravasación de contraste en contexto de sangrado activo de origen digestivo alto.



Varón de 69 años, sometido a cirugía de trasplante hepático, con cuadro brusco de desaturación e hipotensión. Se identifica importante hemotórax derecho a tensión que desplaza en el mediastino hacia la izquierda con áreas hiperdensas en relación con restos hemáticos y atelectasia pasiva. Se identifica un foco hiperdenso en base pulmonar derecha en fase arterial (A) que parece aumentar en fase venosa (B), pero que debido al gran hemotórax es de difícil valoración. No obstante, gracias al mapa de yodo se hace evidente la extravasación de contraste (C, flecha) por lo que se diagnostica de sangrado activo de origen postquirúrgico.

2.8 OTRAS APLICACIONES

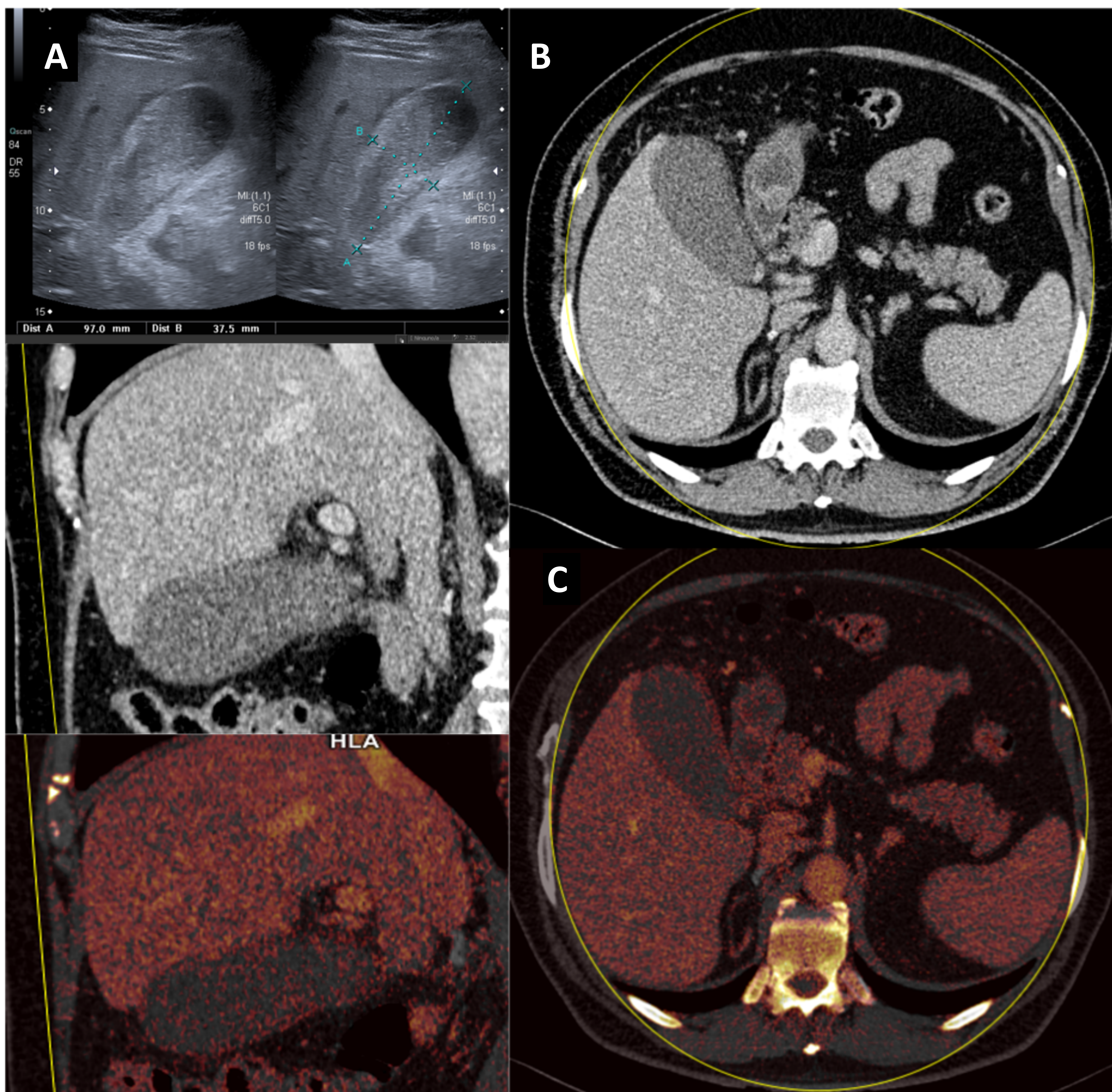
El uso de la energía dual se ha convertido en una herramienta novedosa imprescindible en la práctica diaria de la radiología de urgencias por lo que, a pesar de que las principales aplicaciones se han recogido en esta revisión, existen otros campos y patologías que la están incorporando día a día.

