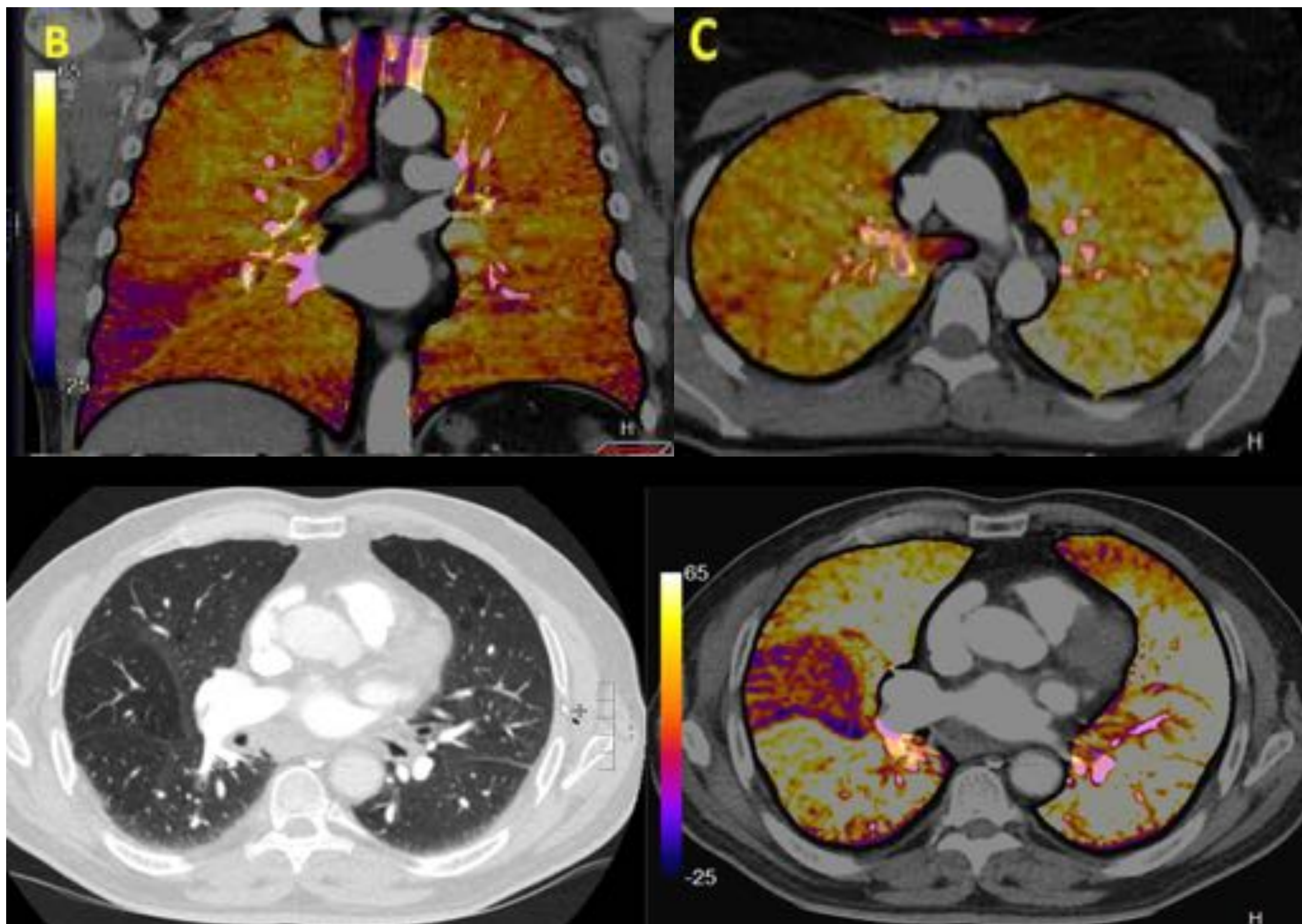


YA TENGO MI MAPA DE YODO PULMONAR... ¿Y AHORA QUE HAGO?

C. Oterino Serrano, M. I. Torres Sánchez, M. I. Pinilla Fernández,
M. Fernández-Velilla Peña, E. Cuesta López, C. Fernández
Capitán.

HOSPITAL UNIVERSITARIO LA PAZ. MADRID/ES.



OBJETIVOS DOCENTES

- Describir los **principios técnicos** de los mapas de yodo mediante técnica de sustracción y el protocolo de adquisición y reconstrucción en un equipo de tomografía computarizada multicorte de 320 detectores.
- Aportar las claves para una correcta **interpretación** de estos mapas: semiología, artefactos y fuentes de error

REVISIÓN DEL TEMA

INTRODUCCIÓN

Los mapas de yodo representan mediante una escala de colores la distribución del contraste yodado en el lecho capilar pulmonar.

Permiten valorar el depósito de material de contraste en las arterias de pequeño calibre (territorio distal y periférico), por lo que se perfilan como una técnica apta para estudiar la microcirculación pulmonar.

ASPECTOS TÉCNICOS

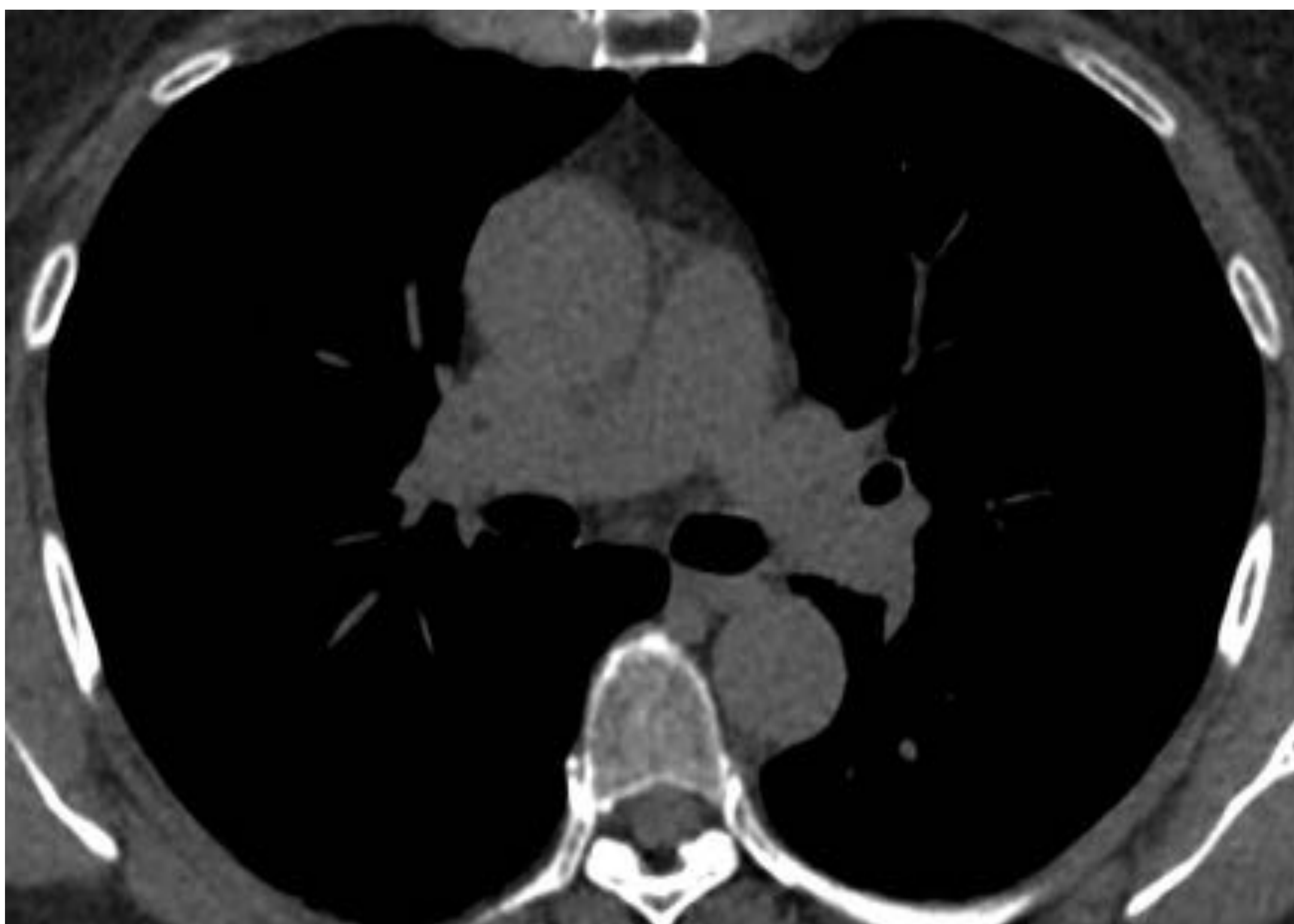
Existen dos formas para obtener mapas de yodo pulmonares:

- Mediante **energía dual**.
- Mediante **técnica de sustracción**.

En el presente trabajo nos centraremos en los mapas de perfusión obtenidos mediante técnica de sustracción.

