

Jordi Broncano Cabrero¹,
Antonio Luna Alcalá², Javier
Sanchez Gonzalez³, Lidia Alcala
Mata², Paula Montesino Suarez
De La Vega³

1.Hospital San Juan de Dios. Hospital Cruz
Roja. RESSALTA. Grupo Health Time,
Córdoba, España

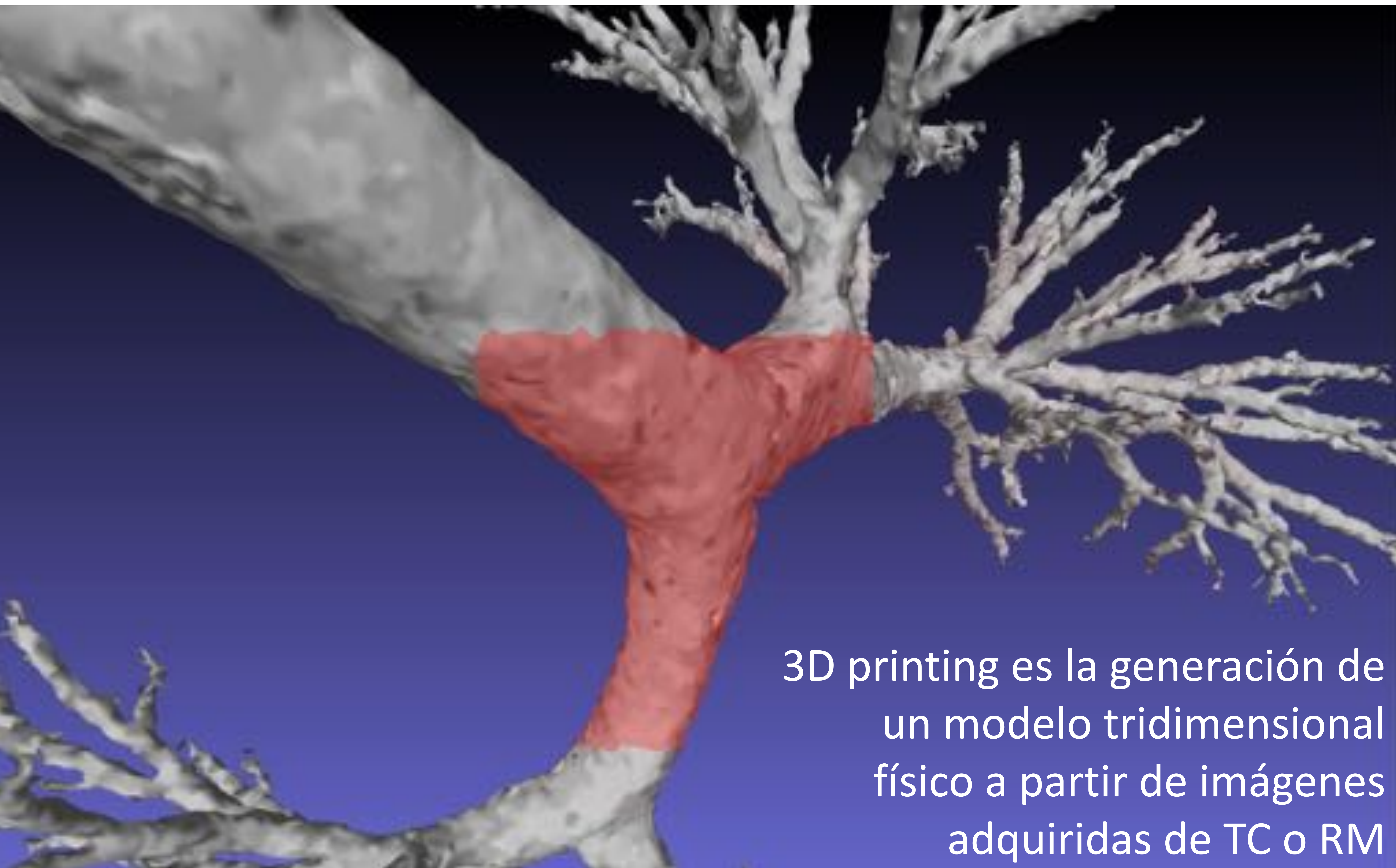
2.SERCOSA. Grupo Health Time, Jaen,
España

3.Philips Healthcare, Madrid, España

**Impresión 3D pre-
quirúrgica en tumores
torácicos con modelos
híbridos CT y RM:
Cómo hacerlo paso a
paso.**

1 Introducción al 3D printing

Concepto y tipos de archivo

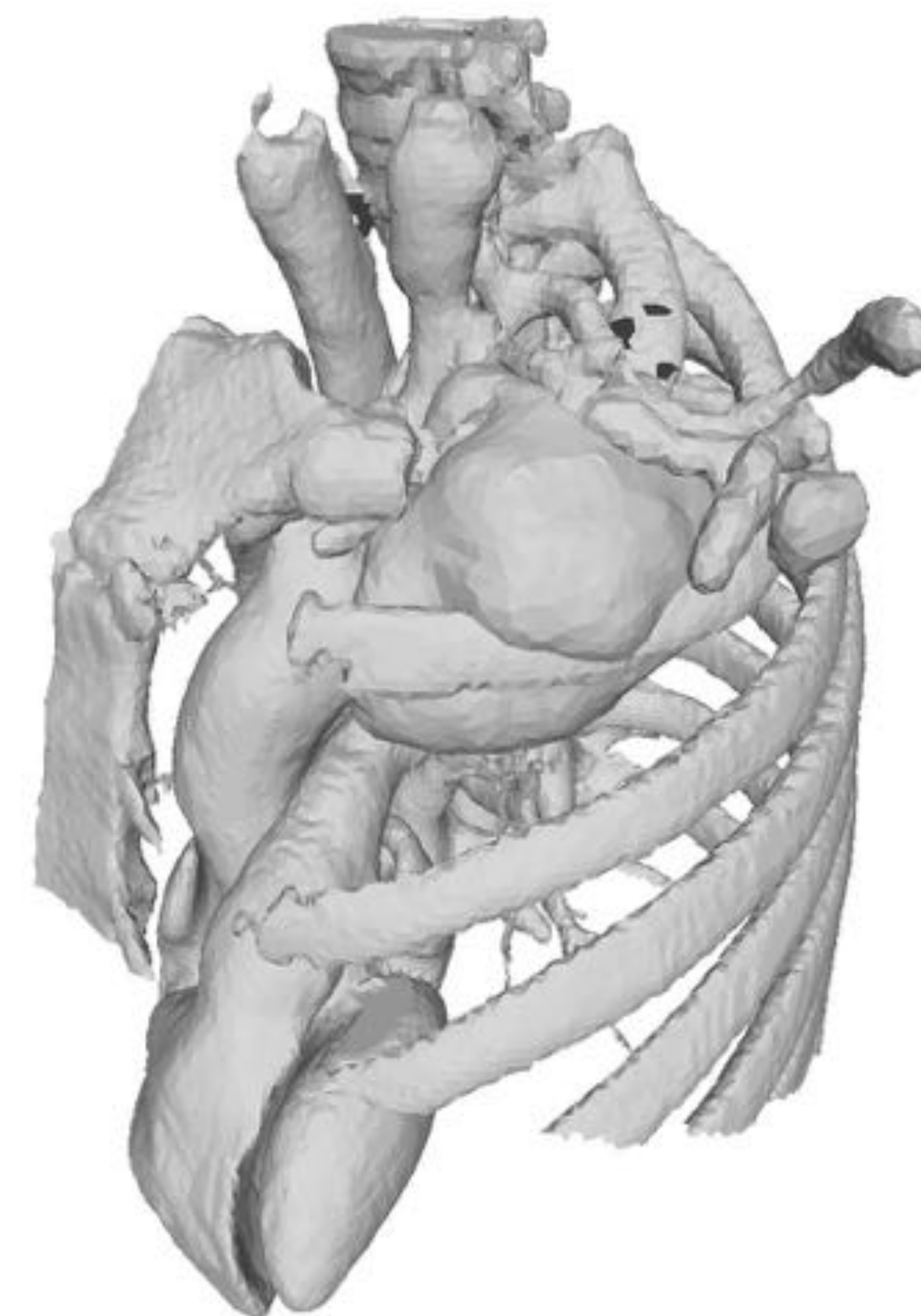
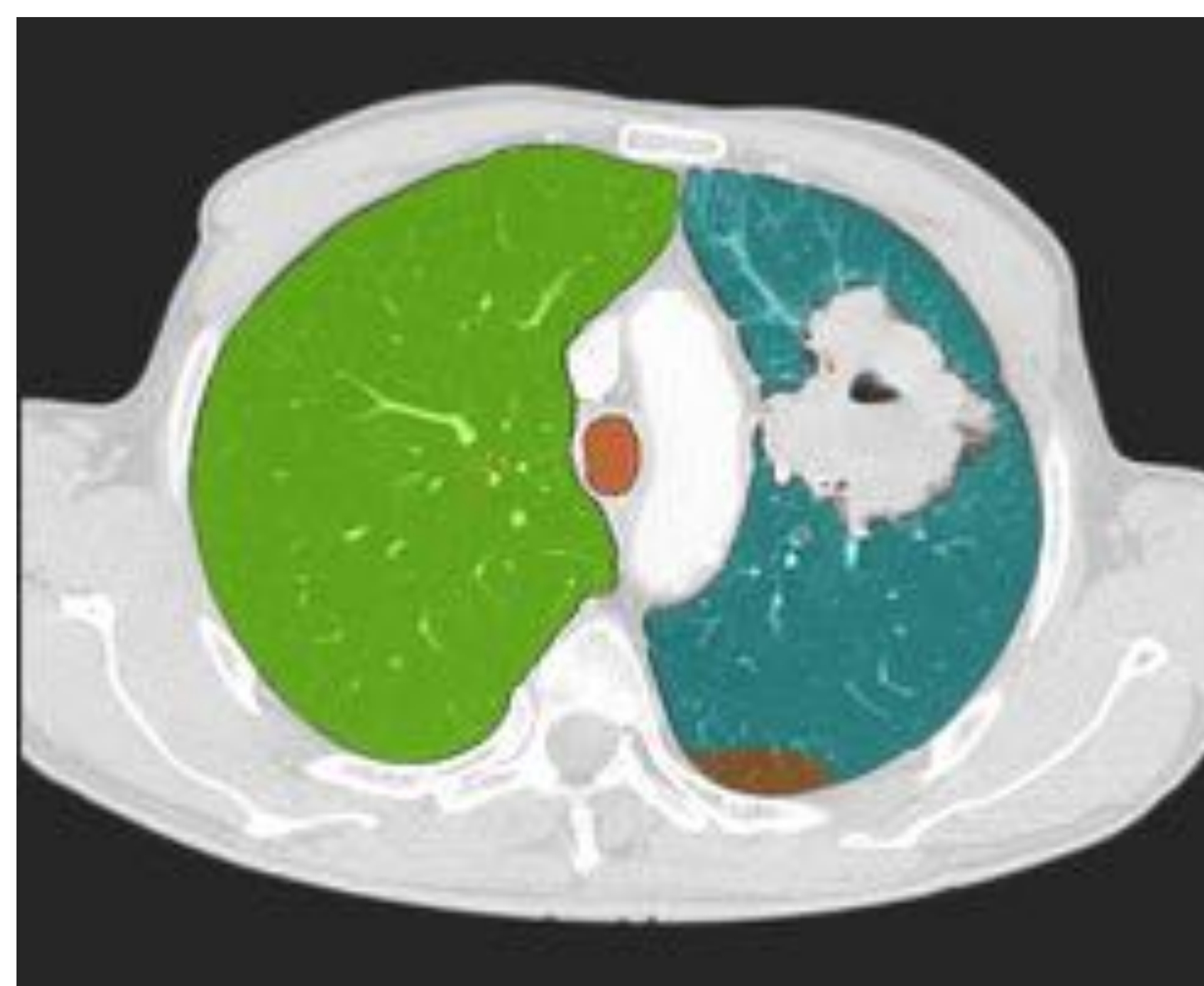
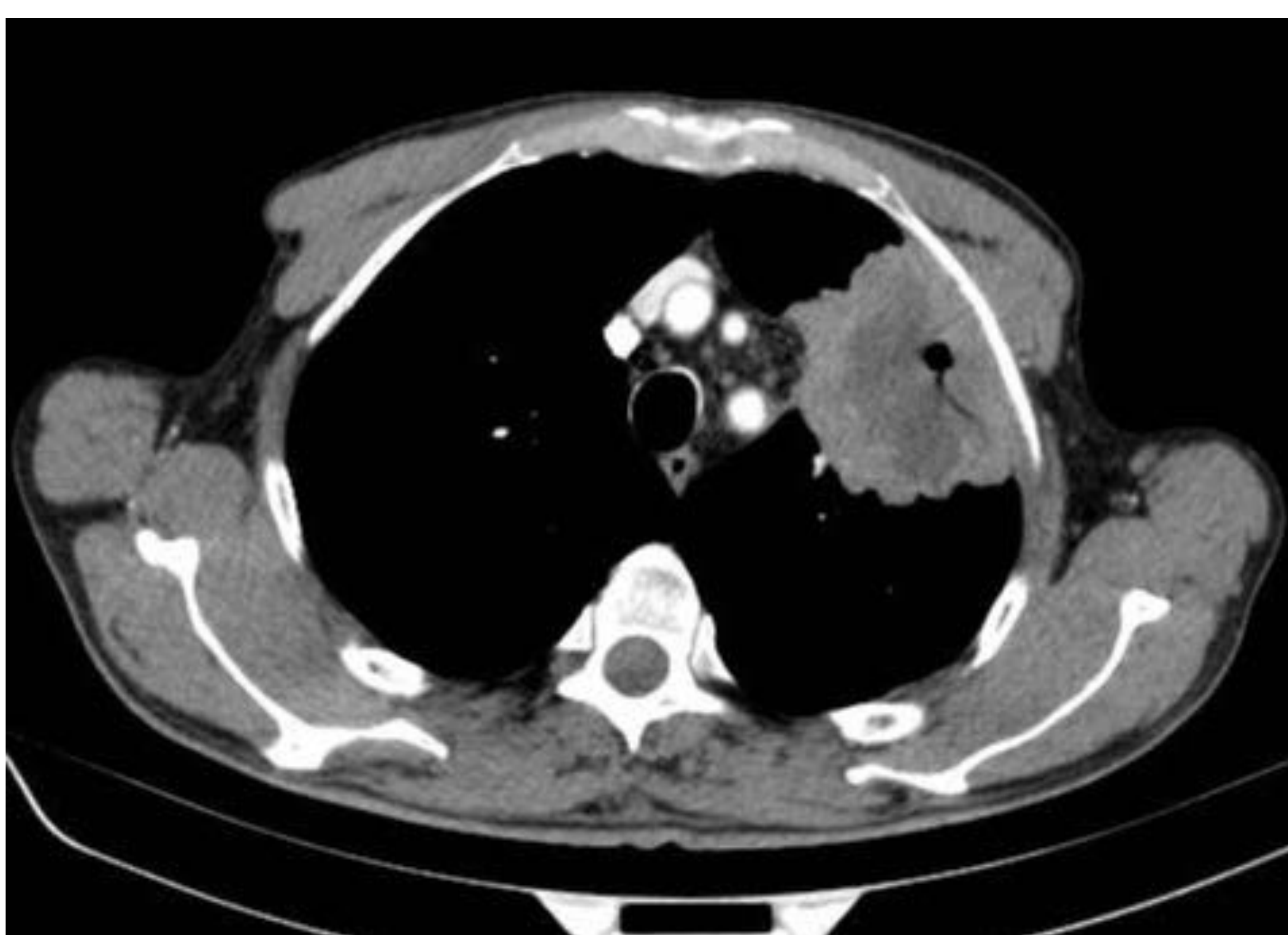