La valoración de la perfusión de las paredes intestinales, por ejemplo, se ha probado de utilidad en casos de diagnóstico o reagudización de cuadros de **enfermedad inflamatoria intestinal**, pudiendo valorar de forma más precisa la hiperemia mucosa (y por ello grado de actividad) en pacientes con enfermedad de Crohn. De forma contraria, la hipocaptación mural puede ser clave en casos de valorar la **viabilidad intestinal** en casos de obstrucción intestinal mecánica o para el diagnóstico de apendicitis gangrenosa, por ejemplo.

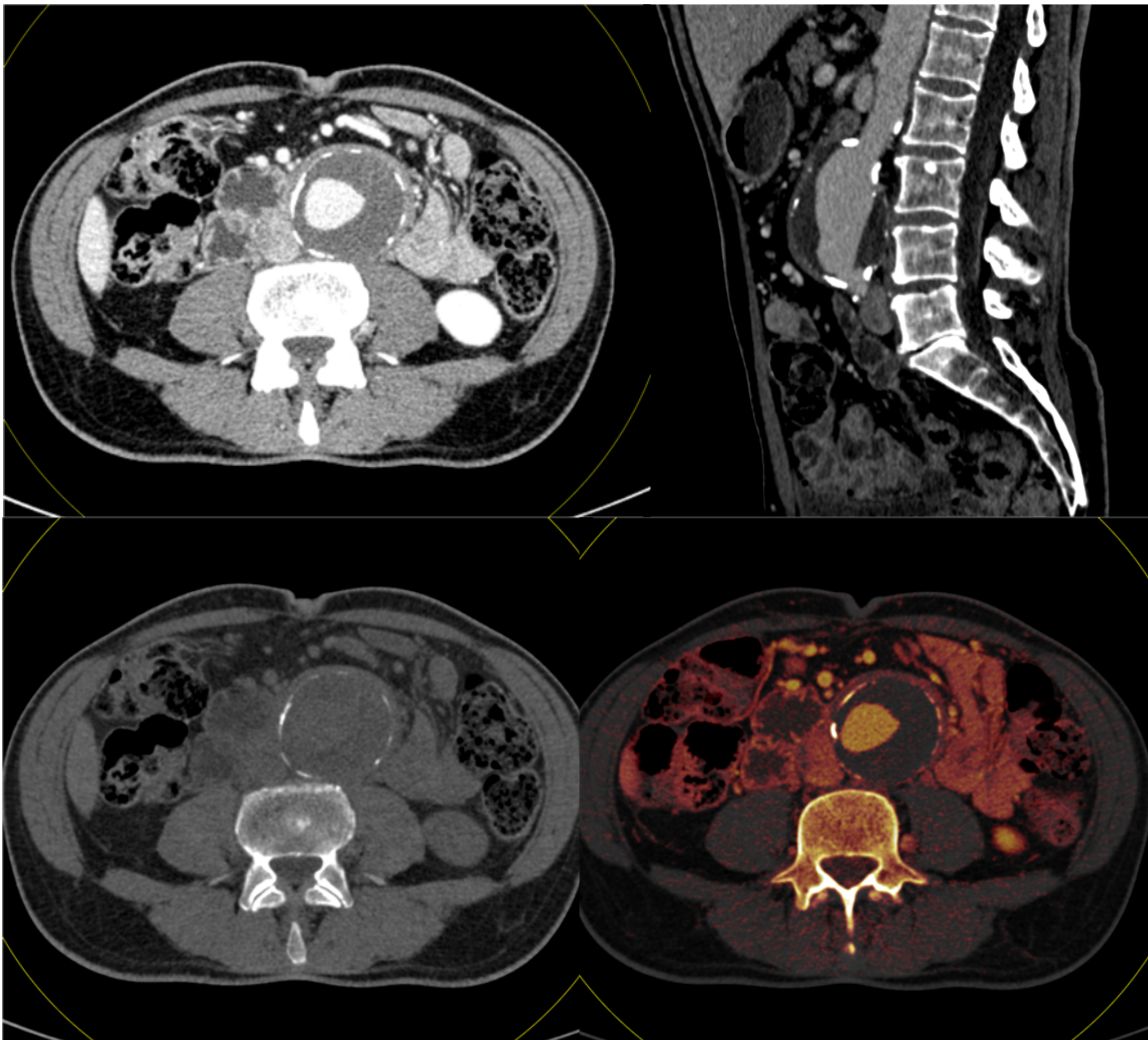
En la **patología de la vía biliar**, a pesar de que la ecografía es la técnica de inicio para su valoración, es común también la realización de TC en determinados casos. En los últimos años se ha empezado a utilizar la energía dual para la valoración de los cálculos que son isodensos a la bilis, especialmente aquellos que contienen colesterol, y que no son visibles con los estudios convencionales. También son útiles las mapas Monoenergéticos de baja energía y los mapas de yodo para estudiar el hiperrealce o hiperemia de la pared en casos de colecistitis aguda y su defecto, lo que indicaría complicación a colecistitis gangrenosa.