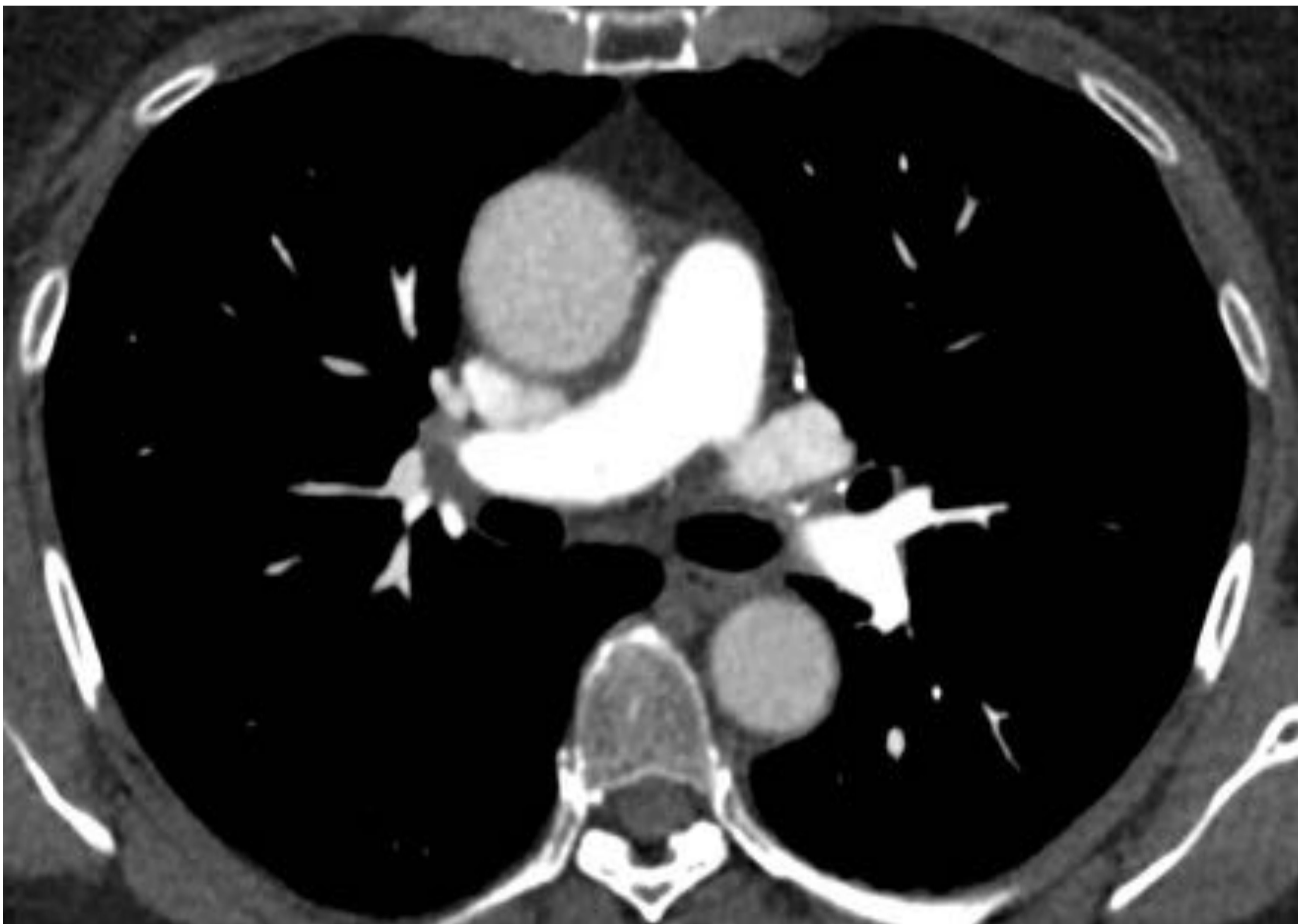
Para la obtención de un mapa de yodo con **técnica de sustracción** se precisa de la realización de **dos** tomografías computarizadas multicorte (**TCMC**). Se harán dos adquisiciones volumétricas consecutivas del tórax.

La primera es un TCMC **sin contraste de baja dosis**, que va seguida de la realización de una segunda TCMC tras la administración de **contraste intravenoso**.

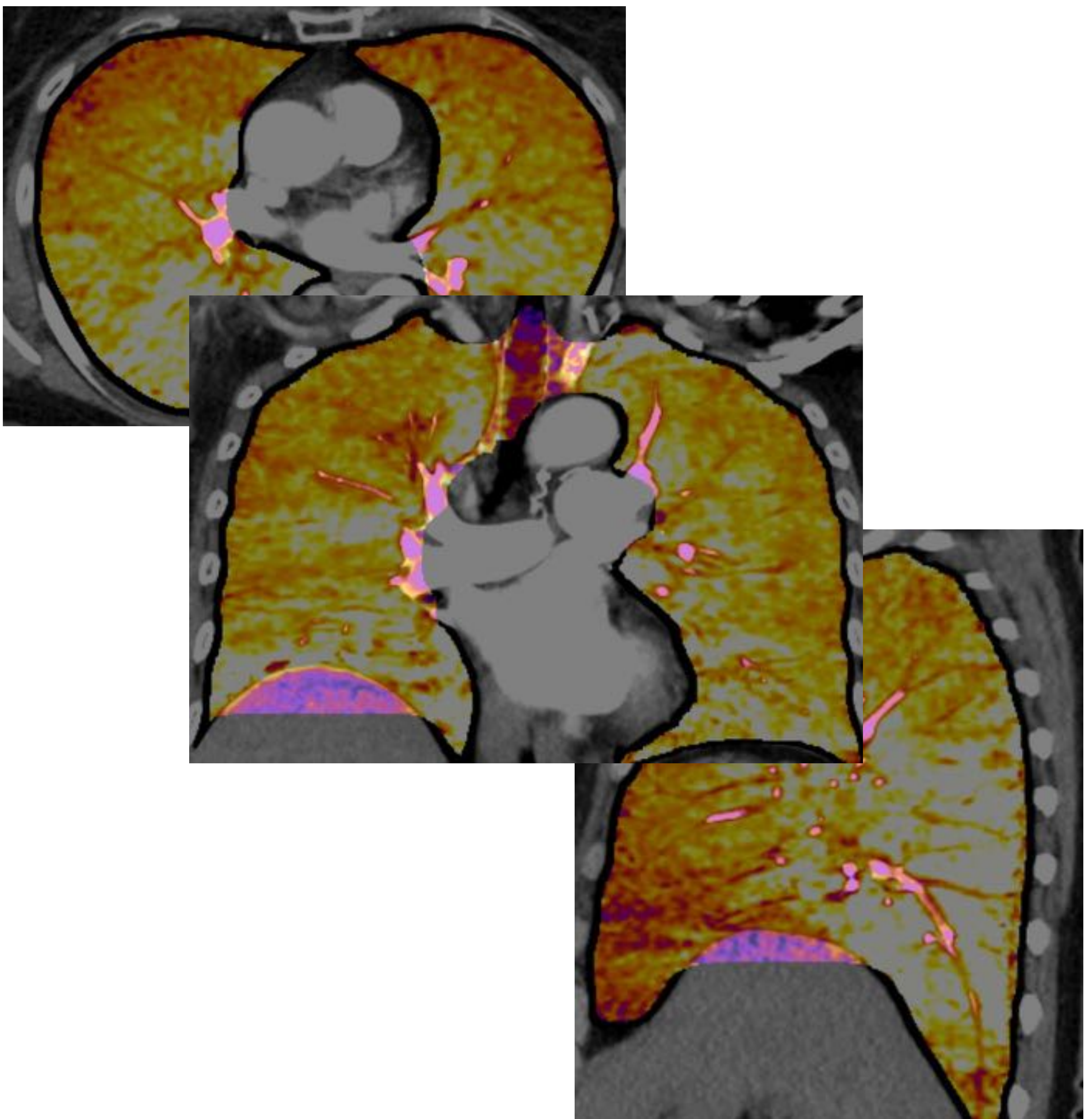


ASPECTOS TÉCNICOS

Este segundo escáner se adquiere con técnica de “bolus tracking” con colocación de un ROI (region of interest) en el tronco de la pulmonar o arterias pulmonares principales. Esta TCMC post-contraste será equivalente a una angiografía por TCMC convencional.



Posteriormente, un software realiza de forma automatizada el postprocesado que consiste en **sustraer de la TCMC post-contraste la TCMC sin contraste**. Se obtiene un mapa angiográfico pulmonar y se representa mediante una escala de colores. Por convenio, las **áreas bien perfundidas** son de color **amarillo o naranja**; mientras que las **áreas escasamente perfundidas** serán de colores mas oscuros, **azul-morado**. El software proporciona de forma automatizada los tres planos del espacio.