3D printing es la generación de un modelo tridimensional físico a partir de imágenes adquiridas de TC o RM

| Archivo | Definición | Formato | Uso |
|---------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| *.stl | Standard Triangle or Tessellation Language | <ul style="list-style-type: none"> Superficie triangulada no estructurada con un sistema de coordenadas cartesianas 3D No contiene escala Unidades arbitrarias | <ul style="list-style-type: none"> Prototipado rápido 3D printing Computer aided manufacturing |
| *.ply | Polygon file format Stanford file format | <ul style="list-style-type: none"> Descripción del objeto en una lista de polígonos planos nominales Codifica color, transparencia, textura, surface normals y data confidence values Mayor flexibilidad que *.stl | <ul style="list-style-type: none"> Almacenamiento de datos 3D. 3D printing |
| *.obj | Geometry definition file format | <ul style="list-style-type: none"> Información geometría 3D (vértices, triángulos, polígonos y texturas). Codifica diferentes materiales, color, texturas y transparencias. No contiene unidades. Contiene información escala. | <ul style="list-style-type: none"> Advanced visualizer animation package Diseño gráfico 3D Open source 3D printing |
| *.amf | Additive manufacturing file format | <ul style="list-style-type: none"> Archivo basado en formato XML para procesos de additive manufacturing como la impresión 3D. Soporte nativo para materiales, color, lattices y constellations. Posible impresión diferentes materiales en un mismo objeto 3D | <ul style="list-style-type: none"> Additive manufacturing process 3D printing Open source |

1 Introducción al 3D printing

Flujo de trabajo y materiales



1. Adquisición

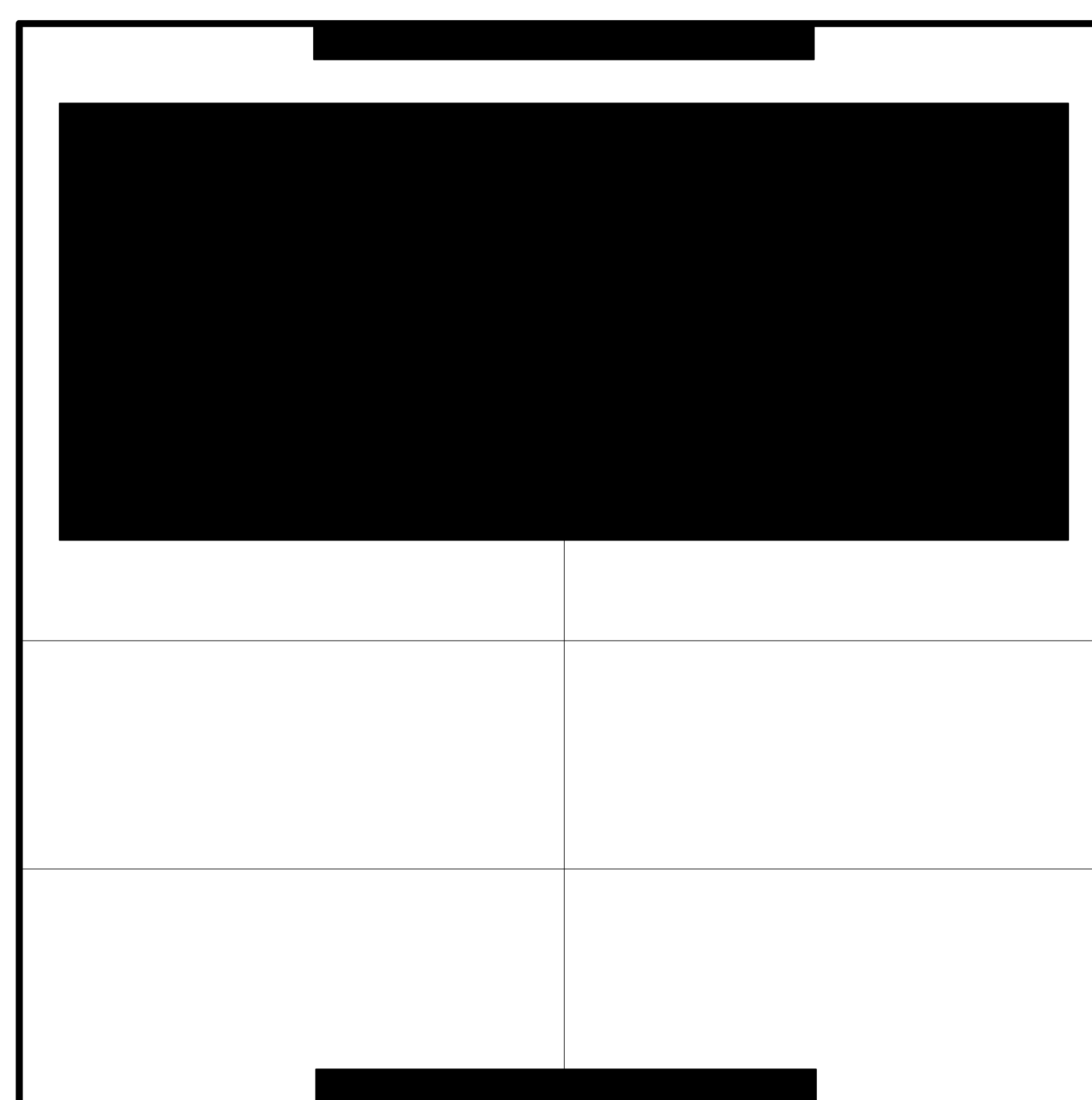
Optimización de los parámetros de TC y/o RM para la obtención de imágenes DICOM de calidad

2. Segmentación

Identificación, reconstrucción, análisis y catalogación de las diferentes estructuras previa a la generación de un STL

3. Generación STL

Ajuste del volumen de impresión previa a la generación del STL. Crítico a la hora de definir el tiempo de impresión.



6. Preparación del modelo 3D

Limpieza, evaluación e instilación de acrílicos y polímeros para incrementar su dureza.

5. Impresión 3D

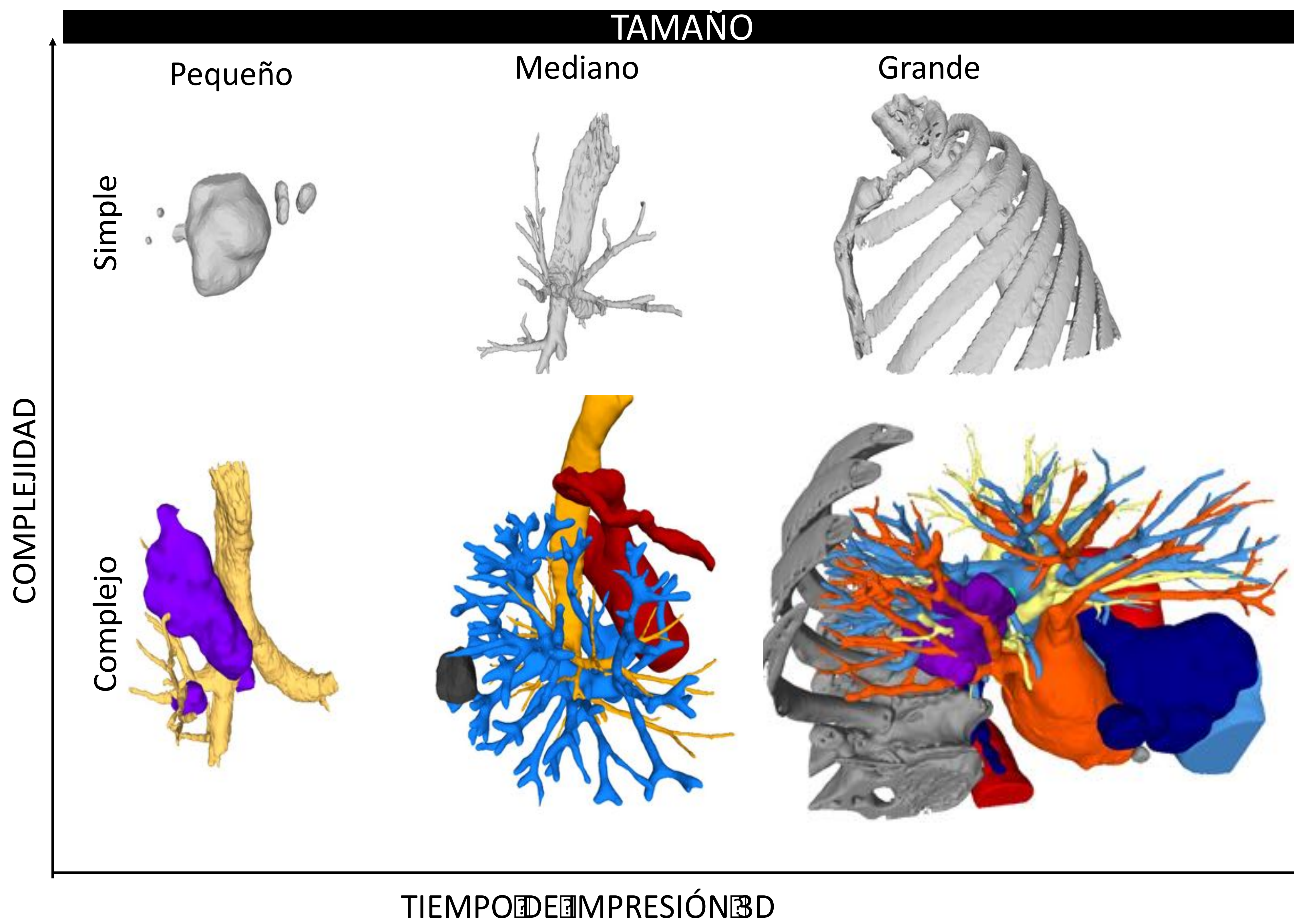
Determinación del modelo de impresión y material o materiales así como coloración del modelo a imprimir.

4. Optimización STL

Post-procesado de la malla para eliminar errores o imperfecciones de la segmentación, suavizado de la malla y adquisición de color, textura y transparencia

1 Introducción al 3D printing

Flujo de trabajo y materiales



LO BUENO SI BREVE, DOS VECES BUENO

Cuanto mayor y más complejo sea el modelo 3D más costoso (tiempo y material) resulta su impresión.