También se ha incorporado el uso de estudios de TCED para patologías de origen **vascular**. Como ya se ha dicho, el postprocesado de imágenes Monoenergéticas de baja energía permite una mayor opacificación de los vasos, siendo especialmente útil en aquellos con pequeño calibre, distales, o pobremente opacificados. El mapa de sin contraste virtual pone de manifiesto la presencia de calcio o hematoma en la pared de los grandes vasos, permitiendo la sustracción de los mismos para mejor valoración de la anatomía. Consecuentemente, estas ventajas se pueden aplicar en urgencias para un estudio más preciso del **síndrome aórtico agudo** (hematoma intramural, úlcera penetrante y disección). Otra aplicación en la radiología vascular que cabe mencionar son las complicaciones de los aneurismas abdominales y su reparación, como la presencia de captación de la pared en **aneurismas micóticos** o la clasificación de las **endofugas** tras reparación endovascular.

En el **paciente politraumatizado** también se han estudiado las posibilidades de la energía dual. Los defectos de perfusión en los mapas de yodo pueden ayudar a caracterizar las lesiones traumáticas como laceraciones en órganos sólidos. Asimismo, la detección de edema de la médula ósea en estos pacientes permite localizar fracturas sutiles pero con importante relevancia quirúrgica y diferenciar fracturas agudas de crónicas (especialmente en aplastamientos vertebrales).



Mujer de 65 años con dolor en hipocondrio derecho y fiebre. Se realiza de inicio una ecografía (A) para descartar colecistitis donde se observa una vesícula distendida, con barro biliar y aparente solución de continuidad en la pared, por lo que se decide realizar TC abdominal dual con contraste en fase portal. En los mapas average (B) se identifica una leve hipocaptación de la pared, que se hace más evidente en el mapa de yodo (C) como una alteración de la perfusión difusa, en relación con colecistitis aguda gangrenosa.



