

TEP y uso de la tomografía computarizada con energía dual como herramienta diagnóstica

Daniela Saieg Aberastury¹, Boris Torres Núñez, Pablo García Méndez, Paula Rodríguez Fernández,
María Milagros Otero García ².

¹Complejo Hospitalario Universitario de Vigo, Vigo.

Objetivo docente

- Describir la técnica de la tomografía computarizada de energía dual (TCED) y sus fundamentos básicos
 - Explicar la correcta interpretación de los mapas de iodo en el tromboembolismo pulmonar (TEP) y evaluar los posibles *pitfalls* o errores de interpretación más frecuentes
 - Analizar la posible utilidad de la energía dual en otras patologías torácicas
-

Revisión del tema

- El TEP es una de las patologías con mayor frecuencia en las urgencias, infradiagnosticada y con alta morbimortalidad
 - Se define como la oclusión parcial o completa en la circulación arterial pulmonar, la cual deriva en un amplio espectro de cuadros clínicos que dificultan su diagnóstico
 - La TCED nos permite generar mapas de iodo a partir de una AngioTC de arterias pulmonares, identificando el trombo y pudiendo valorar alteraciones en la perfusión del parénquima pulmonar, estableciendo con mayor afinidad su repercusión funcional y severidad
-

TCED y sus fundamentos básicos

- La TCED se introdujo en la práctica clínica en el año 2006. Es un subconjunto de la TC espectral, término utilizado para describir la adquisición de datos a través de múltiples espectros de rayos X
- Con la TCED materiales químicamente diferentes pueden distinguirse y cuantificarse en función de su atenuación de rayos X a distintas energías (80 y 140 kV), mediante un proceso denominado descomposición

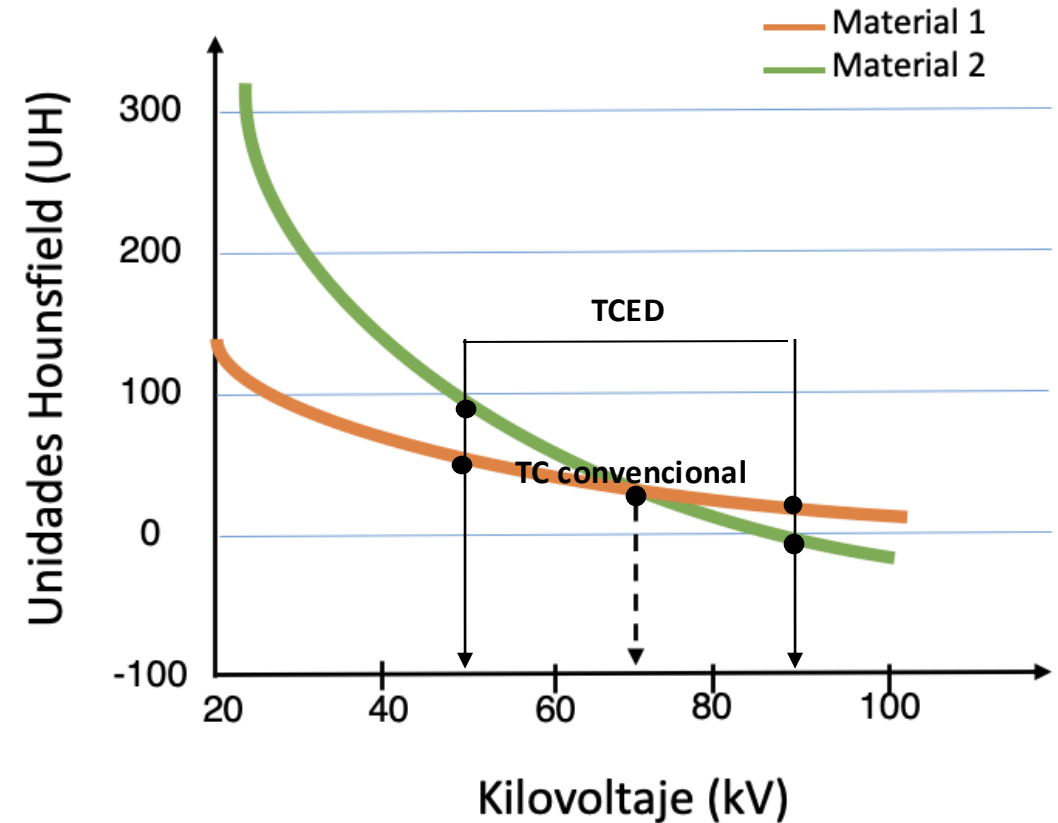
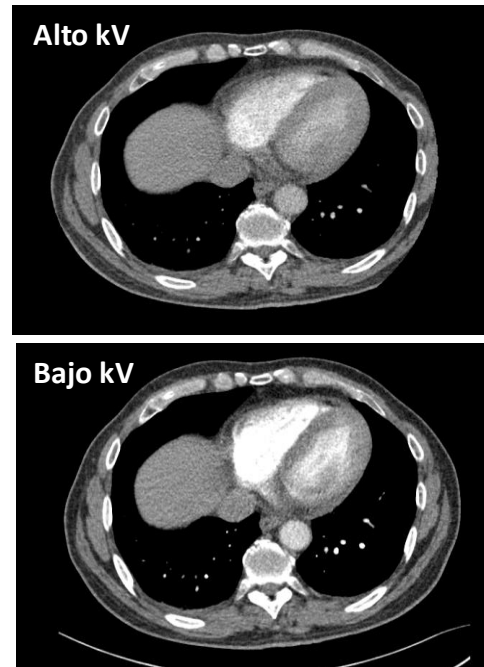