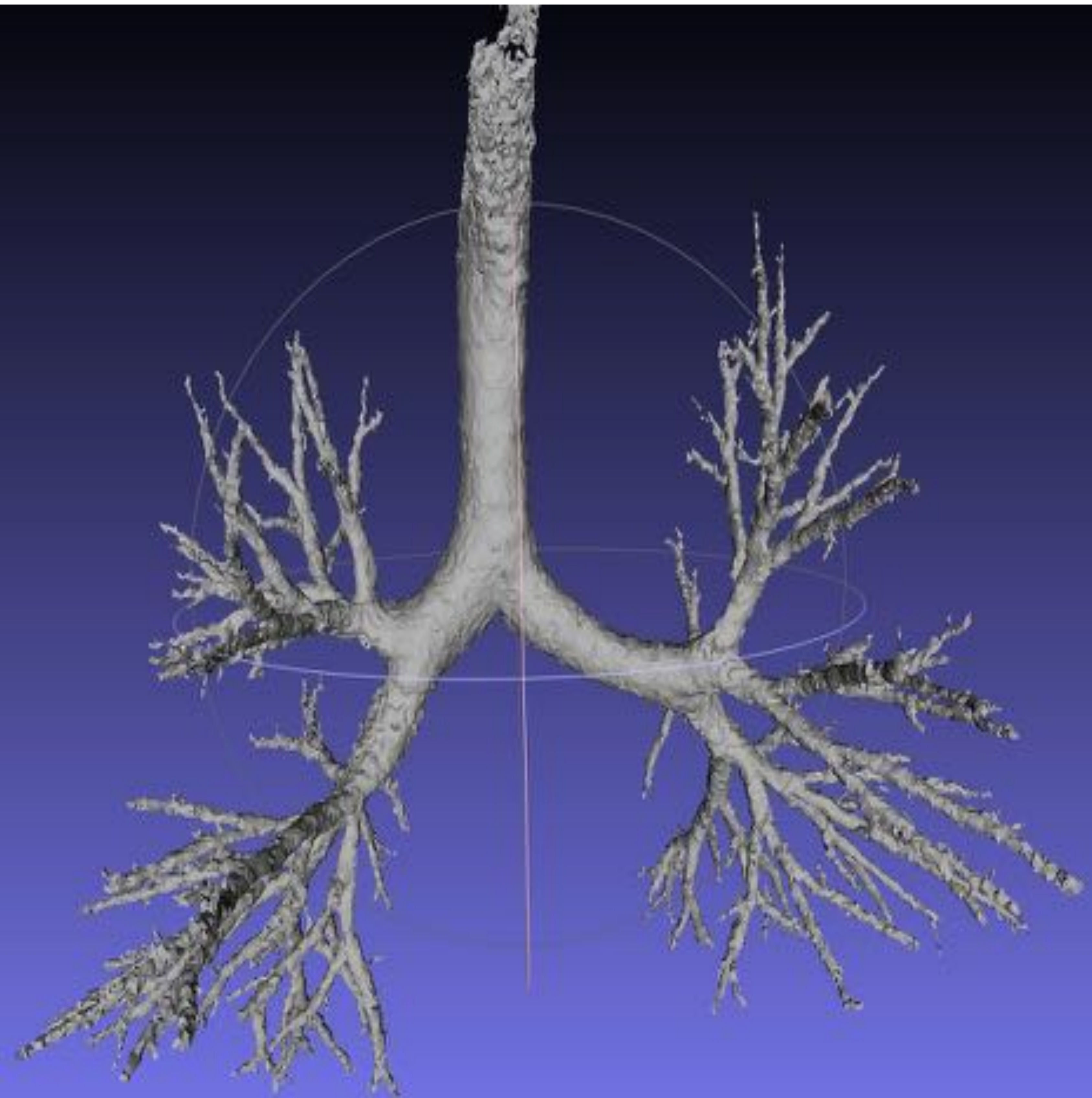
CENTRARSE EN LO QUIRÚRGICAMENTE RELVANTE

Relación de técnicas de impresión, materiales y características

| Material | Impresora Resolución | Dureza | Ventajas | Desventajas |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| MATERIAL JETTING Compuesto base acrílica y solidificación con rayos UV | Object 500 Connex Z: 0,03 mm X-Y: 0,05 mm | ++ | Versátil Multimaterial Policromático Biocompatibilidad corta duración (guías quirúrgicas) | Coste Tiempo |
| MATERIAL EXTRUSION Compuesto termoplástico diluido y extruido | Fortus 500 mc Z: 0,1-0,5 mm X-Y: 0,1-0,4 mm | +++ | Poco coste Amplia distribución 1-2 materiales Policromático Rígido/flexible | Tiempo Poca resolución espacial Permeación con líquidos |
| VAT PHOTOPOLIMERIZATION Fotopolímero solidificado con rayos UV | ProJet 7000 Z: 0,02- 0,2 mm X-Y: 0,075-0,2 mm | Liso | Modelos vasculares Biocompatibilidad | Monomaterial Difícil extracción |
| BINDER JETTING Líquido adhesivo inyectado sobre yeso o polvo cerámico | ProJet 660 pro Z: 0,05-0,1 mm X-Y: 0,05 mm | +++ | Policromático Formas complejas No soporte | Fragilidad →infiltración acrílicos elastoméricos Monomaterial |
| POWER RED FUSION Polvo plástico, cerámico, plástico, metálico o de vidrio sinterizado con láser potencia | EoS M400 Quad Laser metal printer Z: 0,1-0,2 mm X-Y: 0,075-0,2 mm | +++ | Bioimplantable Aleación metal No soporte | Coste Complejidad |

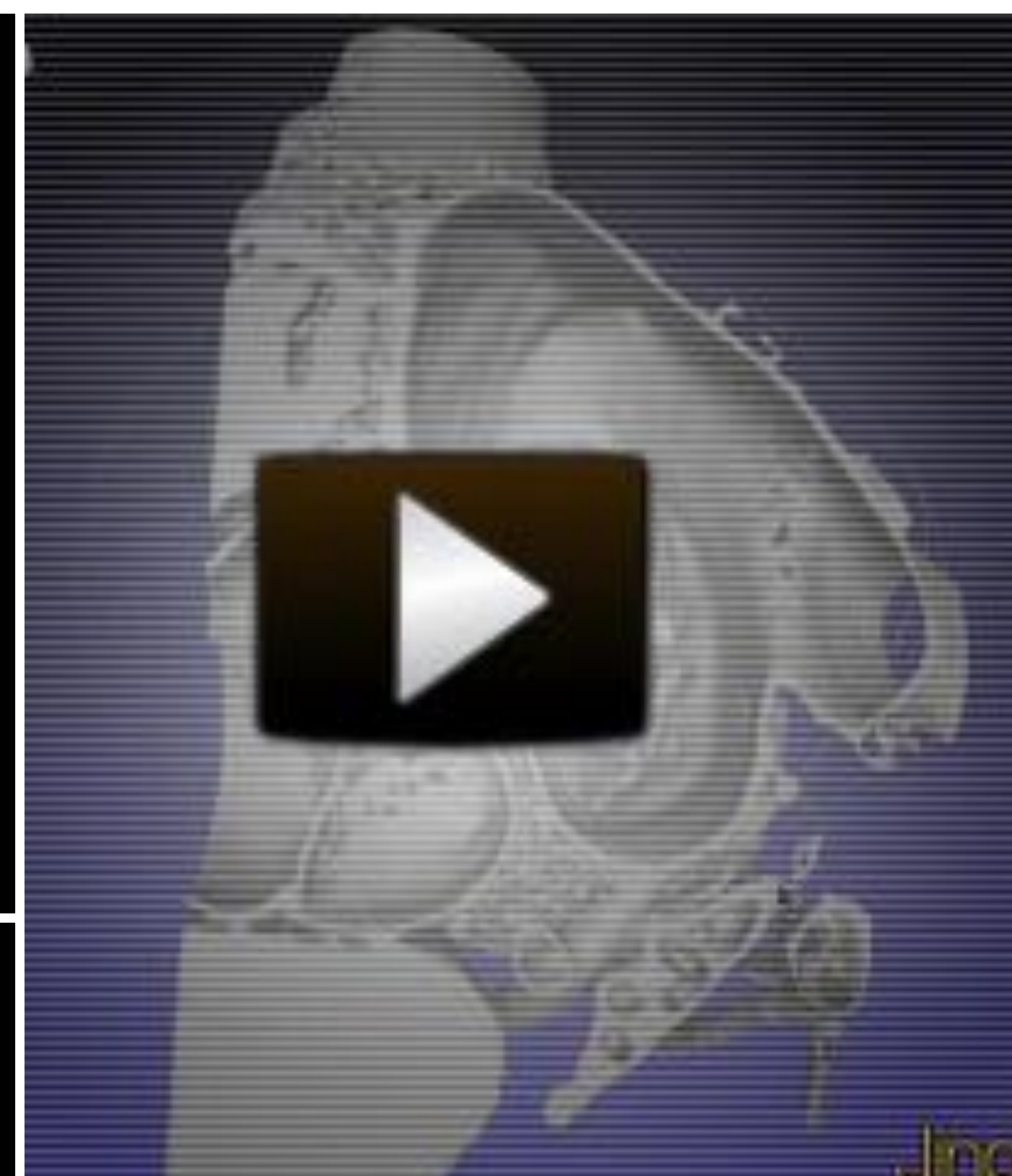
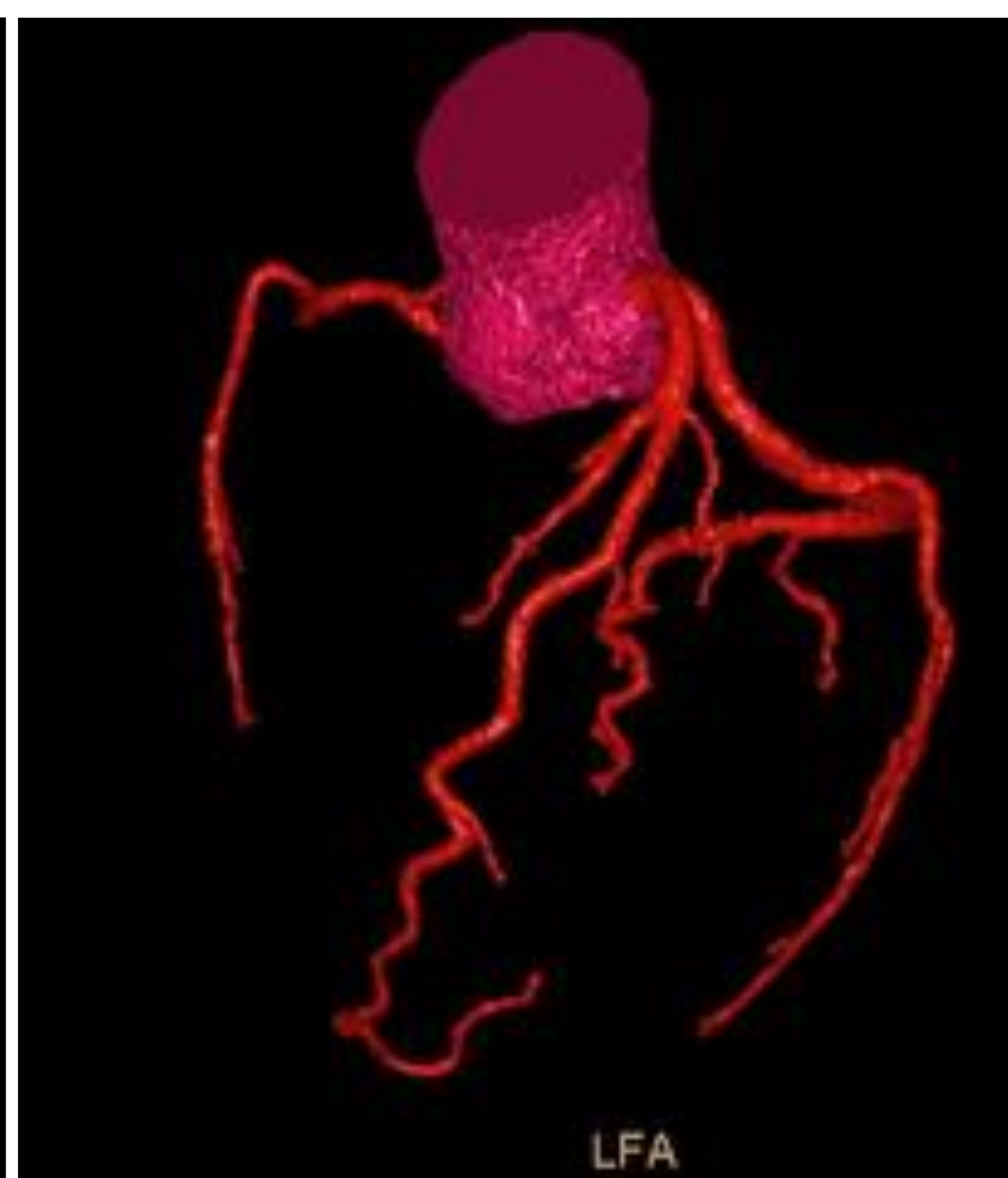
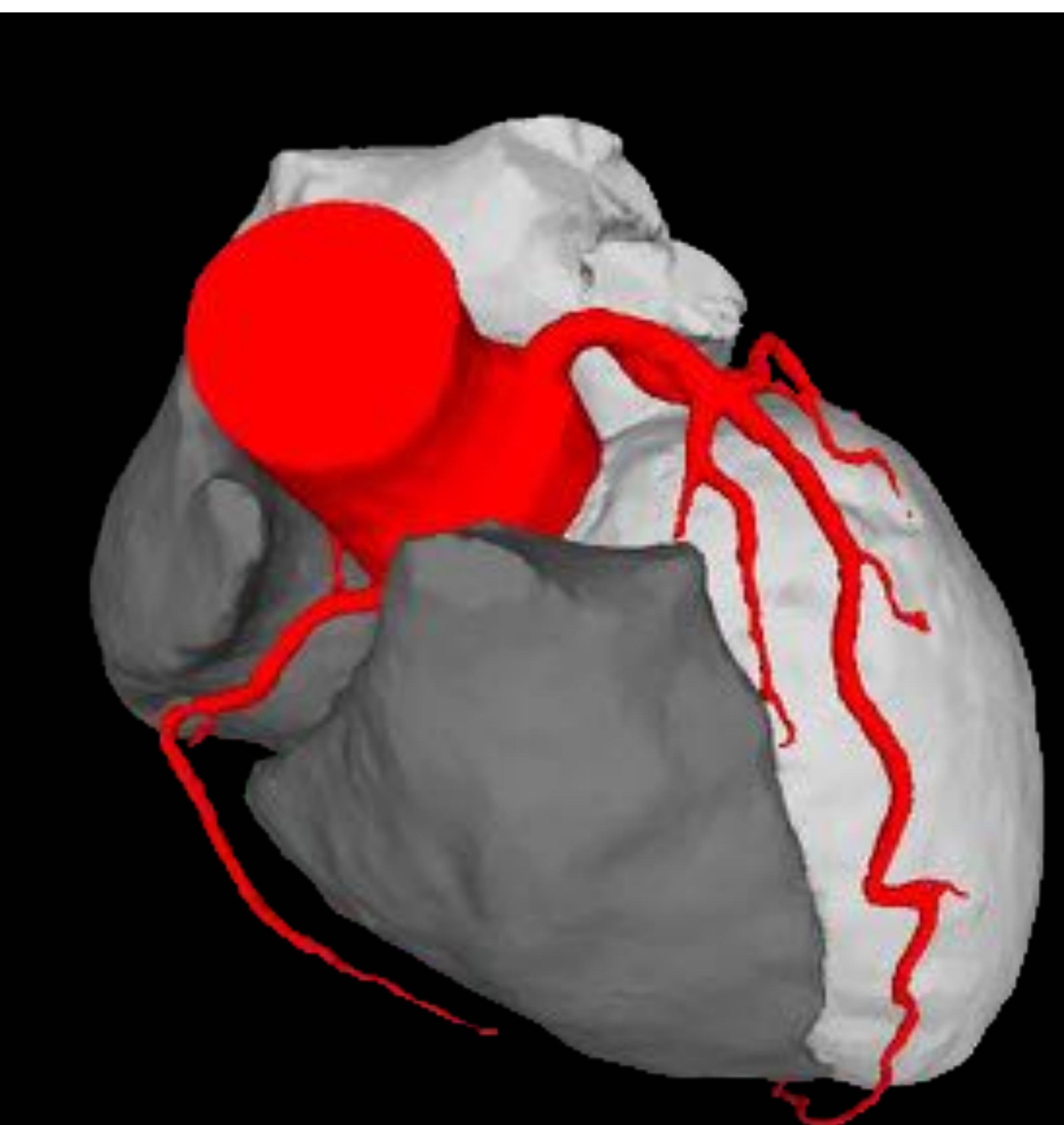
2 Técnica de adquisición dirigida a 3D printing