Por lo tanto, la técnica de sustracción permite obtener en la misma exploración una angiografía por TCMC (angio-TCMC) y el correspondiente mapa de yodo, aumentando de esta forma nuestra capacidad diagnóstica. Permitirá explorar de forma mas exacta las arterias de pequeño calibre y el lecho capilar pulmonar sin renunciar a la enorme rentabilidad diagnóstica ampliamente conocida de la angio-TCMC convencional. Ambas técnicas, **mapa de yodo y angio-TCMC, son complementarias.**

Los parámetros técnicos se ajustan en función del peso y tamaño del paciente. En un paciente medio los ajustes técnicos empleado serían los siguientes:

	<u>PREcontraste</u>	<u>POSTcontraste</u>
Kv	100	100
mA	Automático	Automático
Colimación	400 x 0,5mm	320 x 0,5mm
Tiempo de rotación	0,35 ms	0,35 ms
Tiempo de escaneado	3,6 s	3,6 s
Foco	Pequeño	Pequeño
Pitch	PF 0. 813 / HP 65.0	PF 0. 813 / HP 65.0
Grosor de la reconstrucción	0,5 x 80	0,5 x 80
Control de exposición	Medio -1	Medio
Protocolo de reconstrucción	Iterative, AIDR 3D standard. Filtro FC08	Iterative, AIDR 3D standard. Filtro FC08

INTERPRETACIÓN DE LOS MAPAS DE YODO

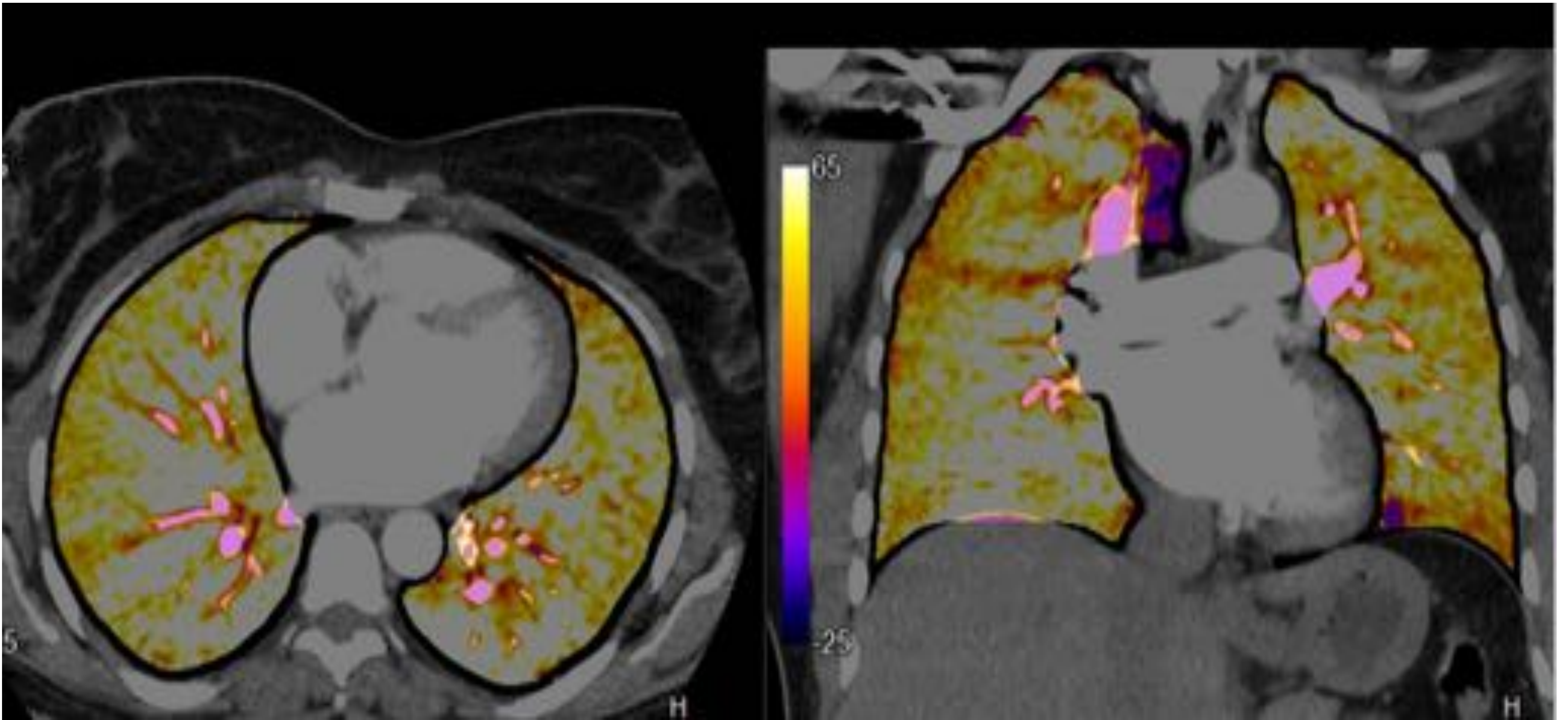
El árbol vascular arterial pulmonar se va dividiendo desde los hilios pulmonares hasta la periferia pulmonar. Los vasos van reduciendo su calibre progresivamente con cada división y se van distribuyendo por todos los territorios pulmonares, permitiendo una vascularización pulmonar homogénea y simétrica.

En condiciones **normales**, el contraste yodado se distribuye siguiendo el flujo sanguíneo a lo largo de todas estas ramificaciones, obteniéndose un **mapa de yodo de un único color, amarillo-anaranjado, y uniforme en todos los territorios** pulmonares. Indica que existe la misma concentración de contraste en todo el lecho vascular pulmonar.

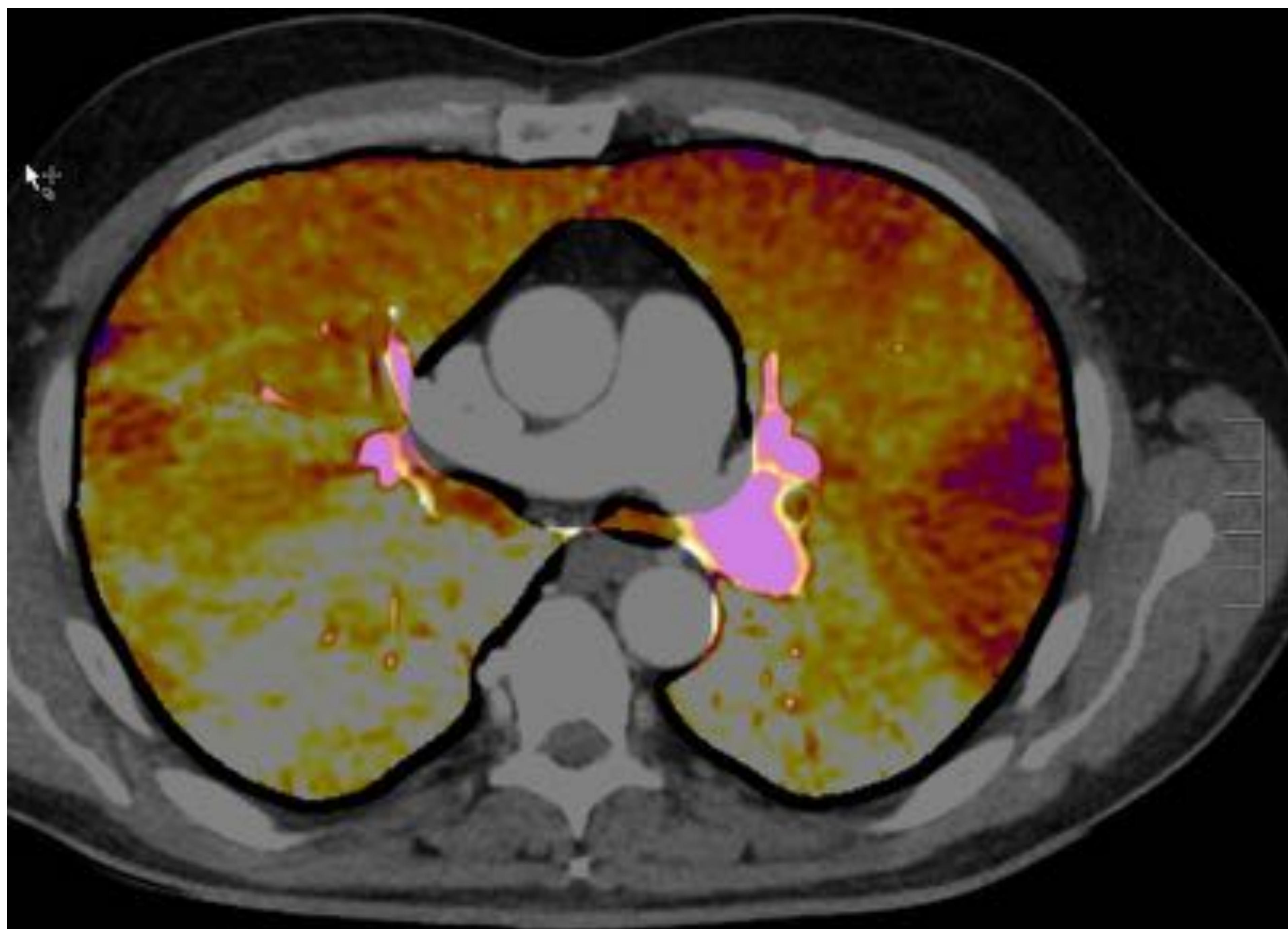
Un área de **hipoperfusión** es aquella en la que existe una disminución del flujo sanguíneo, parcial o completa. De forma análoga a la sangre, el depósito de contraste yodado en estas regiones estará disminuido.