Figura 1. Imagen adaptada de *Dual-energy CT: minimal essentials for radiologists*, Japanese Journal of Radiology 2022

TCED y sus fundamentos básicos

- El yodo, el calcio y el ácido úrico presentan una marcada diferencia de atenuación a distintos kV, dando lugar a las principales aplicaciones de esta técnica radiológica
- El estudio de la perfusión pulmonar con TCED permite obtener imágenes de vóxeles que sólo contengan el material que nos interesa, en este caso, el yodo
- Proporciona un mapa del contenido de material de contraste en el lecho pulmonar distal tras su inyección. Estos mapas pueden generarse como imágenes en escala de grises o en color

Reconstrucción axial



Aplicaciones

- *Fusión de imágenes*
- *Mapas de yodo*
- *Imagen virtual sin contraste*

Figura 2

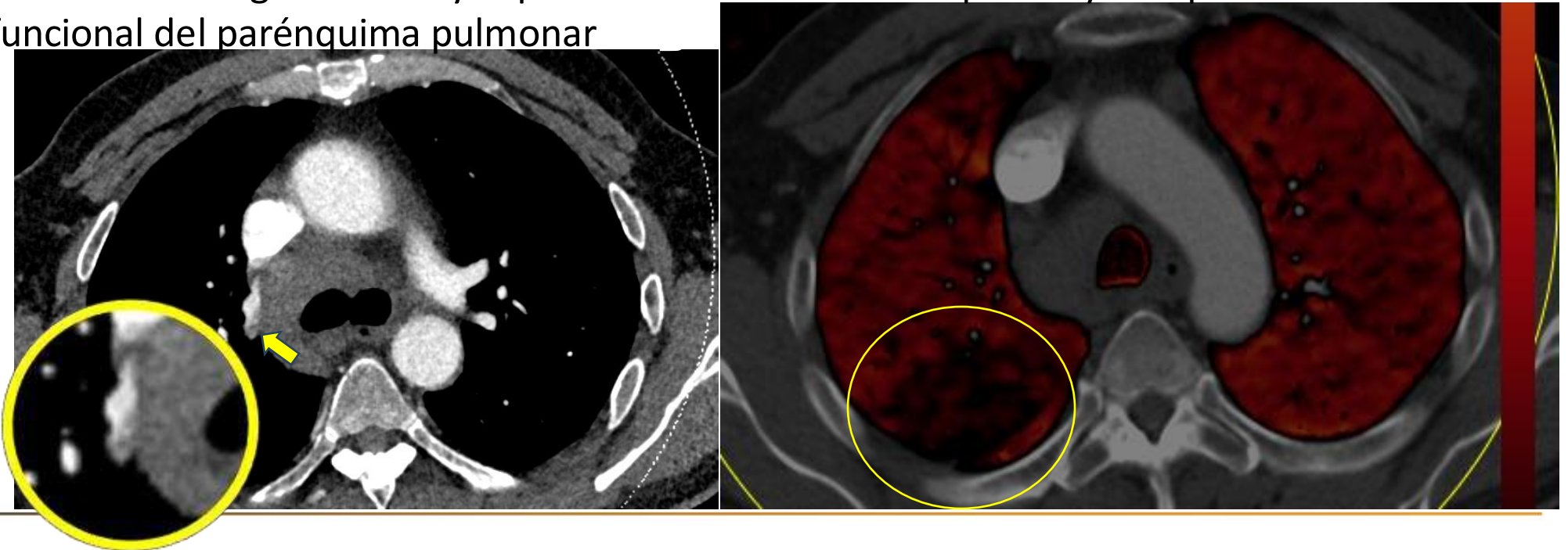
TCED en el TEP

- Ante la sospecha clínica de TEP agudo, la angiografía pulmonar por TC constituye la técnica de imagen de primera elección
- Los trombos proximales son fácilmente identificables, sin embargo los defectos de repleción en ramas más distales a veces suponen un reto diagnóstico
- La TCED ofrece ventajas con respecto a la TC convencional, principalmente una mejor visualización de arterias segmentarias-subsegmentarias y la posibilidad de obtener mapas de yodo que ofrecen información funcional del parénquima pulmonar

Figura 3.

A AngioTCED de arterias pulmonares con defecto de repleción en arteria segmentaria apical posterior del LSD.

B Mapa de yodo que sugiere defecto de perfusión en territorio vascular mencionado.



TCED en el TEP

- Los mapas de iodo sin alteraciones se visualizan con un color homogéneo en todo el parénquima pulmonar; mientras que los defectos de perfusión se observan como áreas de morfología triangular y base periférica cuyo tamaño depende del calibre del vaso comprometido
- Se ha demostrado que la gravedad de los déficits en los mapas de perfusión se correlaciona con la sobrecarga del ventrículo derecho y el cociente VD/VI (principal factor pronóstico del TEP)