Tomografía computarizada



La calidad de la adquisición tomográfica determina la fiabilidad y exactitud del modelo

| Técnica | TCMD 16 cortes | TCMD 128 cortes (64 x 2) |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| kV/mAs | 120 kV/250-440 mAs | 120 kV/70-300 mAs |
| Modulación dosis | CareDose 4D | CareDose 4D |
| Colimación | 16 x 0.625 mm | 64 x 2 x 0.625 mm |
| Rotación tubo / pitch | 0.6 s / 1:1.75 | 0.75 / 1:0.895 |
| Control contraste | Bolus Tracking | Bolus Tracking |
| Umbral de realce | 70 UH (Aorta descendente) | 100 UH (Aorta descendente) |
| Reconstrucción | 1 mm / 0,8 mm | 1 mm / 0,8 mm |
| Filtro de reconstrucción | Baja y alta frecuencia | Baja y alta frecuencia |
| Algoritmo reducción ruido | si | si |

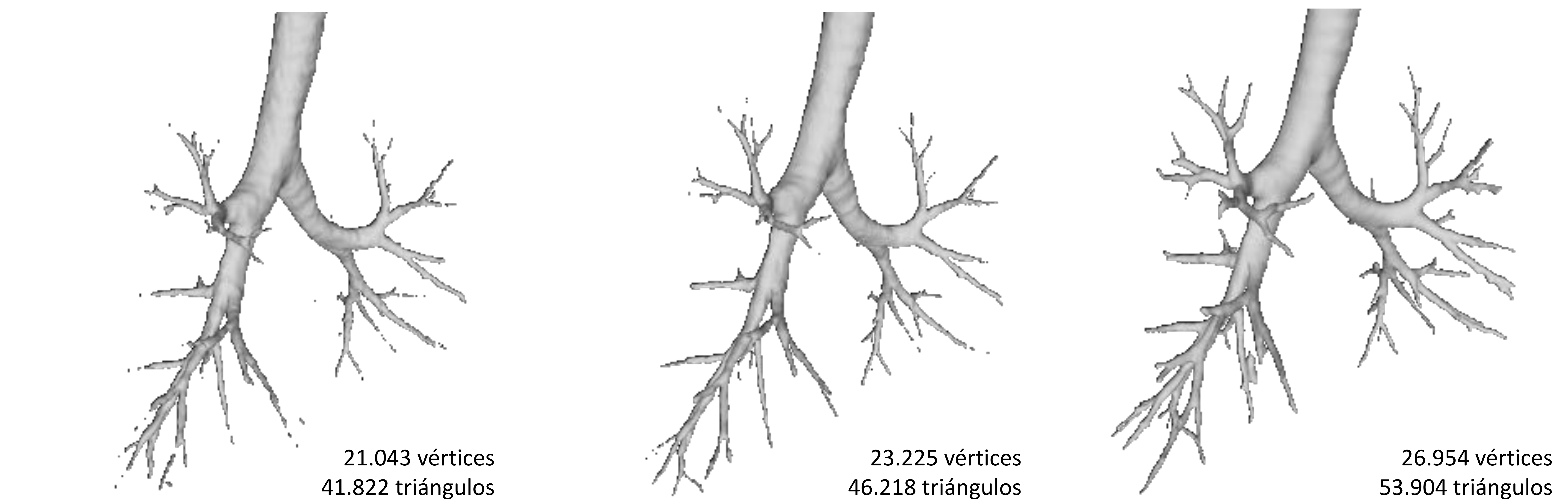
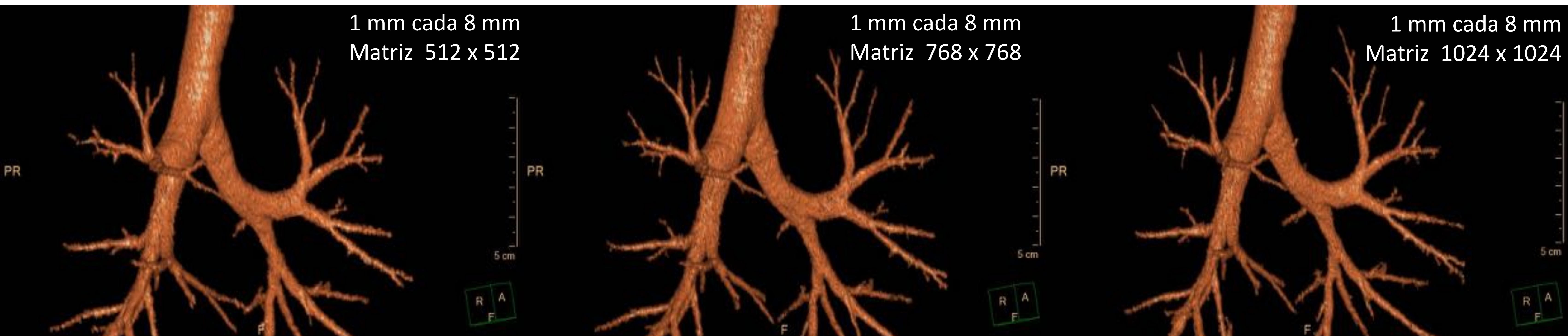


STL model file of the heart obtained from and ECG-gated coronary CTA.

Cuando exista afectación de estructuras cardíacas, la sincronización con ECG puede ser de gran ayuda para su valoración

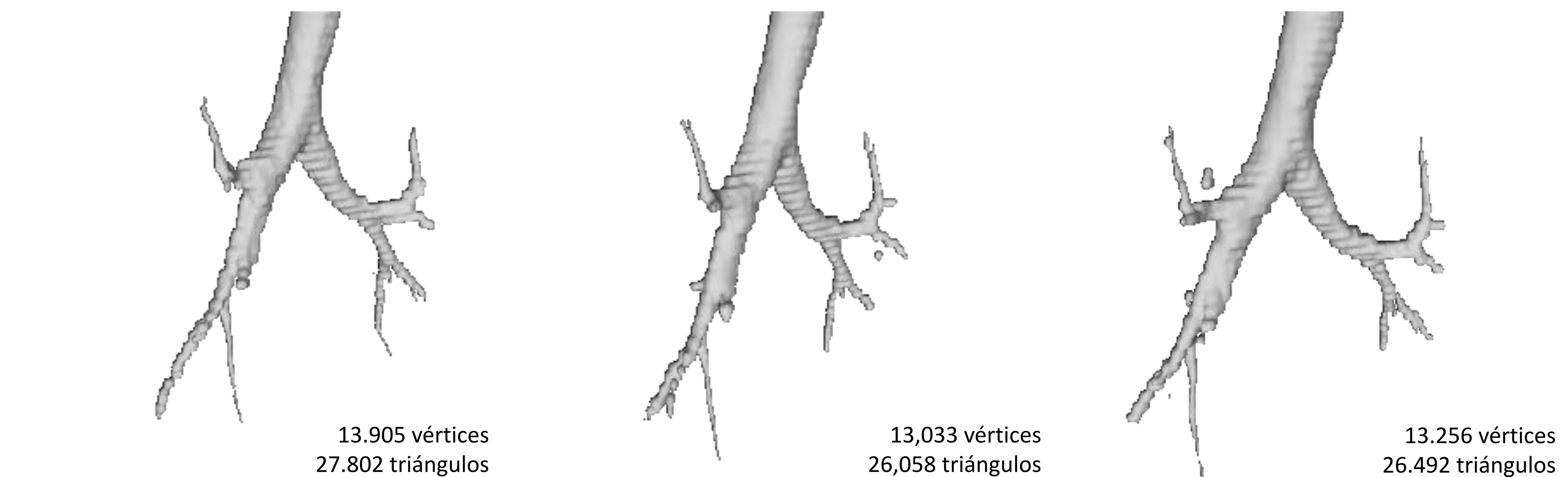
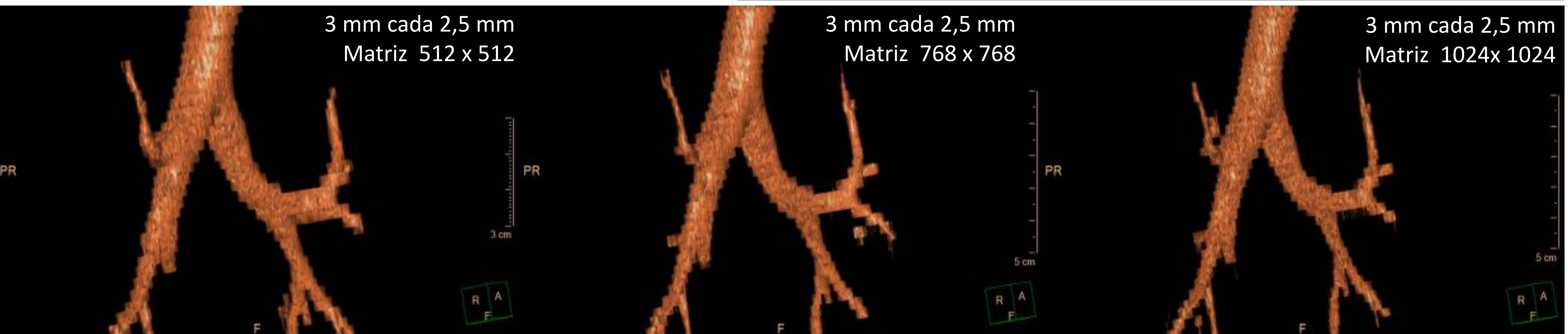
2 Técnica de adquisición dirigida a 3D printing