Los mapas de yodo representaran esta **distribución asimétrica del contraste** en forma de mapas **no uniformes, con zonas azul-moradas** o zonas de perfusión alterada, entremezcladas con otras de color amarillo-naranja, que representarían las áreas con perfusión respetada.

Los mapas de yodo heterogéneos, especialmente por la presencia de zonas de color azul o morado representan afectación del lecho vascular; y por lo tanto, será necesaria una evaluación más exhaustiva.



Mapa de yodo normal. Distribución homogénea del contraste en todos los territorios pulmonares representado con un mapa de color uniforme amarillo –anaranjado.



Área de hipoperfusión en el LSI. Se delimita una zona triangular hipoperfundida de color morado que contrasta con el parénquima normoperfundido.

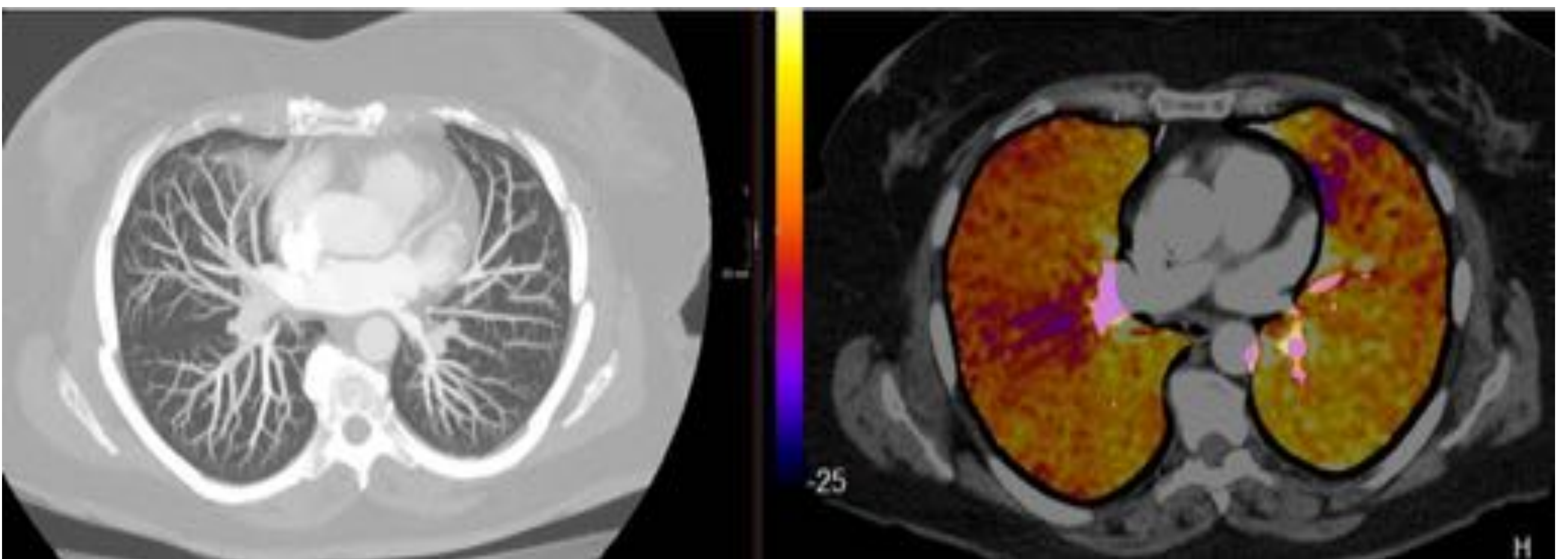
PITFALLS: ARTEFACTOS Y FALSOS POSITIVOS

POSITIVOS

Los mapas de yodo son especialmente susceptibles a artefactos. Existen numerosas situaciones en las que se altera la uniformidad del color en los mapas de perfusión sin que necesariamente exista patología vascular.

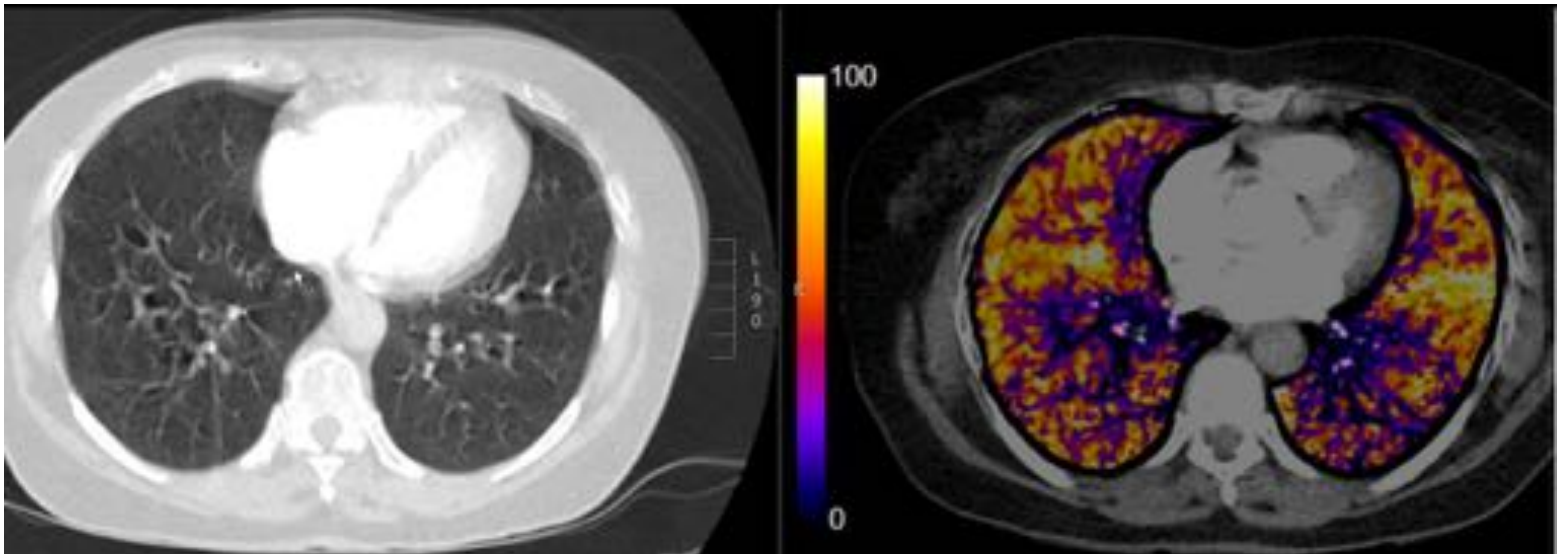
Los radiólogos deben estar familiarizados con estas causas de falsos positivos. La correlación con la angio-TCMC será la que nos proporcione el diagnóstico definitivo.

- ***Cisuras pulmonares:*** Pueden simular áreas de hipoperfusión. No obstante, no muestran una distribución vascular ya que son lineales y siguen el recorrido de las cisuras.



Correlación entre angio-TCMC con reconstrucción MIP y mapa de yodo. Cisura mayor derecha simulando hipoperfusión.

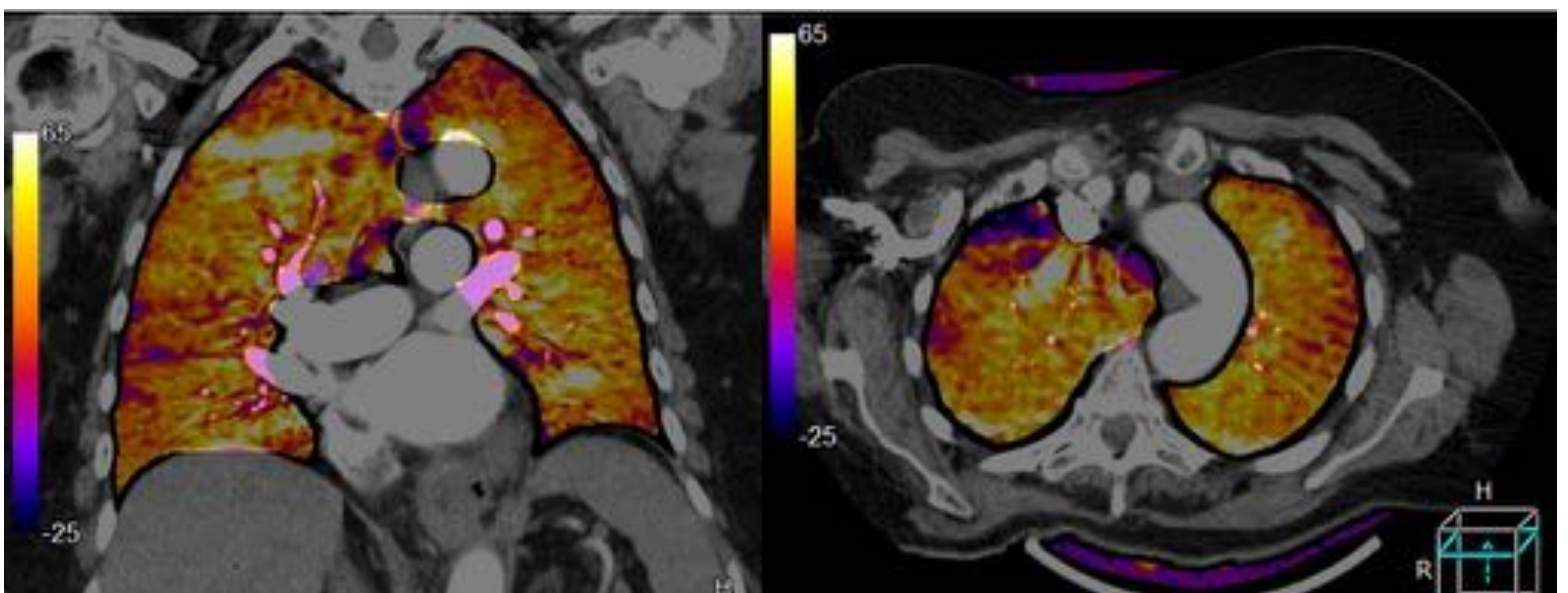
- **Artefactos por movimiento respiratorio y cardiaco:** detectables en la angio-TCMC.