Varón de 64 años con dolor abdominal de 4 días de evolución. Se realiza AngioTC abdominal en fase arterial y portal con energía dual. Se identifica un aneurisma de aorta abdominal infrarrenal con un trombo mural concéntrico, sin signos de rotura (A). No obstante, se identifica una captación de contraste de la pared que se traduce en un aumento de la perfusión en el mapa de yodo (C), sin representación en el mapa de sin contraste virtual (B), compatible con aneurisma inflamatorio-infeccioso

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA DUAL

VENTAJAS

- Aumento de **sensibilidad diagnóstica**; detección de anomalías en ausencia de alteraciones morfológicas o densitométricas.
- **Disminución de dosis de radiación** mediante mapas de sin contraste virtual que ahorra la adquisición basal.
- Las reconstrucciones Monoenergéticas de baja energía aumenta la resolución del contraste dentro de los vasos, lo que permite utilizar **menos dosis** de medios de **contraste iv**.
- Las reconstrucciones Monoenergéticas de alta energía permiten la reducción del artefacto metálico con la presencia de material protésico y del artefacto por endurecimiento del haz en fosa posterior.

DESVENTAJAS

- Aumento del **número de imágenes** y del peso del estudio para los sistemas informáticos.
- Alto **coste** de los equipos.
- Mayor **complejidad** interpretativa para el radiólogo.
- Separación espectral de elementos reducida a determinados componentes (yodo, calcio, ác. Úrico).
- Presencia de artefactos, en especial en pacientes con alto IMC.

CONCLUSIÓN

La incorporación de la energía dual a las técnicas de imagen representa posiblemente uno de los mayores avances en tecnología para la radiología moderna, cambiando por completo nuestra idea exclusivamente morfológica de la imagen por TC.

Gracias al principio de diferente atenuación de los materiales que componen el cuerpo humano y los medios de contraste debido a su composición y energía utilizada, podemos utilizar esta última variable, la diferencia de voltaje del haz de rayos, para obtener información adicional cualitativa y cuantitativa tanto morfológica como funcional. Es indispensable para el radiólogo comprender las bases fundamentales de esta técnica para aprovechar su rendimiento al máximo.

Muchas son las aplicaciones de la energía dual que se han demostrado en el ámbito de la urgencia; la isquemia intestinal, procesos inflamatorios intraabdominales como la pancreatitis o la colecistitis, la caracterización de las litiasis urinarias, la hemorragia de cualquier localización, los estudios post trombectomía en el ictus isquémico o el tromboembolismo pulmonar. No obstante, dada la naturaleza reciente y todavía en desarrollo de esta tecnología, son infinitas las posibilidades que están apareciendo y que aún están por determinar de la energía dual.