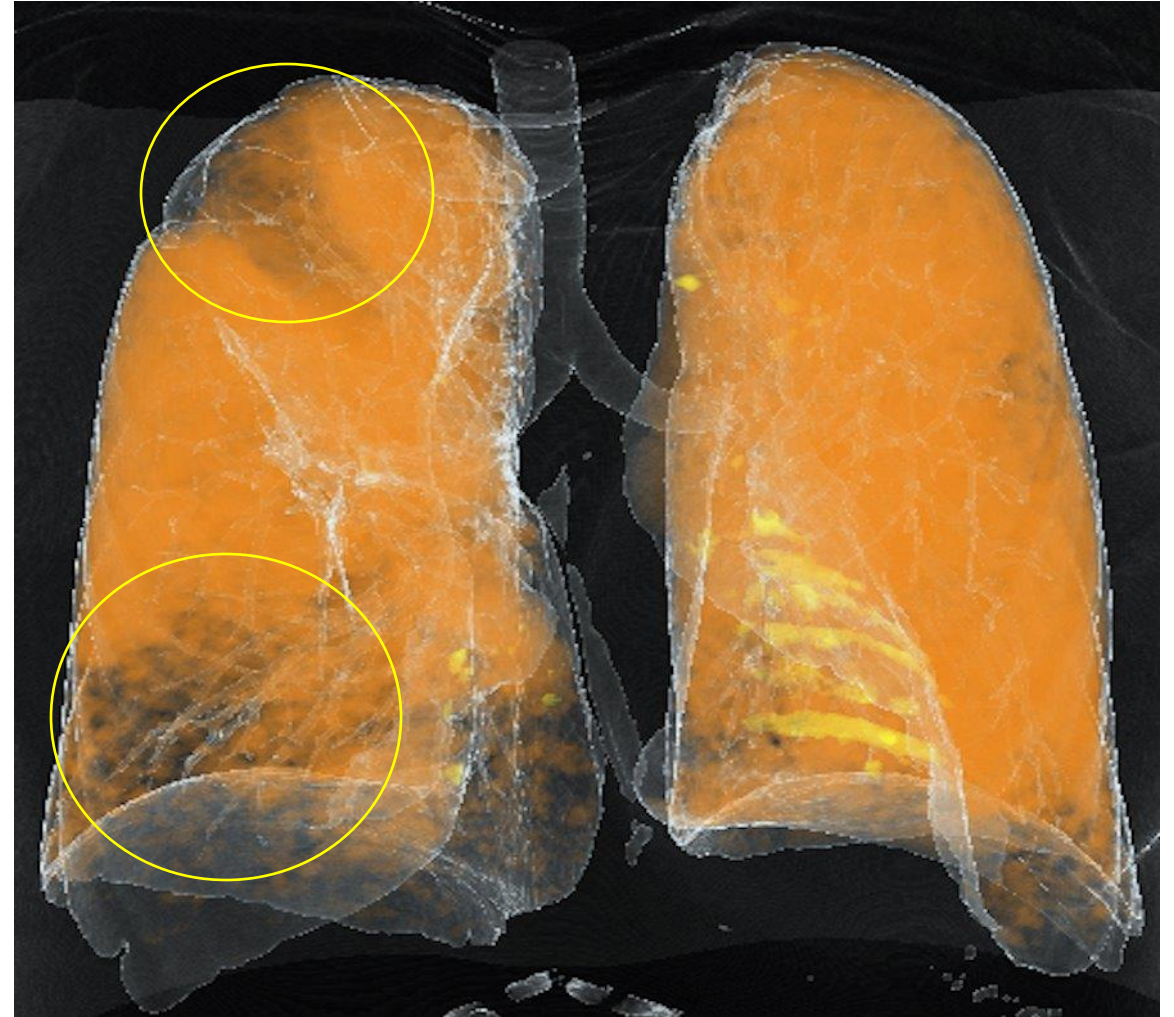


Figura 4. Reconstrucción volumétrica de mapa