Correlación entre angio-TCMC y mapa de yodo.

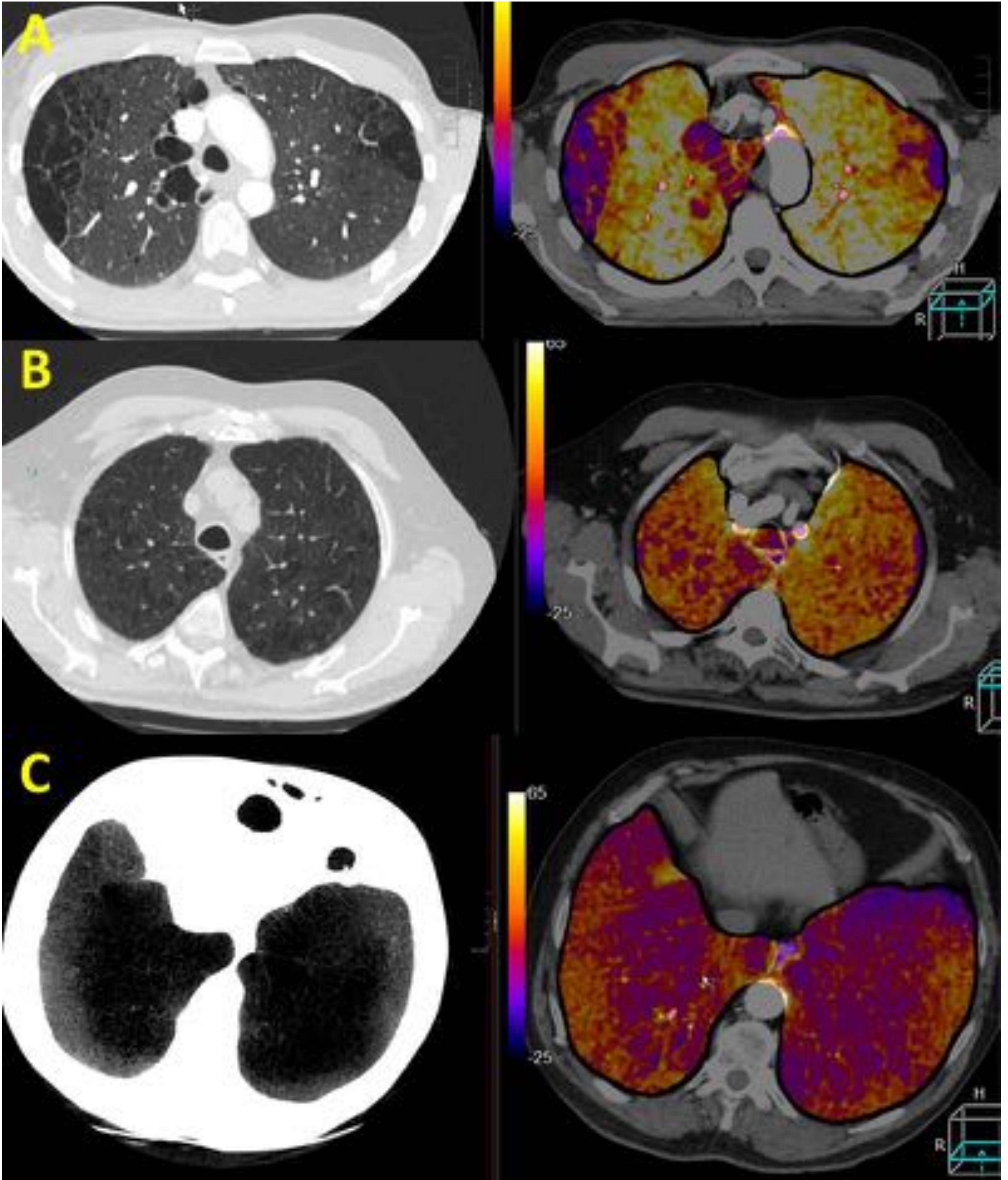
Falso positivo debido a la presencia de artefactos por movimiento respiratorio.

- **Artefacto de endurecimiento del haz:** la presencia del bolo de contraste en la vena cava superior (VCS) puede generar haces de color brillante o azul-morado en los lóbulos superiores.



Bandas brillantes en lóbulos superiores. Se trata de artefactos de endurecimiento del haz por la presencia del bolo de contraste en la VCS

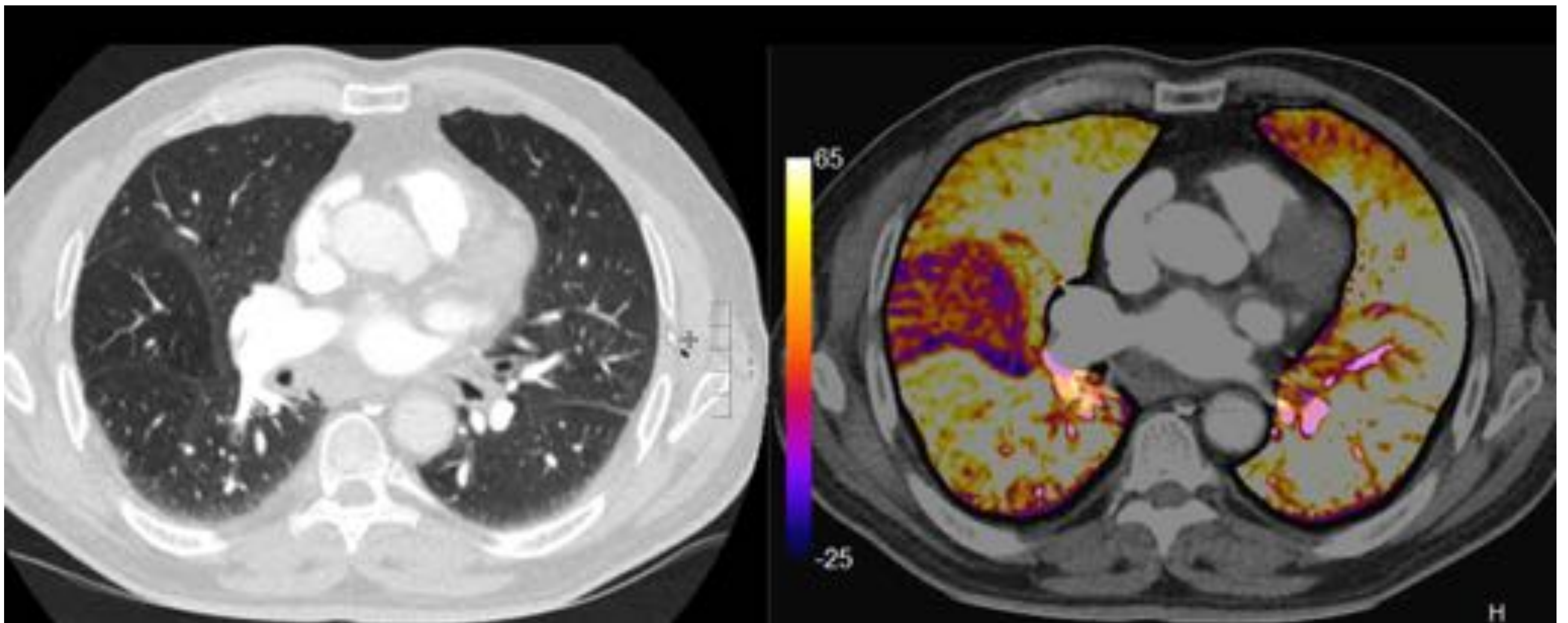
- **Bullas y enfisema:** Son zonas de dilatación anormal del espacio aéreo y destrucción de las paredes alveolares, de forma difusa (enfisema) o más focal (bullas).



Correlación entre TCMC (A y B con ventana de pulmón; C reconstrucción MINIP) y mapa de yodo.