Son necesarios más estudios y más tiempo de uso de esta nueva herramienta para valorar verdaderamente su potencial, explotar sus ventajas y minimizar sus puntos débiles.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Aran S, Daftari Besheli L, Karcaaltincaba M, Gupta R, Flores EJ, Abujudeh HH. Applications of dual-energy CT in emergency radiology. *AJR Am J Roentgenol* 2014;202:W314-24.
- Aran, S., Shaqdan, K. W., & Abujudeh, H. H. (2014). Dual-energy computed tomography (DECT) in emergency radiology: basic principles, techniques, and limitations. *Emergency radiology*, 21(4), 391-405.
- Elbanna, K. Y., Mohammed, M. F., Chahal, T., Khosa, F., Ali, I. T., Berger, F. H., & Nicolaou, S. (2018). Dual-energy CT in differentiating nonperforated gangrenous appendicitis from uncomplicated appendicitis. *American Journal of Roentgenology*, 211(4), 776-782.
- García, S. G., Ruiz, A. L. M., Tomás, E. N., García, S. S., Quílez, M. V., & Fernandez, A. P. (2018). Angio-TC de energía dual en el tromboembolismo pulmonar agudo (TEPA). *Seram*.
- George, E., Wortman, J. R., Fulwadhva, U. P., Uyeda, J. W., & Sodickson, A. D. (2017). Dual energy CT applications in pancreatic pathologies. *The British journal of radiology*, 90(1080), 20170411.
- Grajo, J. R., Patino, M., Prochowski, A., & Sahani, D. V. (2016). Dual energy CT in practice: basic principles and applications. *Appl Radiol*, 45(7), 6-12.
- Goo, H. W., & Goo, J. M. (2017). Dual-energy CT: new horizon in medical imaging. *Korean journal of radiology*, 18(4), 555-569.
- Heye T, Nelson RC, Ho LM, Marin D, Boll DT (2012) Dual-energy CT applications in the abdomen. *AJR Am J Roentgenol* 199:S64–S70
- Lourenco, P. D., Rawski, R., Mohammed, M. F., Khosa, F., Nicolaou, S., & McLaughlin, P. (2018). Dual-energy CT iodine mapping and 40-keV monoenergetic applications in the diagnosis of acute bowel ischemia. *American Journal of Roentgenology*, 211(3), 564-570.
- Lu GM, Wu SY, Yeh BM, Zhang LJ (2010) Dual-energy computed tomography in pulmonary embolism. *Br J Radiol* 83:707–718
- Machida, H., Tanaka, I., Fukui, R., Shen, Y., Ishikawa, T., Tate, E., & Ueno, E. (2016). Dual-energy spectral CT: various clinical vascular applications. *Radiographics*, 36(4), 1215-1232.
- Mohammed MF, Elbanna KY, Mohammed AM, Murray N, Azzumea F, Almazied G, Nicolaou S. Practical applications of dual-energy computed tomography in the acute abdomen. *Radiologic Clinics*. 2018 Jul 1;56(4):549-63.
- Murray N, Darras KE, Walstra FE et al. Dual-energy CT in evaluation of the acute abdomen. *Radiographics*, 2018; 38:75-89

- Nicolaou, S., Yong-Hing, C. J., Galea-Soler, S., Hou, D. J., Louis, L., & Munk, P. (2010). Dual-energy CT as a potential new diagnostic tool in the management of gout in the acute setting. *American Journal of Roentgenology*, 194(4), 1072-1078.
- Potter, C. A., & Sodickson, A. D. (2016). Dual-energy CT in emergency neuroimaging: added value and novel applications. *Radiographics*, 36(7), 2186-2198.
- Postma AA, Das M, Stadler AA, Wildberger JE. Dual-energy CT: what the neuroradiologist should know. *Current radiology reports*. 2015 May 1;3(5):16.
- Roele ED, Timmer VCML, Vaassen LAA, van Kroonenburgh AMJL, Postma AA. Dual-energy CT in head and neck imaging. *Curr Radiol Rep* 2017; 5:19
- Sánchez-Gracián CD, Rodríguez CM, López CT. La tomografía computarizada de doble energía: ¿para qué la quiero?. *Radiología*. 2013 Jul 1;55(4):346-52.
- Tijssen, M. P. M., Hofman, P. A. M., Stadler, A. A. R., Van Zwam, W., De Graaf, R., Van Oostenbrugge, R. J., ... & Postma, A. A. (2014). The role of dual energy CT in differentiating between brain haemorrhage and contrast medium after mechanical revascularisation in acute ischaemic stroke. *European radiology*, 24(4), 834-840.
- Urraca, M. R. (2012, May). Energía dual TC: Fundamentos técnicos y aplicaciones clínicas. *European Congress of Radiology-SERAM 2012*.
- Wong, W. D., Mohammed, M. F., Nicolaou, S., Schmiedeskamp, H., Khosa, F., Murray, N., & Macri, F. (2020). Impact of dual-energy CT in the emergency department: increased radiologist confidence, reduced need for follow-up imaging, and projected cost benefit. *American Journal of Roentgenology*, 215(6), 1528-1538.
- Wortman JR, Bunch PM, Fulwadhva UP, Bonci GA, Sodickson AD. Dual-energy CT of incidental findings in the abdomen: can we reduce the need for follow-up imaging? *AJR* 2016; 207:[web]W58–W68
- Wortman, J. R., Uyeda, J. W., Fulwadhva, U. P., & Sodickson, A. D. (2018). Dual-energy CT for abdominal and pelvic trauma. *Radiographics*, 38(2), 586-602.