de iodo y defectos de perfusión en LSD y LID.

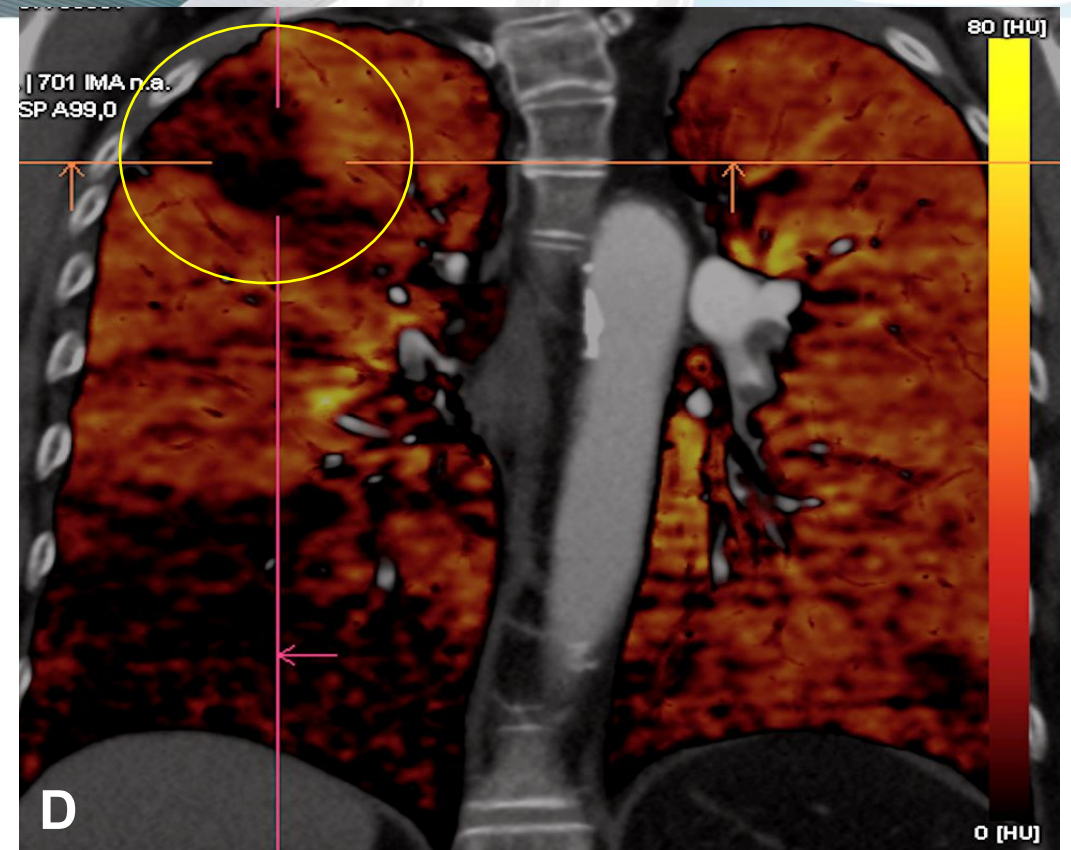