TC: Importancia de la reconstrucción



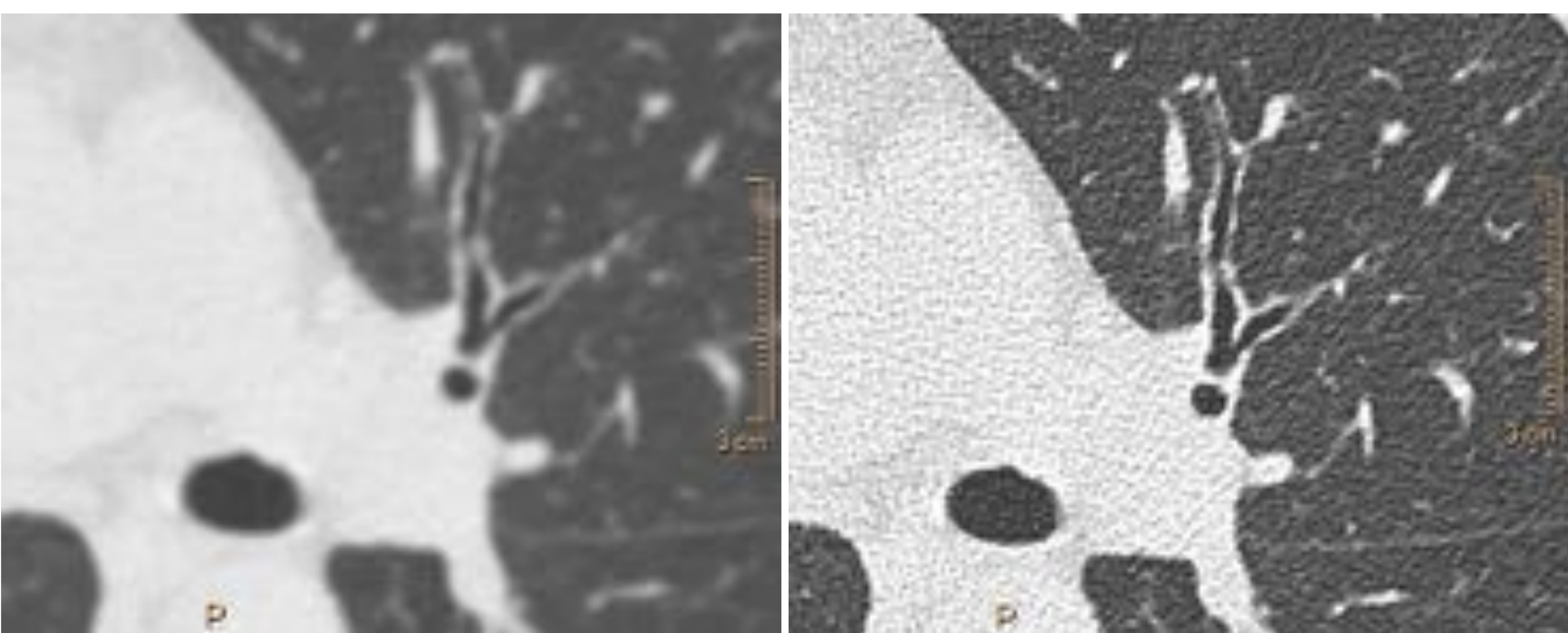
Ejemplo de reconstrucción de vía aérea del mismo paciente utilizando diferentes grosores de corte y matrices reconstrucción. Nótese la diferencia en el número de vértices y triángulos obtenidos.

Cuanto mayor sea la matriz de reconstrucción menor será el tamaño del pixel. Junto con el grosor de corte incrementa nuestra resolución espacial



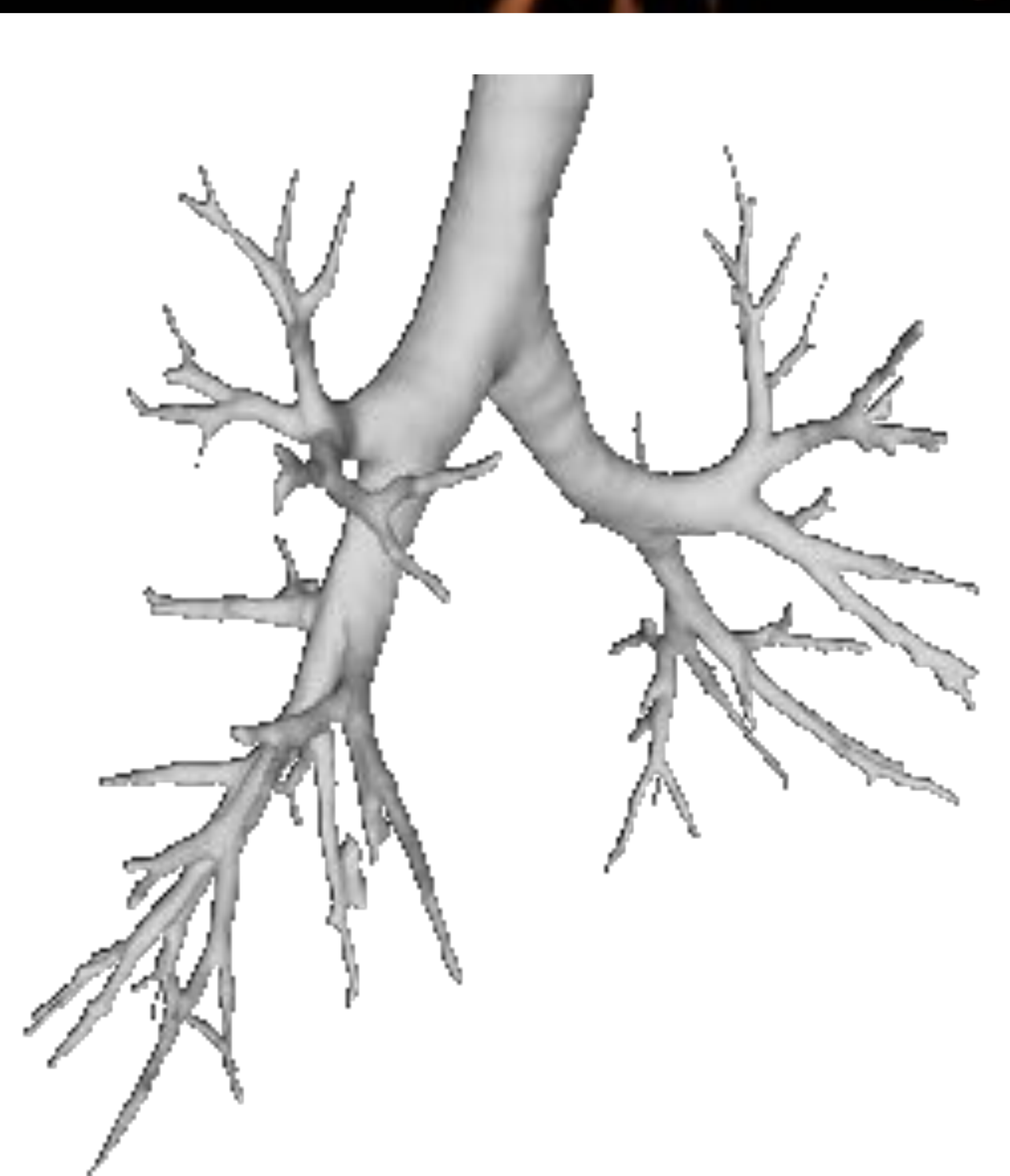
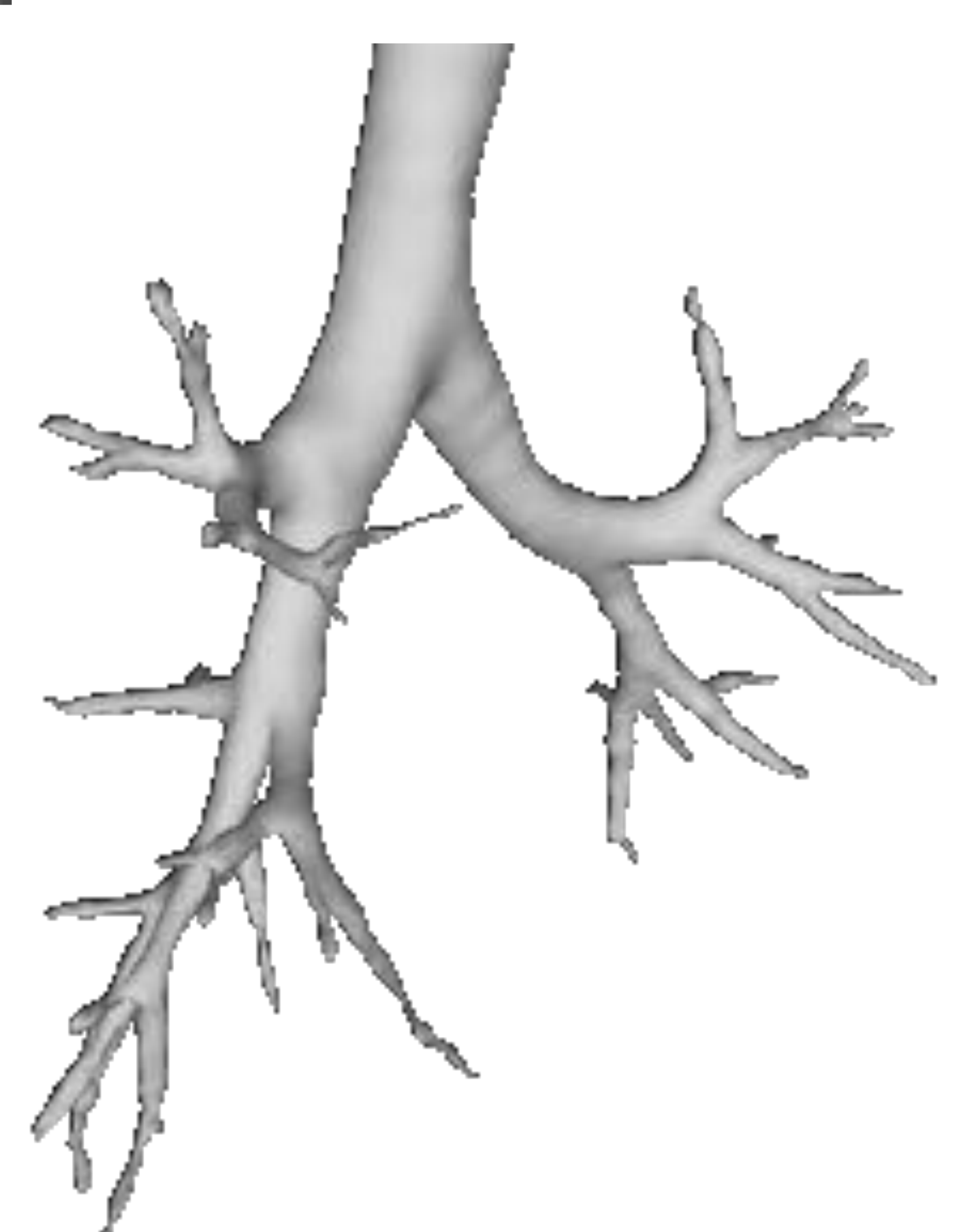
2 Técnica de adquisición dirigida a 3D printing

TC: Reconstrucción de baja y alta frecuencia



Es necesario adecuar el filtro de reconstrucción a la estructura que vayamos a valorar

Filtro de reconstrucción de baja frecuencia



Filtro de reconstrucción de alta frecuencia



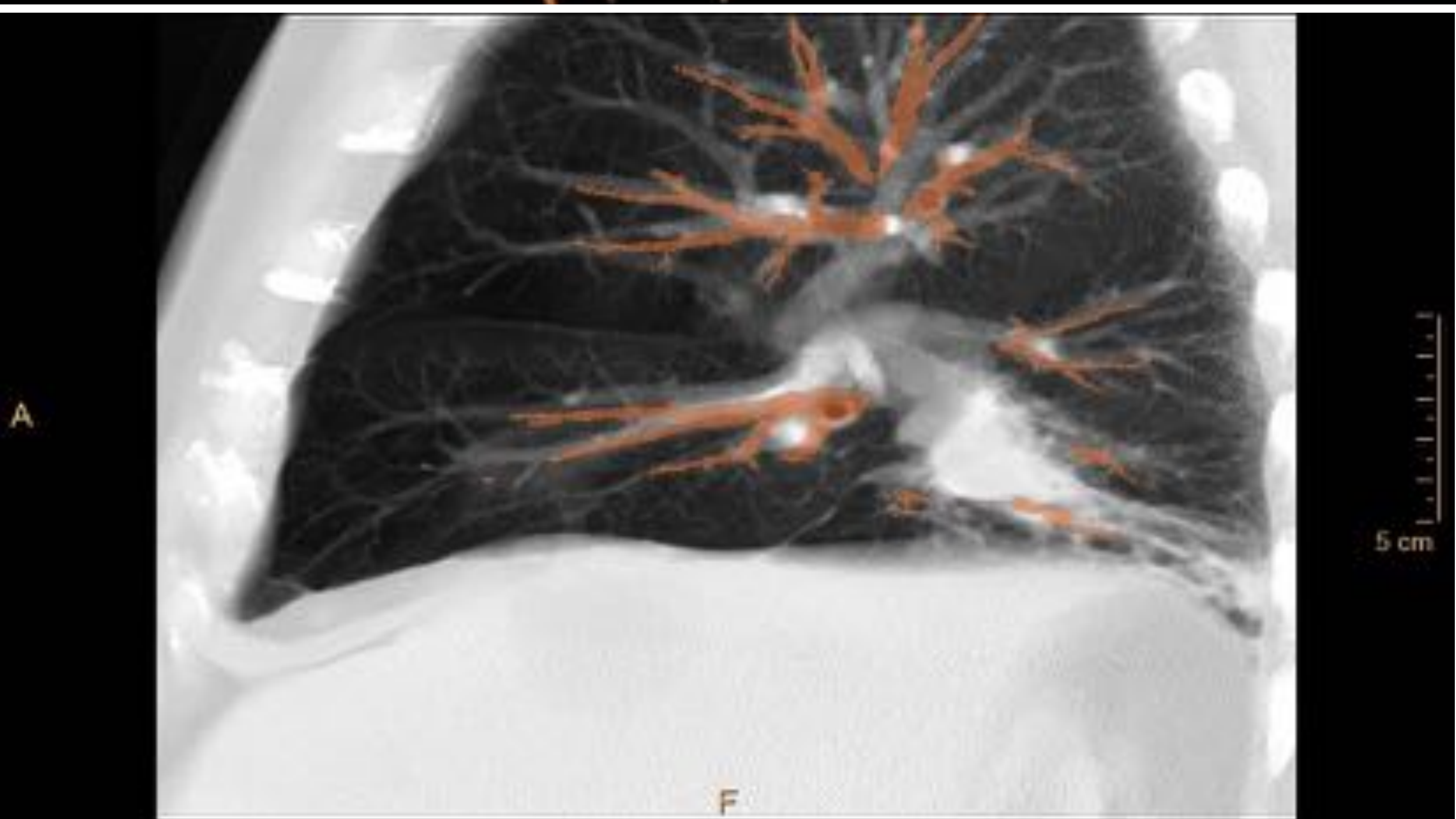
Reconstrucción y segmentación de vía aérea del mismo paciente utilizando un filtro de reconstrucción de baja (no adecuado) y alta (adecuado) frecuencia. Nótese la diferencia en el número de ramificaciones obtenidas.