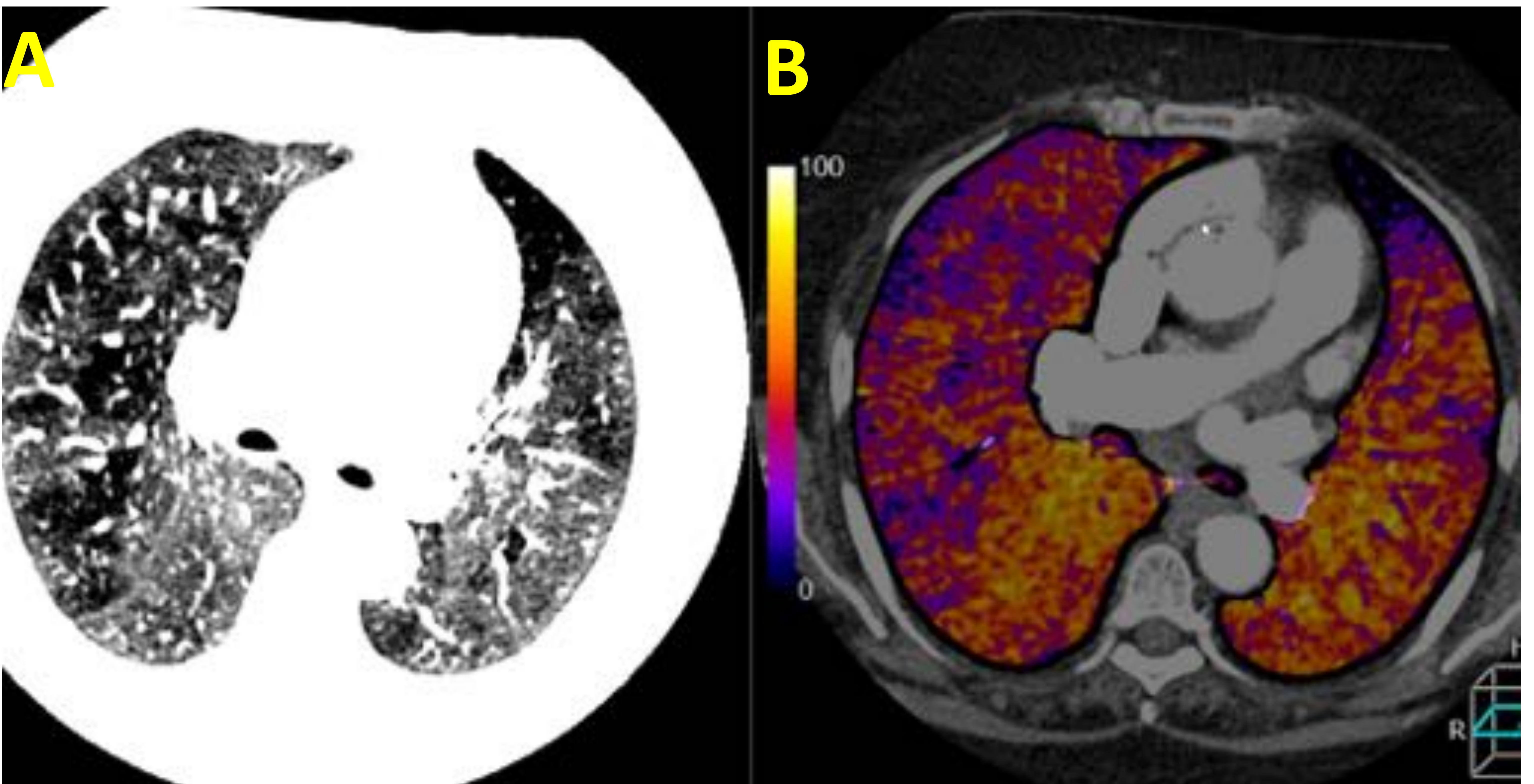
Falsos positivos generados por la presencia de bullas (A) y enfisema (B, C).

- El efecto de la **gravedad** afecta a la relación de la ventilación y la perfusión. En los pacientes en decúbito supino los segmentos localizados en posición antigravitatoria, es decir, los segmentos más anteriores (como el lóbulo medio –LM-) mostrarán de forma fisiológica una perfusión disminuida.



Correlación entre angio-TCMC y mapa de yodo.
Hipoperfusión fisiológica del LM

- **Enfermedad de pequeña vía aérea con atrapamiento aéreo:** Puede condicionar un patrón en mosaico con áreas hiperlucentes que fisiológicamente se corresponden con áreas de obstrucción de al vía aérea, mal ventiladas. En éstas existe una disminución fisiológica de la perfusión debido a un shunt sanguíneo compensatorio hacia territorios mejor ventilados.



Paciente asmático conocido. Angio-TCMC con ventana forzada (A) en la que se observa un patrón en mosaico debido a atrapamiento aéreo. Las áreas hiperlucentes muestran una perfusión disminuida en el correspondiente mapa de yodo (B) debido probablemente a un fenómeno de redistribución vascular hacia los segmentos mejor ventilados.

PATRÓN EN MOSAICO: INTERPRETACIÓN DE LAS ÁREAS LUCENTES Y DE LOS AUMENTOS DE DENSIDAD

INTERPRETACIÓN DE LAS ÁREAS DE DENSIDAD AUMENTADA

En nuestra experiencia en la valoración de las áreas de densidad aumentada (consolidaciones, atelectasias, opacidades, vidrios deslustrados y patrones intersticiales), los mapas de yodo **no aportan información adicional**. Encontramos que **todas** estas zonas **se comportan como azul-moradas** en los mapas de yodo.

Podría ser debido a la existencia de una **distribución heterogénea de contraste** a estas zonas, así como a una **limitación de la técnica de sustracción**.

1. Por un lado, estas zonas que son hiperdensas tanto la TCMC basal como en la TCMC post-contraste, no son correctamente detectadas por el software y **son sustraídas erróneamente**.

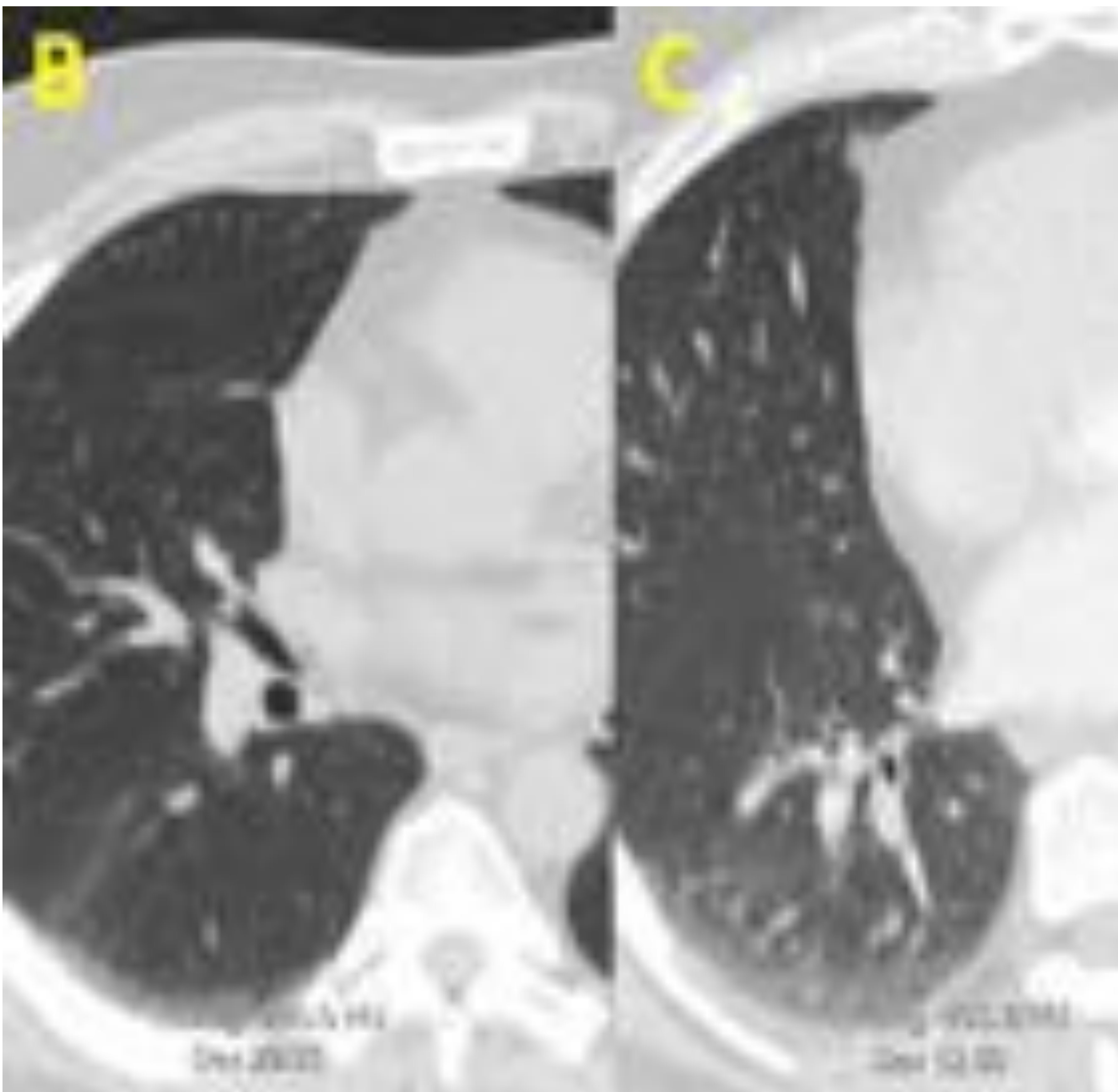
El software no encuentra diferencia en la atenuación entre el estudio pre y el post-contraste, interpretando que se trata de una zona de pulmón en la que no ha habido depósito de contraste.