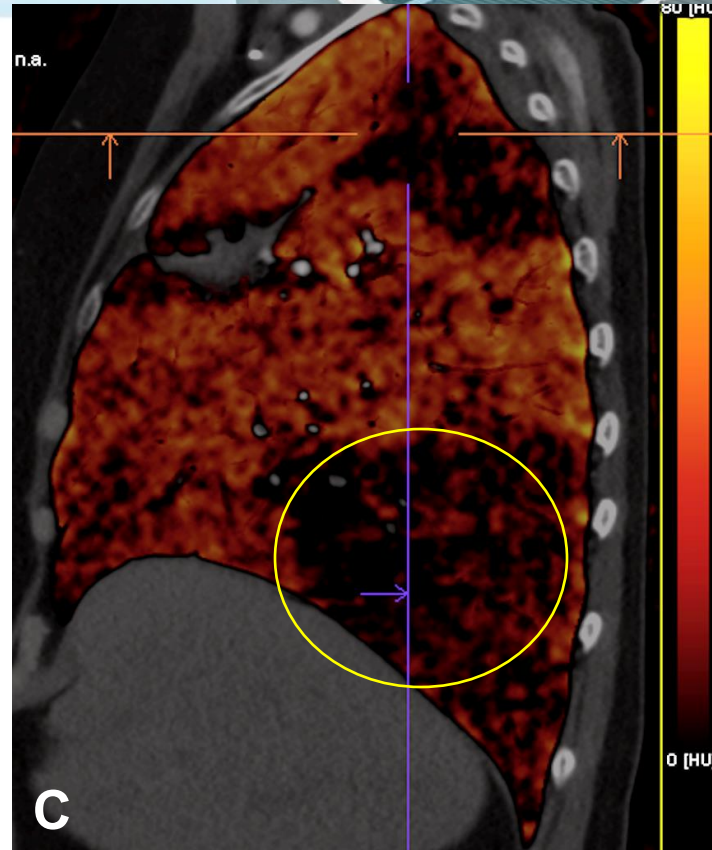
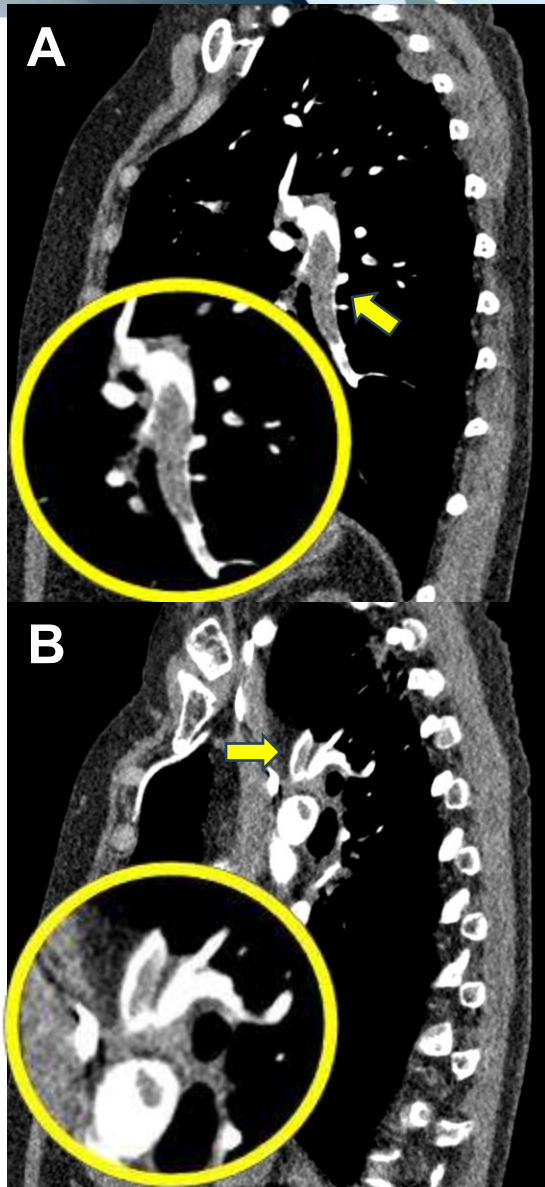