La optimización previa del filtro de reconstrucción al órgano o lesión a segmentar va permitir incrementar nuestra resolución

2 Técnica de adquisición dirigida a 3D printing

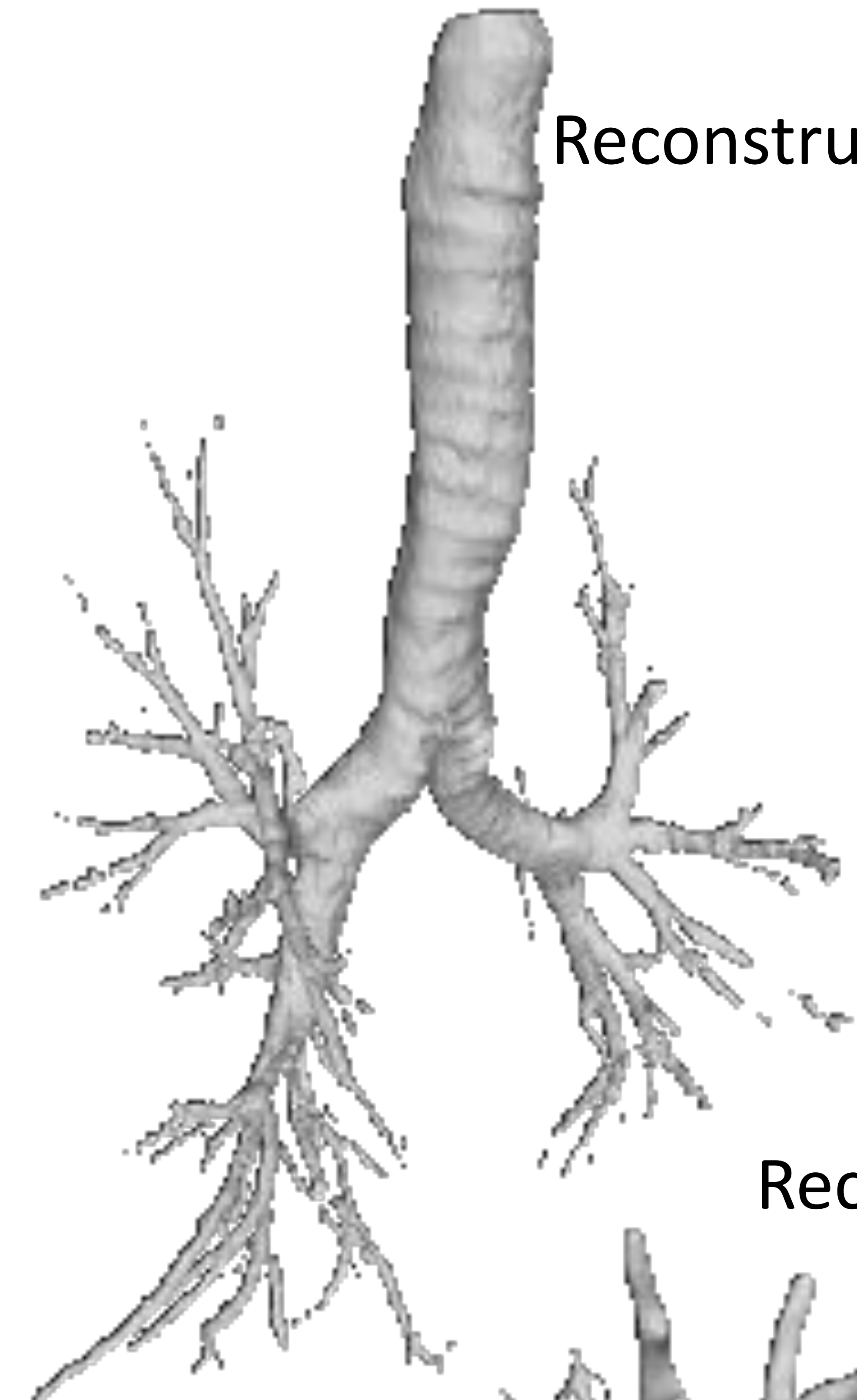
Impacto de FoV y matriz: Reconstrucción dedicada