2. Por otro lado, la interpretación podría estar también influenciada por **fenómenos vasculares** que hacen que la **distribución del contraste no** sea tan **homogénea** como en otros segmentos pulmonares. Estos fenómenos vasculares estarían en relación con el proceso patológico de base (como una vascularización incrementada en procesos infecciosos) o ser secundarios a los mecanismos de compensación pulmonares (por ejemplo una redistribución vascular hacia los segmentos mejor aireados). Contribuirían a un mapa de color no uniforme.

Un ejemplo representativo de este hecho lo encontramos en los **segmentos postero-basales** de los pulmones en los pacientes **en decúbito supino**, donde con frecuencia existen **fenómenos de hipoventilación** con la presencia de alveolos colapsados (áreas hiperdensas). Estas áreas **siempre** son interpretadas en los mapas de yodo de color **azul o morado**, probablemente debido a una redistribución fisiológica del flujo vascular hacia áreas ventiladas, sin significación patológica.



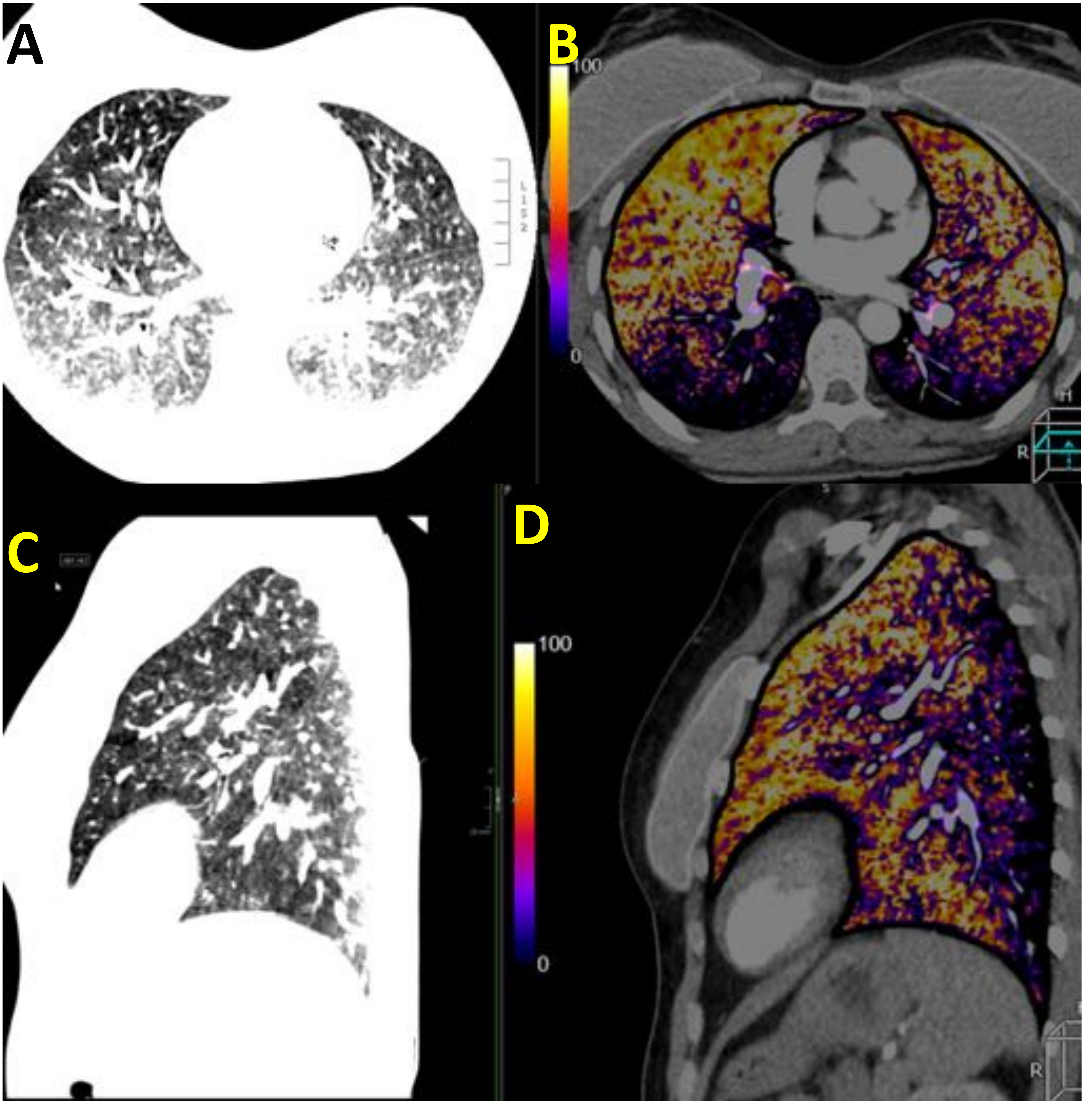
A: TCMC sin contraste donde se observan áreas de hipoventilación bibasales.



B y C: TCMC sin y con contraste respectivamente donde se observa que no existe diferencia significativa en los valores de atenuación (-290 y -293UH respectivamente) en las áreas de hipoventilación.



D: mapa de yodo donde se observa que las áreas de hipoventilación han sido interpretadas como zonas hipoperfundidas (azul-morado)



Otro ejemplo de angio-TCMC con ventana forzada (A,C) y mapa de yodo (B,D) en el que se observan extensas áreas densas basales bilaterales que son azul-moradas.

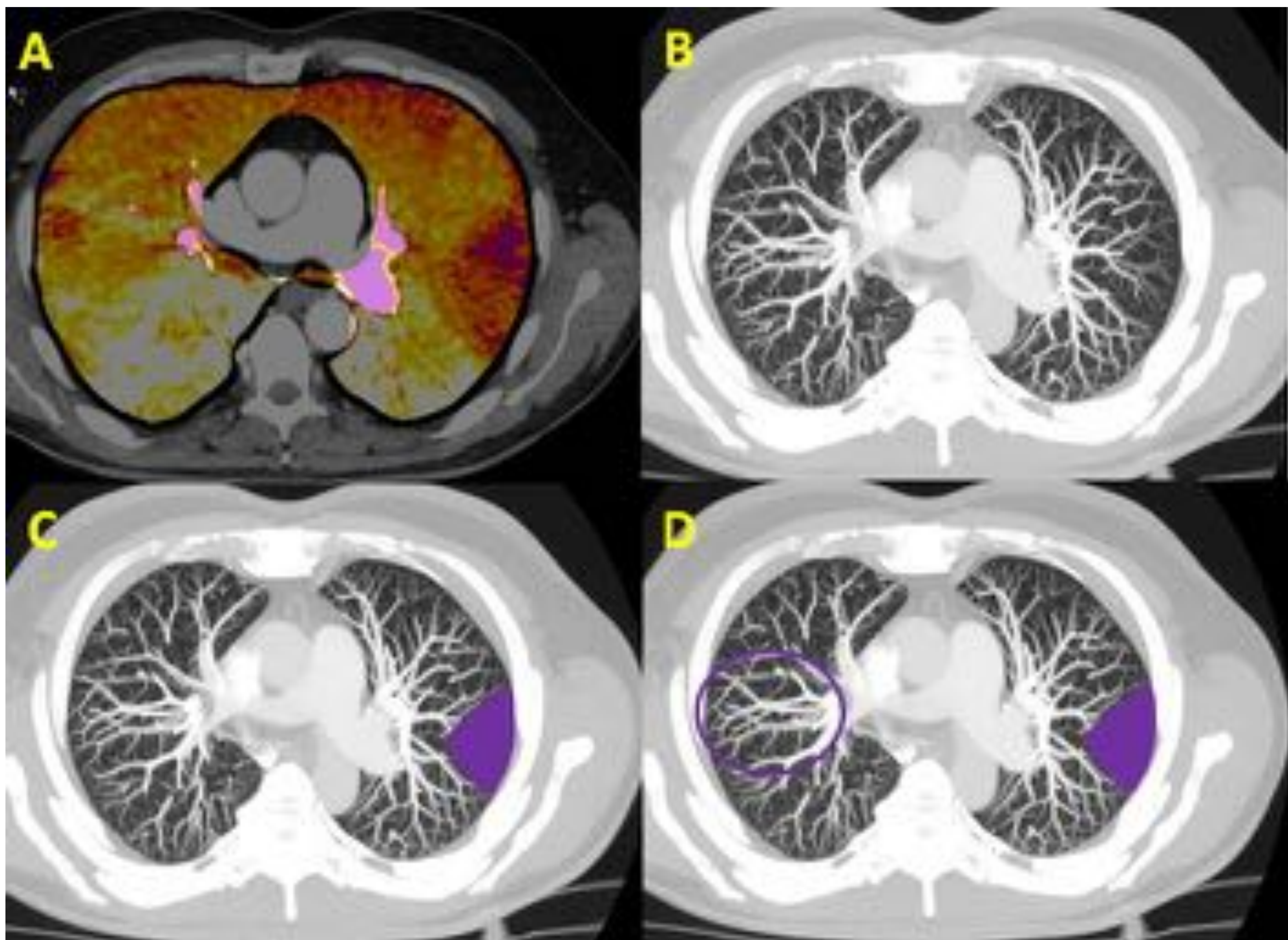
INTERPRETACIÓN DE LAS ÁREAS DE DENSIDAD DISMINUIDA

El objetivo deseable sería diferenciar con los mapas de yodo las áreas de lucencia que son secundarias a una alteración en el árbol vascular de aquellas que son provocadas por patología de la vía aérea o del parénquima pulmonar.