Figura 5. AngioTCED de arterias pulmonares con reconstrucción sagital: **A** Defectos de repleción en arterias interlobar, lobar del LID y **B** arteria segmentaria posterior del LSD, compatibles con tromboembolismo pulmonar agudo.

Mapa de iodo con reconstrucción sagital **C** y reconstrucción coronal **D**: se observan zonas de disminución en la perfusión pulmonar en áreas subsegmentaria posterior del LSD y segmentarias basales medial, lateral y posterior del LID, correlacionadas con la afectación vascular mencionada.

TCED y *pitfalls*

- Algunos de los *pitfalls* o artefactos más frecuentes en los mapas de yodo pueden deberse al *latido cardíaco* (sobre todo en LM y língula), al *movimiento diafragmático* (en bases pulmonares) o al *endurecimiento del haz* (en ápices pulmonares) por el paso del medio de contraste muy concentrado a través de vena cava superior y vena subclavia derecha
- Estos artefactos suelen tener morfología en banda o semilunar, en lugar de triangular como correspondería al TEP

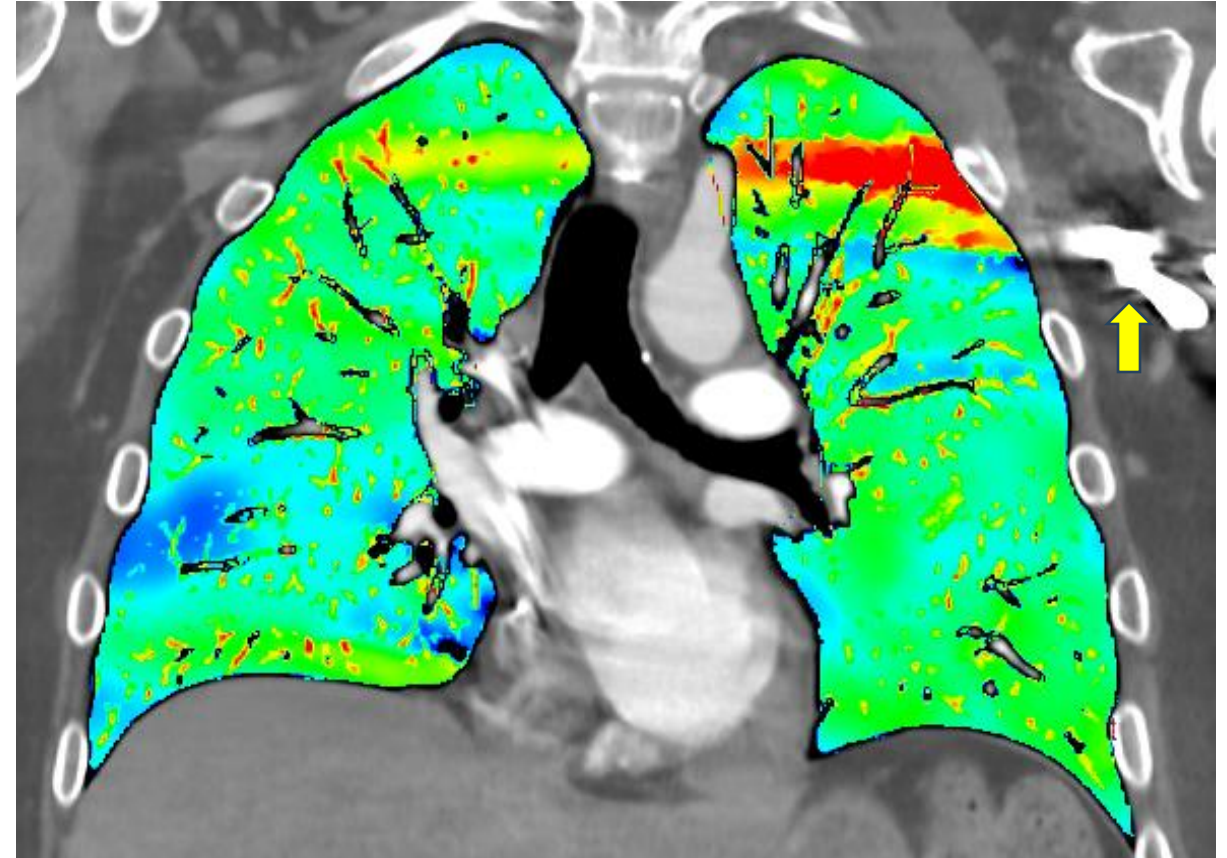


Figura 6. Reconstrucción coronal con artefacto en color rojo por endurecimiento del haz en LSI (flecha amarilla señala el paso de contraste por la vena subclavia izquierda). En el LM se observan áreas periféricas azules que podrían sugerir áreas de hipoperfusión pero producidas por artefacto del latido cardíaco.

TCED e hipertensión pulmonar tromboembólica crónica

- Una complicación menos frecuente pero grave del TEP agudo no resuelto o émbolos pulmonares subclínicos recurrentes, es la hipertensión pulmonar tromboembólica crónica
- Su incidencia varía entre el 1-5%
- La TCED nos aporta información anatómica y funcional, siendo fundamental su diagnóstico al ser la única hipertensión pulmonar curable tras tratamiento quirúrgico