Reconstrucción todo el tórax

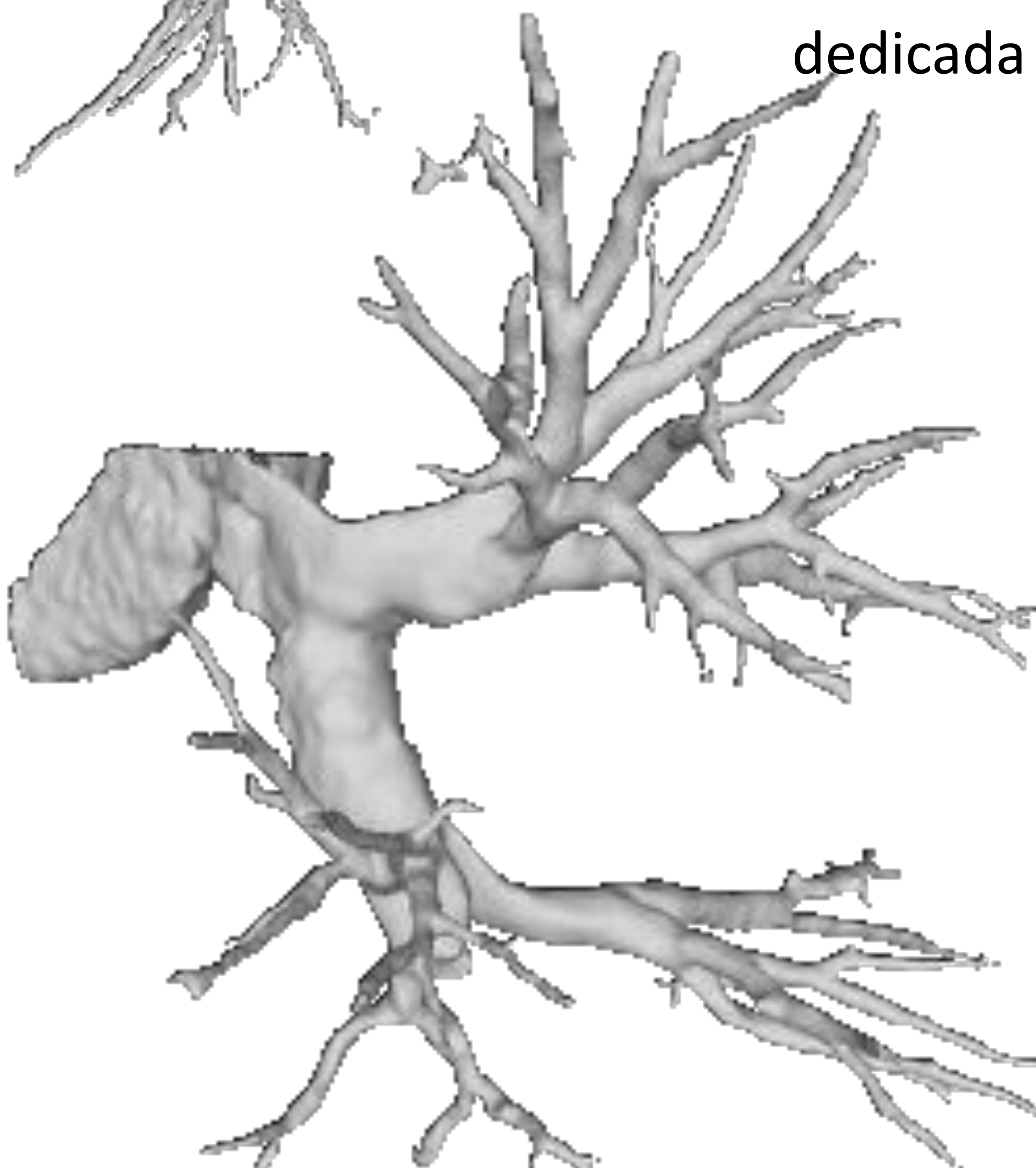


Reconstrucción dedicada

Reconstrucción global



Reconstrucción dedicada

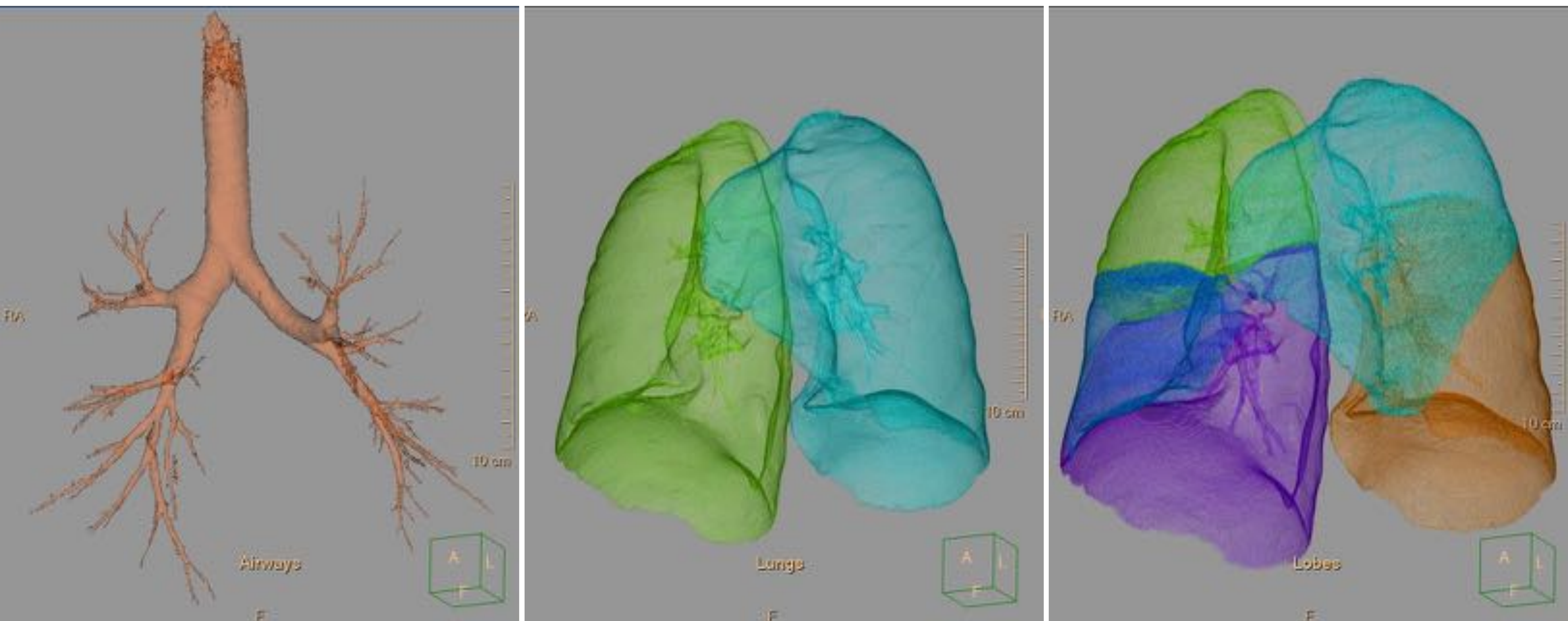


Defecto producido por lesión tumoral primaria pulmonar

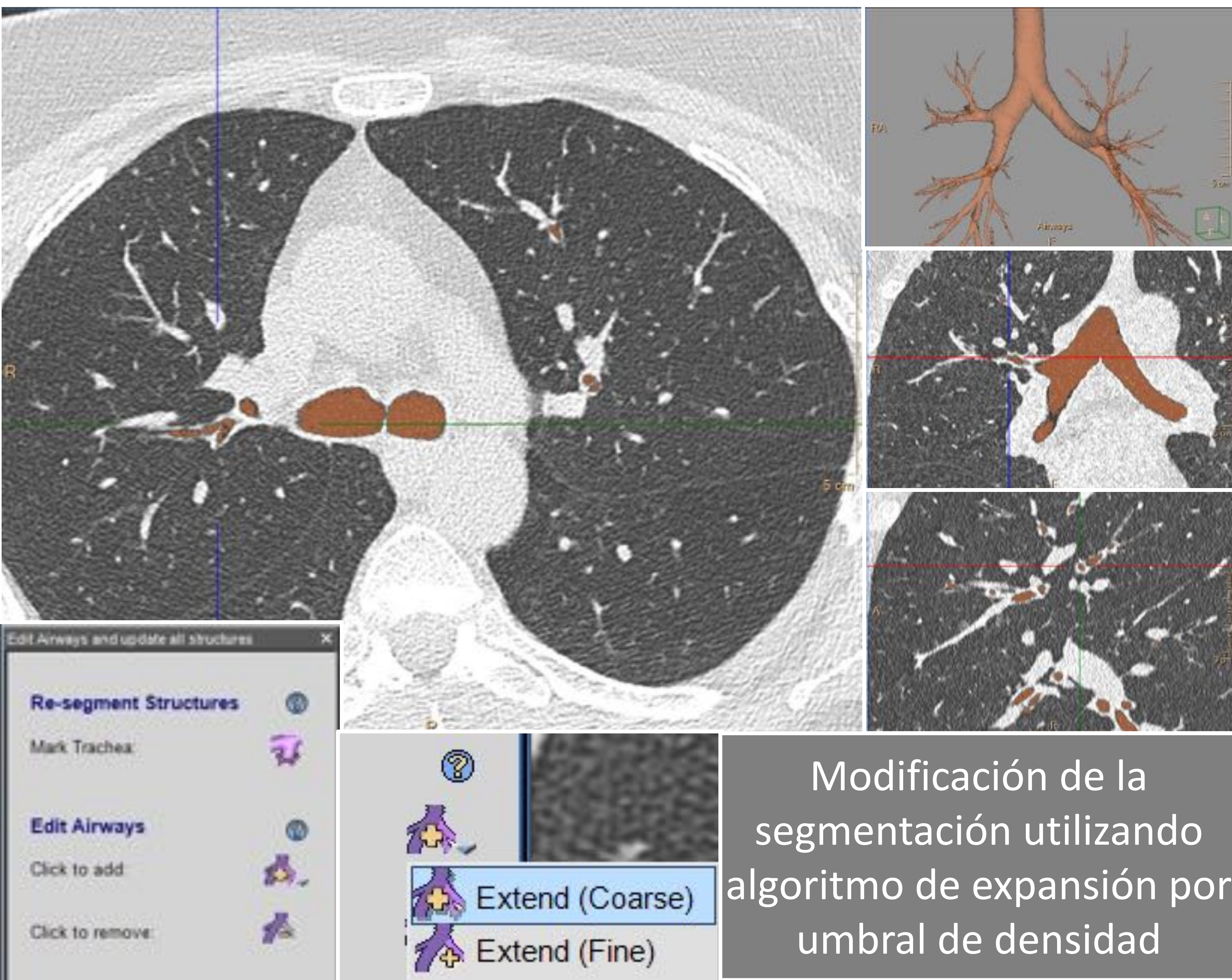
Con reconstrucciones dedicadas optimizamos nuestra matriz de reconstrucción al centrarse en el área de interés -> Obtención de estructuras vasculares y vía aérea de menor tamaño

3 Segmentación y 3D printing

Vía aérea y parénquima pulmonar

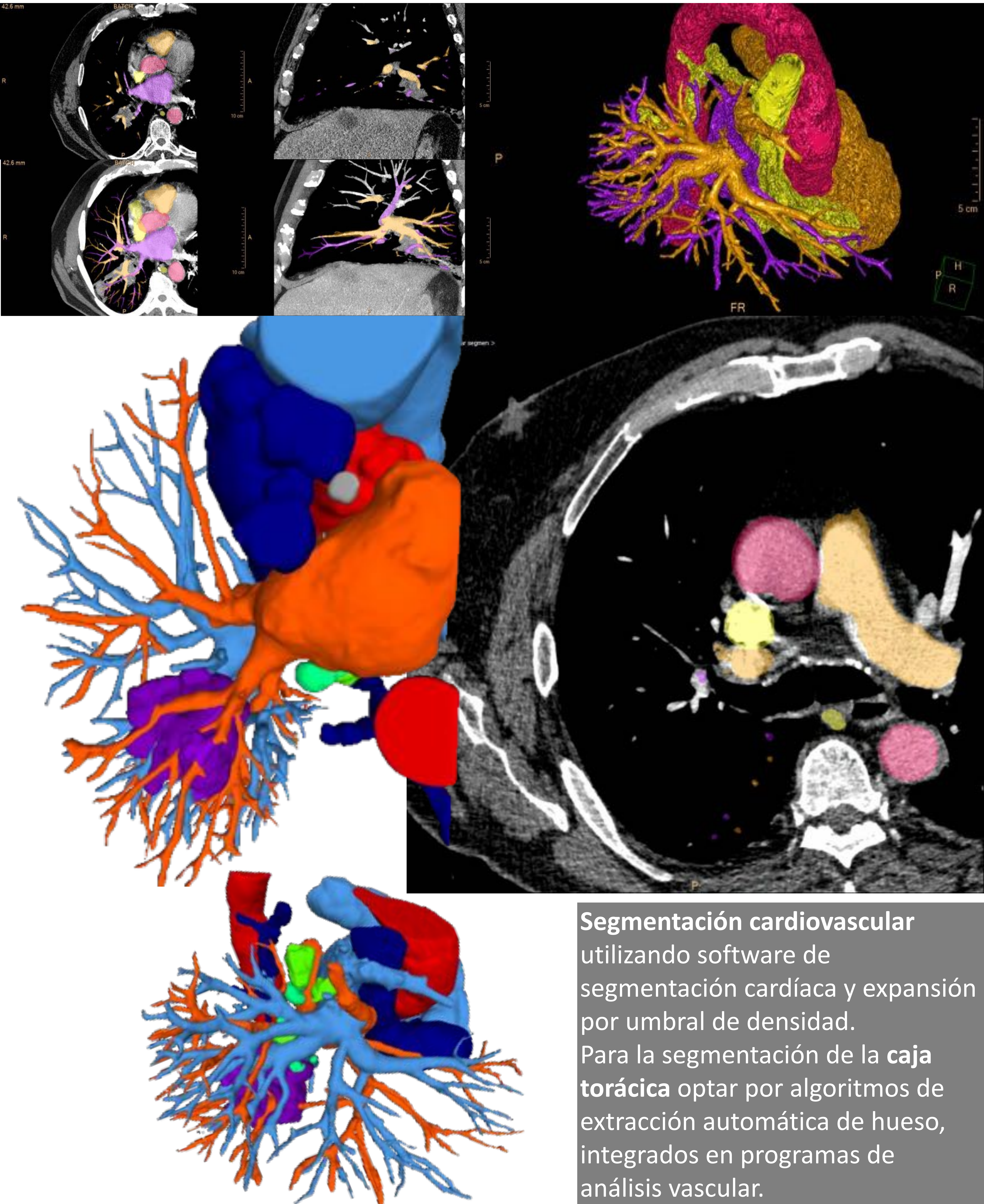


Segmentación semiautomática de vía aérea utilizando programa de valoración de enfisema. Segmentación lobar, pulmonar y de vía aérea en un clic.