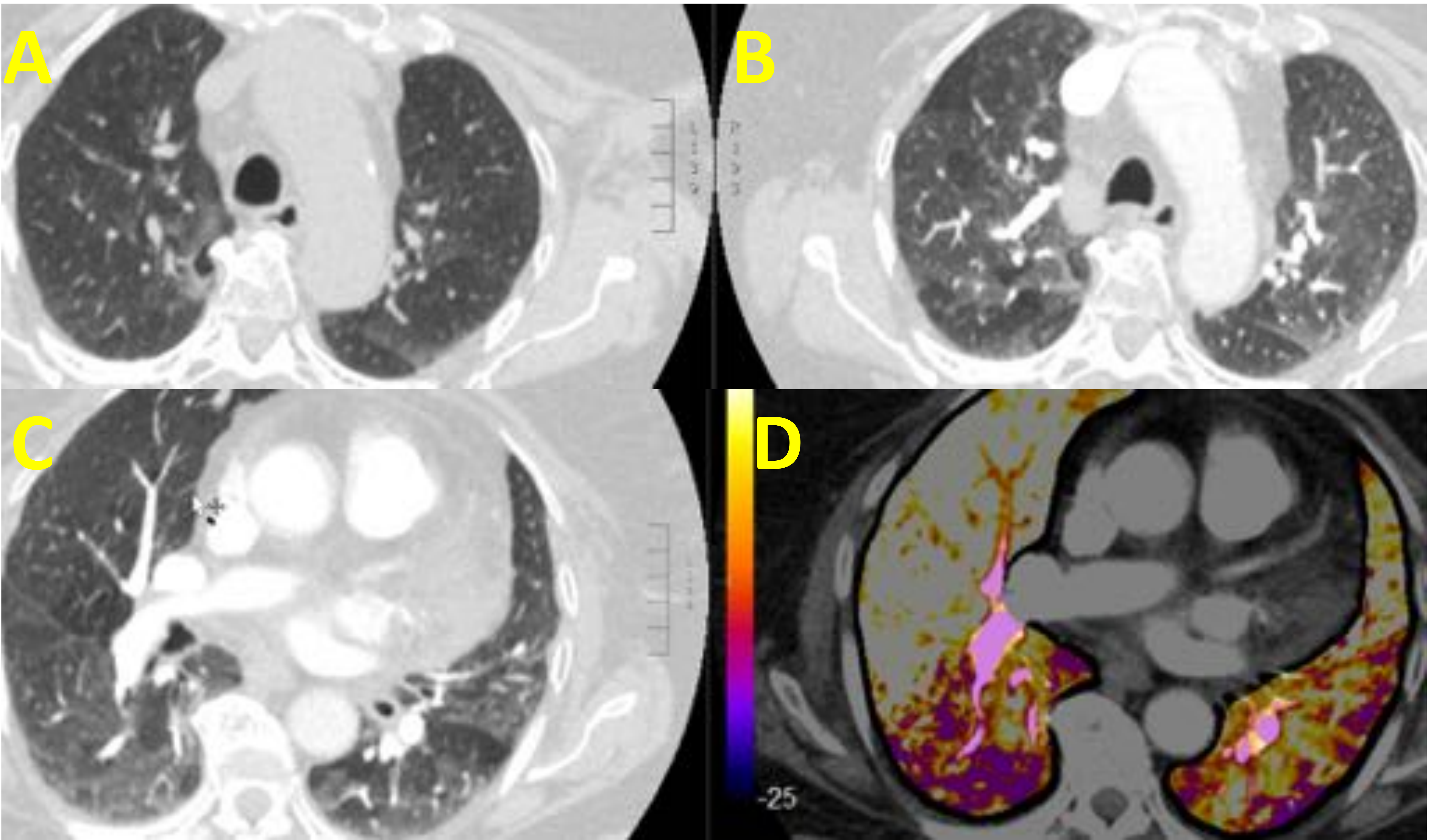
Cuando el área lucente se corresponde con una zona de hipoperfusión en los mapas de yodo se podría pensar que la alteración densitométrica es secundaria a un problema vascular primario, que ha condicionado un menor aporte sanguíneo a estos segmentos pulmonares.

No obstante, debido a que existen fenómenos de redistribución vascular fisiológicos en las patologías de la vía aérea esta premisa no es del todo cierta.

No hemos encontrado diferencia entre las áreas hipoperfundidas debido a patología vascular (tromboembolismo pulmonar crónico, hipertensión arterial pulmonar) y las debidas a fenómenos de redistribución vascular (patología de la vía aérea).



A: Mapa de yodo. B, C, D: angio-TCMC con ventana de pulmón y reconstrucción MIP. Área lucente e hipoperfundida con criterios de correlación: En el LSI se observa un área subpleural de morfología triangular que es de color azul-morado en el mapa de yodo (A) y que presenta una menor proporción de vasos en comparación con lado sano (B-D). El paciente había presentado un episodio de tromboembolismo pulmonar (TEP) agudo en el mismo territorio 6 meses antes. Hallazgos compatibles con TEP crónico.



TCMC en inspiración (A) y espiración (B, C) donde se demuestran áreas de atrapamiento aéreo (áreas hiperlucentes) en paciente con bronquitis infecciosa. Las áreas lucentes se corresponde con áreas de hipoperfusión en el mapa de yodo (D) debido probablemente a un stunt compensatorio hacia los segmentos mejor ventilados.

VENTANA AL FUTURO

Nuevas posibilidades se abren ante nosotros con las técnicas de perfusión pulmonar.

El hecho de poder valorar de forma simultánea el árbol arterial y la perfusión pulmonar podría servir de herramienta para valorar la repercusión real de un tromboembolismo sobre el parénquima pulmonar. Aportaría información a cerca de la gravedad y pronóstico de la enfermedad.

¿Cuánto parénquima pulmonar esta en riesgo isquémico?, ¿el tamaño y/o localización de un trombo están relacionado con la cantidad de parénquima afecto?, o por el contrario ¿puede haber parénquima con una perfusión preservada a pesar de la existencia del trombo?... Esta y otras preguntas podrían obtener respuesta gracias al uso de las técnicas de perfusión.

CONCLUSIONES

Conocer los parámetros técnicos y la semiología de los mapas de yodo son las claves para obtener un mayor rendimiento con esta técnica que puede aportar información adicional en el estudio de la patología vascular pulmonar y la interpretación del patrón pulmonar en mosaico.

REFERENCIAS

- Brink, M., Verschoor, A., Heijdra, Y., Schaefer, C., & Prokop, M. (2014). Subtraction techniques enable single-energy iodine mapping of pulmonary perfusion: An educational exhibit, 15. <https://doi.org/10.1594/ecr2014/C-2139>
- Hopkins SR1, Wiepputz MO, Kauczor HU. (2012). Imaging lung perfusion. *J Appl Physiol* (1985). 2012 Jul;113(2):328-39. doi: 10.1152/jappphysiol.00320.2012.
- Hachulla, A., Lador, F., Soccac, P., Montet, X., & Beghetti, M. (2016). Dual-energy computed tomographic imaging of pulmonary hypertension. *Swiss Medical Weekly*, 146(August), w14328. <https://doi.org/10.4414/smw.2016.14328>
- Ruggiero, A., & Screatton, N. J. (2017). Imaging of acute and chronic thromboembolic disease: state of the art. *Clinical Radiology*, 72(5), 375–388. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2017.02.011>
- Wildberger, J. E., Klotz, E., Ditt, H., Mahnken, A. H., Spüntrup, E., & Günther, R. W. (2005). Multi-slice CT for visualization of acute pulmonary embolism: Single breath-hold subtraction technique. *RoFo Fortschritte Auf Dem Gebiet Der Rontgenstrahlen Und Der Bildgebenden Verfahren*, 177(1), 17–23. <https://doi.org/10.1055/s-2004-813875>
- Paper, S., Rasmussen, F. R., & Applications-, C. (2011). Iodine map as a relative predictor of lung perfusion : optimization of scan delay, 1–6.