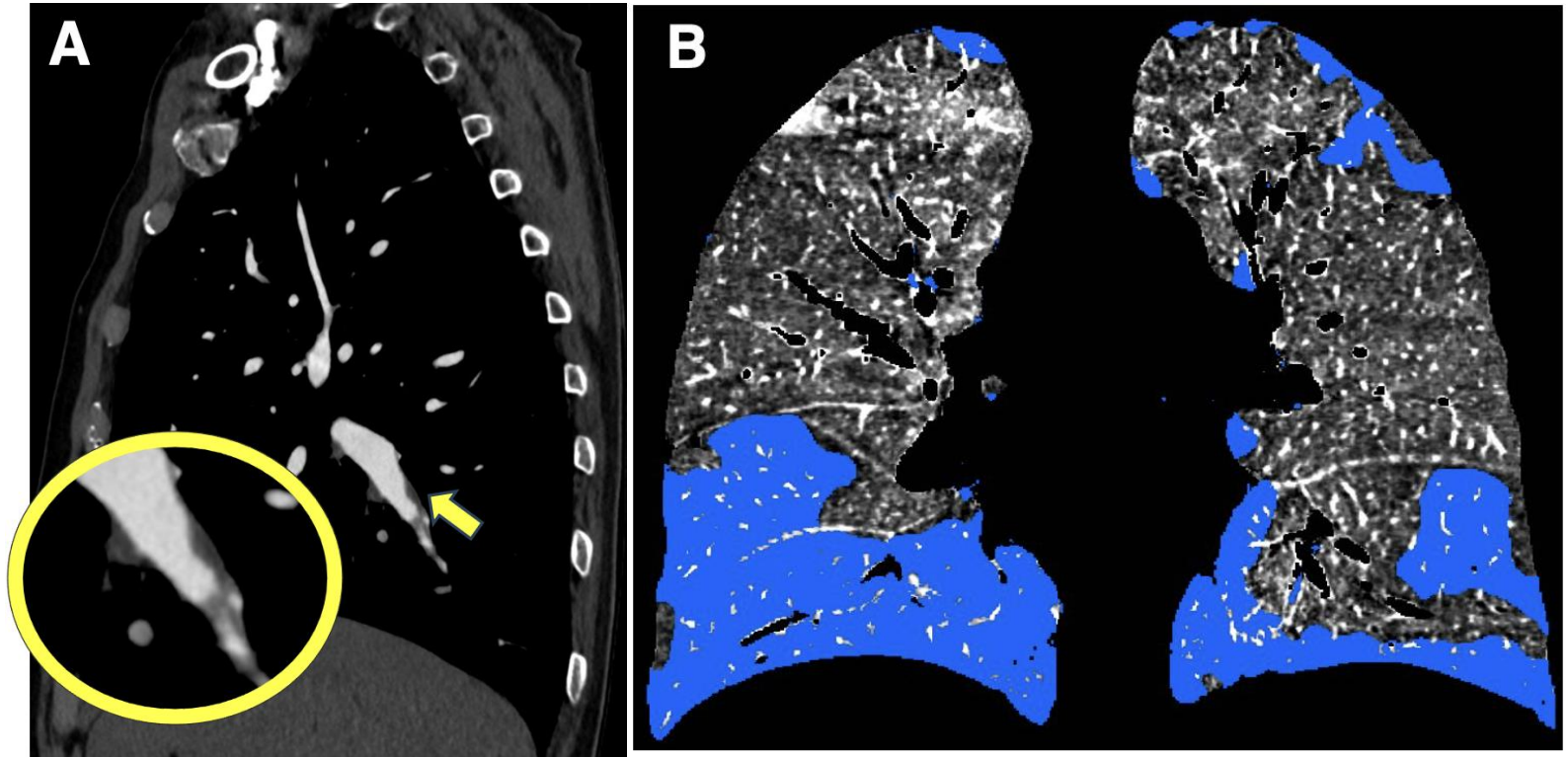


Figura 7. A TEP crónico en arteria segmentaria del LID. B Reconstrucción coronal en la que se señalan en azul las áreas teóricamente hipoperfundidas.

TCED y su utilidad en otras patologías torácicas

- Además, otras patologías torácicas como el cáncer de pulmón, atelectasias, enfisema y enfermedades que afecten la microcirculación pulmonar pueden generar defectos de perfusión en el mapa de yodo
- En estas entidades realizar un estudio con energía dual puede ser útil para valorar la repercusión funcional de la enfermedad y respuesta al tratamiento
- Por eso mismo, es crucial una correcta correlación de los mapas de yodo con las imágenes de reconstrucción multiplanar obtenidas en la AngioTC de arterias pulmonares

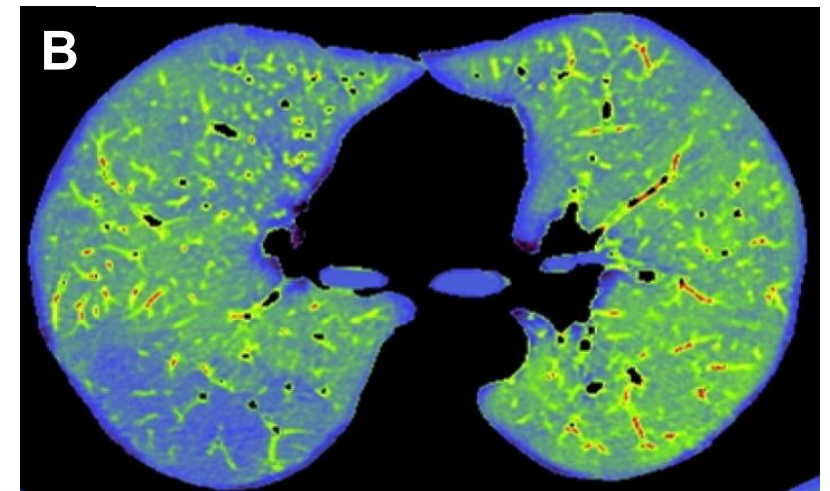


Figura 8. Imágenes adaptadas de *Thoracic Applications of Spectral CT Scan*, CHEST 2024.

A Corte axial AngioTCED. **B** Mapa de yodo con gran defecto de perfusión apical en LID y múltiples defectos de perfusión de menor tamaño bilaterales, que sugieren afectación de la microcirculación pulmonar en paciente con esclerosis sistémica.

Conclusiones

- La TCED ha transformado el manejo del TEP al permitir que la detección del trombo anatómico se complemente con mapas de perfusión que muestran el impacto funcional en el parénquima
 - Si bien la TCED es una herramienta útil para estratificar con mayor grado de precisión la gravedad del TEP y su pronóstico, su uso puede conllevar un sobrediagnóstico por oclusiones en arterias subsegmentarias con escasa relevancia clínica y funcional
 - Para una correcta interpretación, es imprescindible correlacionar siempre las imágenes anatómicas con el mapa de yodo, conocer los posibles *pitfalls* así como comprender la utilidad en otras patologías torácicas frecuentes
-

Referencias

1. Moore J, Remy J, Altschul E, Chusid J, Flohr T, Raoof S, et al. Thoracic applications of spectral CT scan. Chest [Internet]. 2024;165(2):417–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chest.2023.07.4225>
 2. Tatsugami F, Higaki T, Nakamura Y, Honda Y, Awai K. Dual-energy CT: minimal essentials for radiologists. Jpn J Radiol [Internet]. 2022;40(6):547–59. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11604-021-01233-2>
 3. Sun X, Xu W, Liu X, Long J, Dou P, Zhang H, et al. Comparison of perfusion defects parameters in dual-energy computed tomography (CT) pulmonary angiography across arterial phase and venous phase. Clin Radiol [Internet]. 2025;87(106963):106963. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crad.2025.106963>
 4. Vista de Angio- TC de energía dual en el tromboembolismo pulmonar agudo (TEPA) [Internet]. Espacio-seram.com. [citado el 14 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/34/31>
 5. Vista de El TC de energía dual en patología pulmonar como nunca antes te lo habían explicado [Internet]. Espacio-seram.com. [citado el 14 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/10365/8831>
 6. Gertz RJ, Lennartz S, Kaya K, Wawer Matos Reimer RP, Pennig L, Kottlors J, et al. Dual-layer dual-energy CT characterization of thrombus composition in acute pulmonary embolism and chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Int J Cardiovasc Imaging [Internet]. 2025;41(2):303–14. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10554-024-03309-2>
 7. Odisio EG, Truong MT, Duran C, de Groot PM, Godoy MC. Role of dual-energy computed tomography in thoracic oncology. Radiol Clin North Am [Internet]. 2018;56(4):535–48. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcl.2018.03.011>
 8. Hartley-Blossom ZJ, Digumarthy SR. Dual-energy computed tomography applications in lung cancer. Radiol Clin North Am [Internet]. 2023;61(6):987–94. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcl.2023.06.001>
 9. Chae EJ, Seo JB, Jang YM, Krauss B, Lee CW, Lee HJ, et al. Dual-energy CT for assessment of the severity of acute pulmonary embolism: pulmonary perfusion defect score compared with CT angiographic obstruction score and right ventricular/left ventricular diameter ratio. AJR Am J Roentgenol [Internet]. 2010;194(3):604–10. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.09.2681>
-