3 Técnica de adquisición dirigida a 3D printing

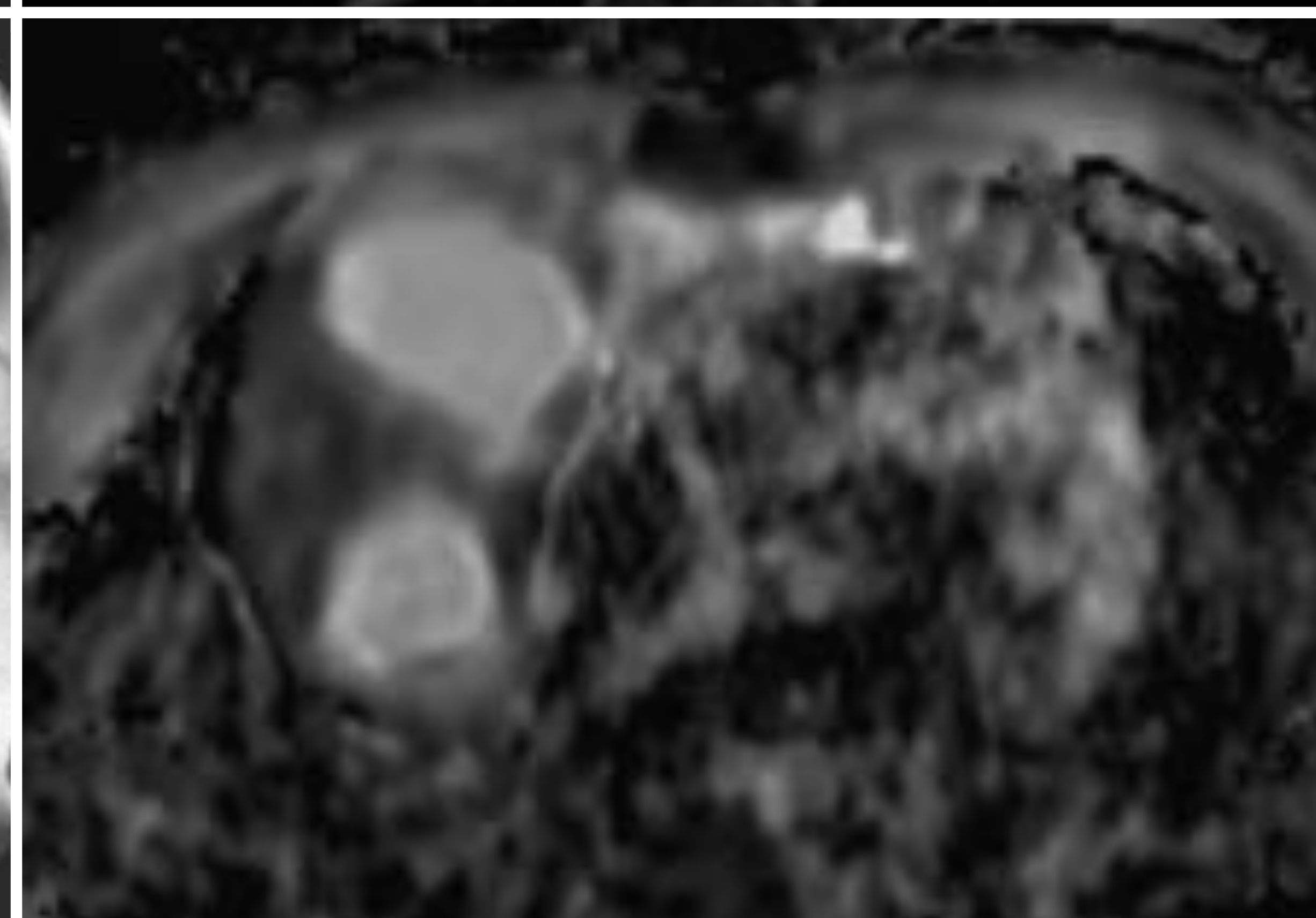
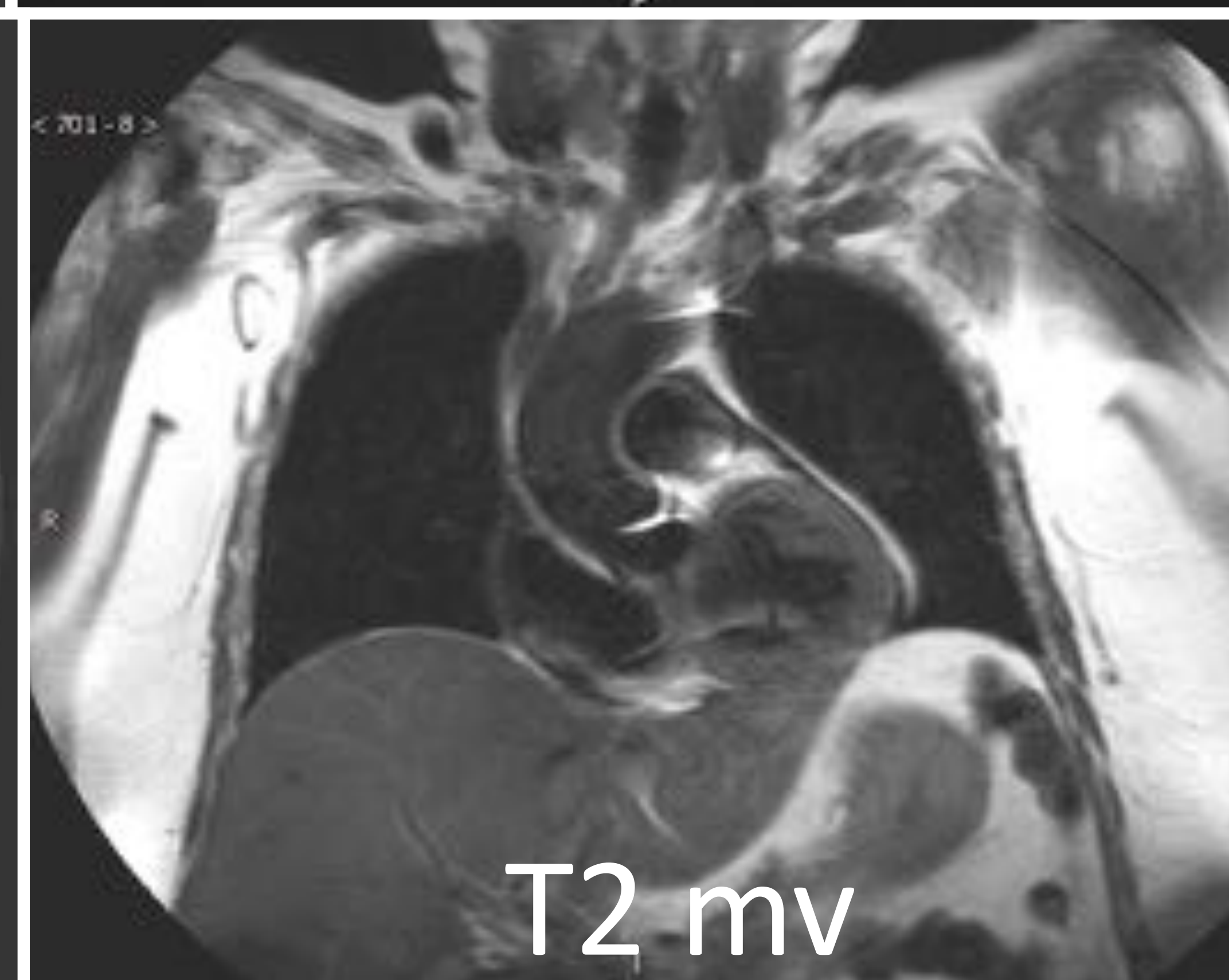
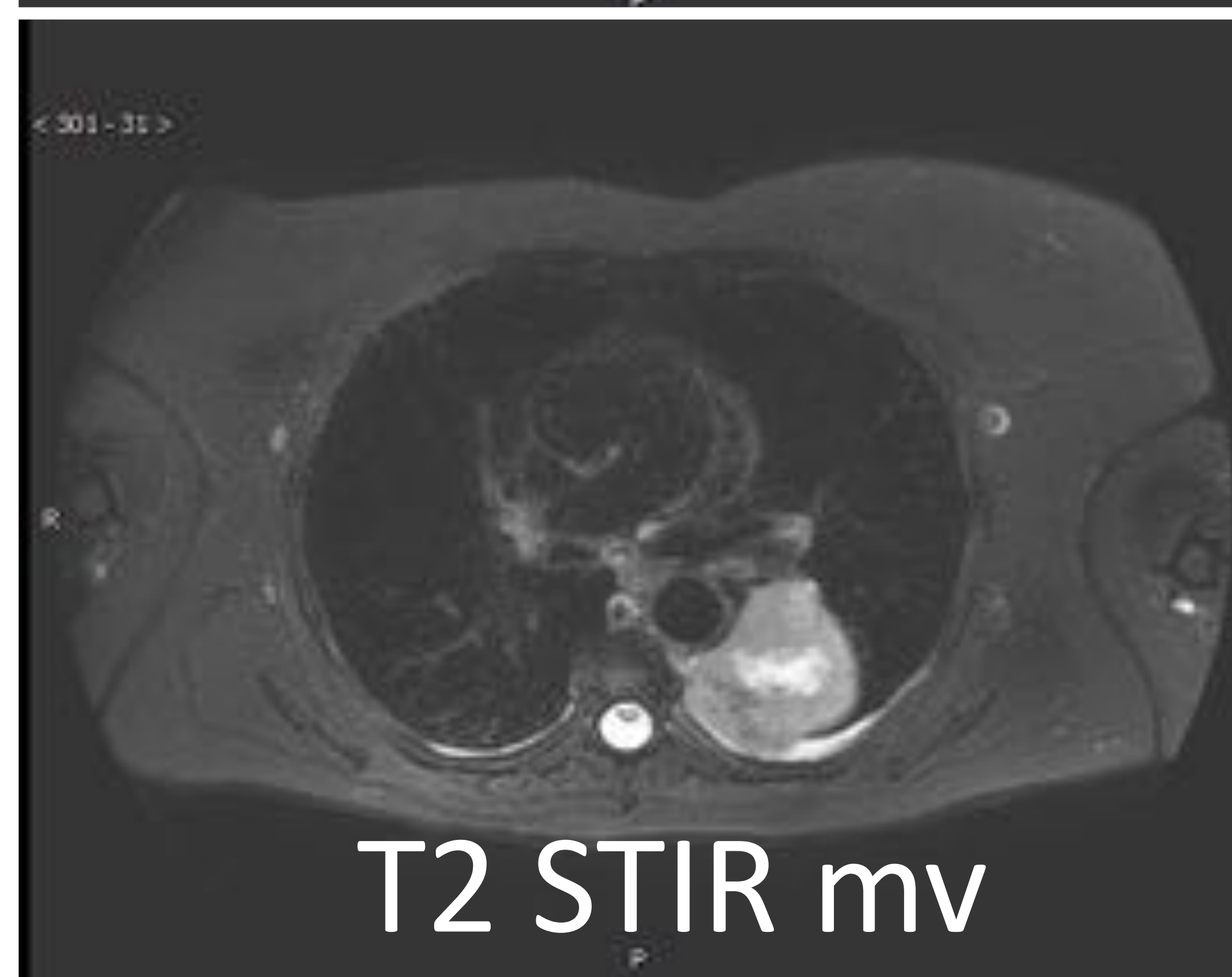
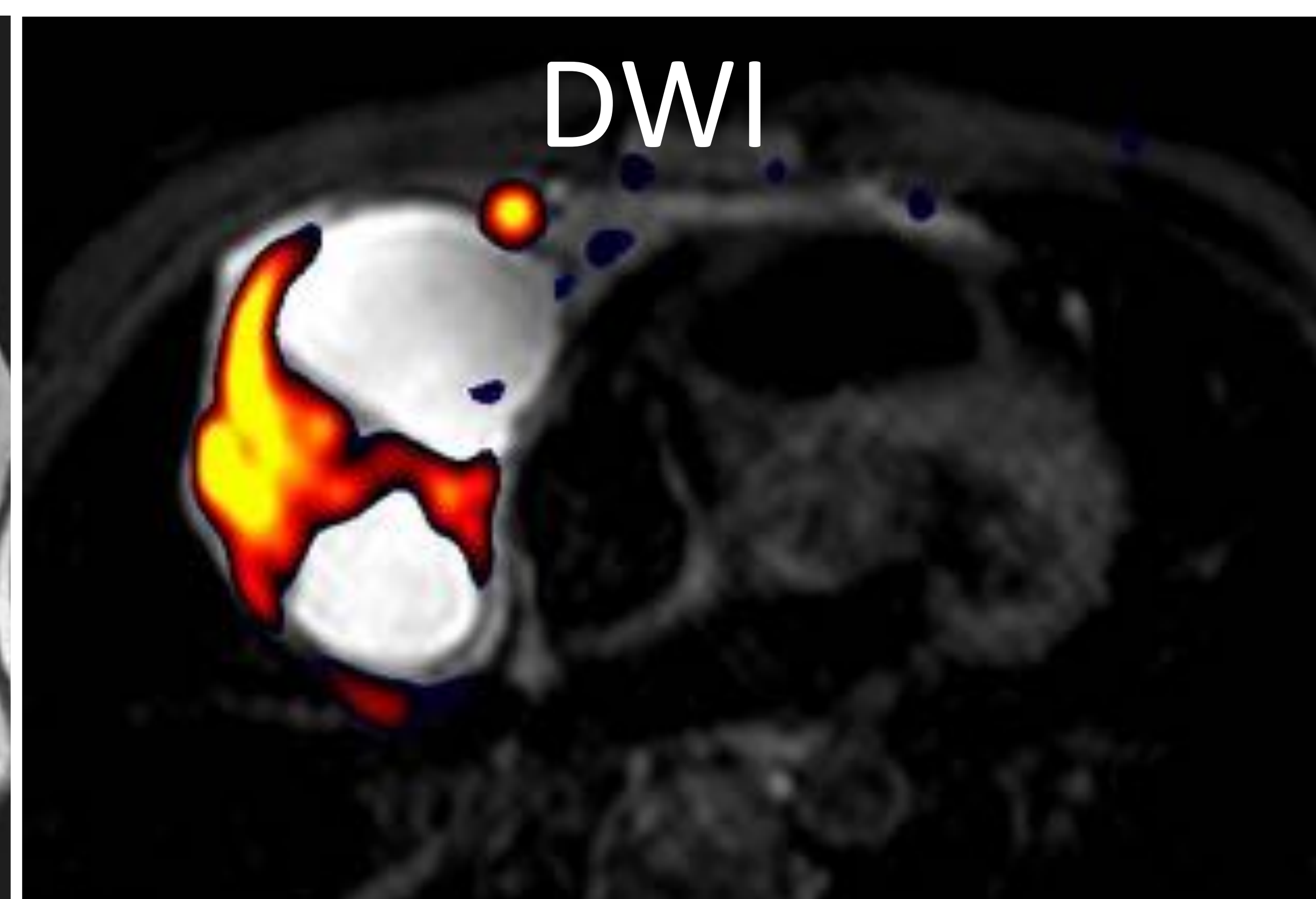
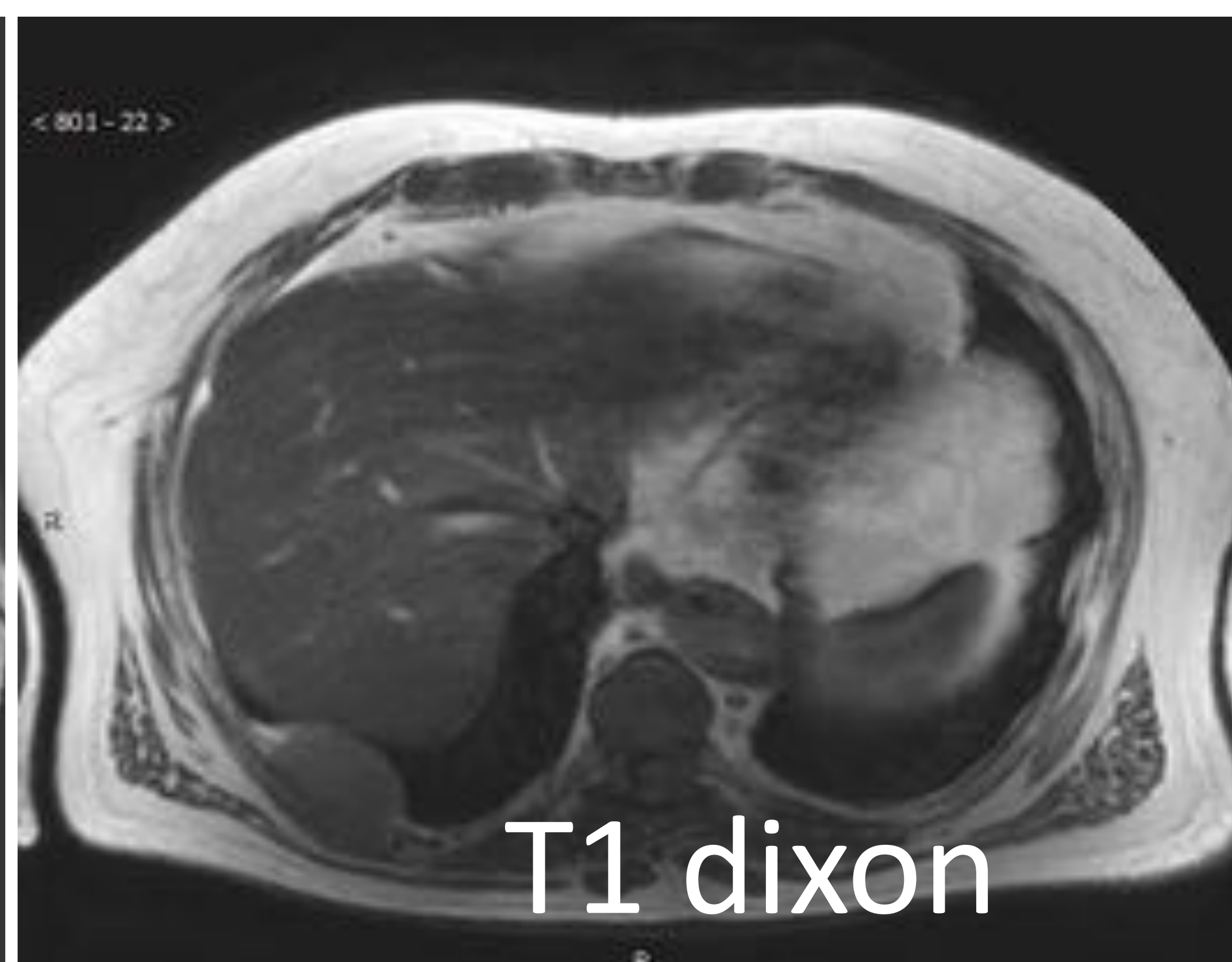
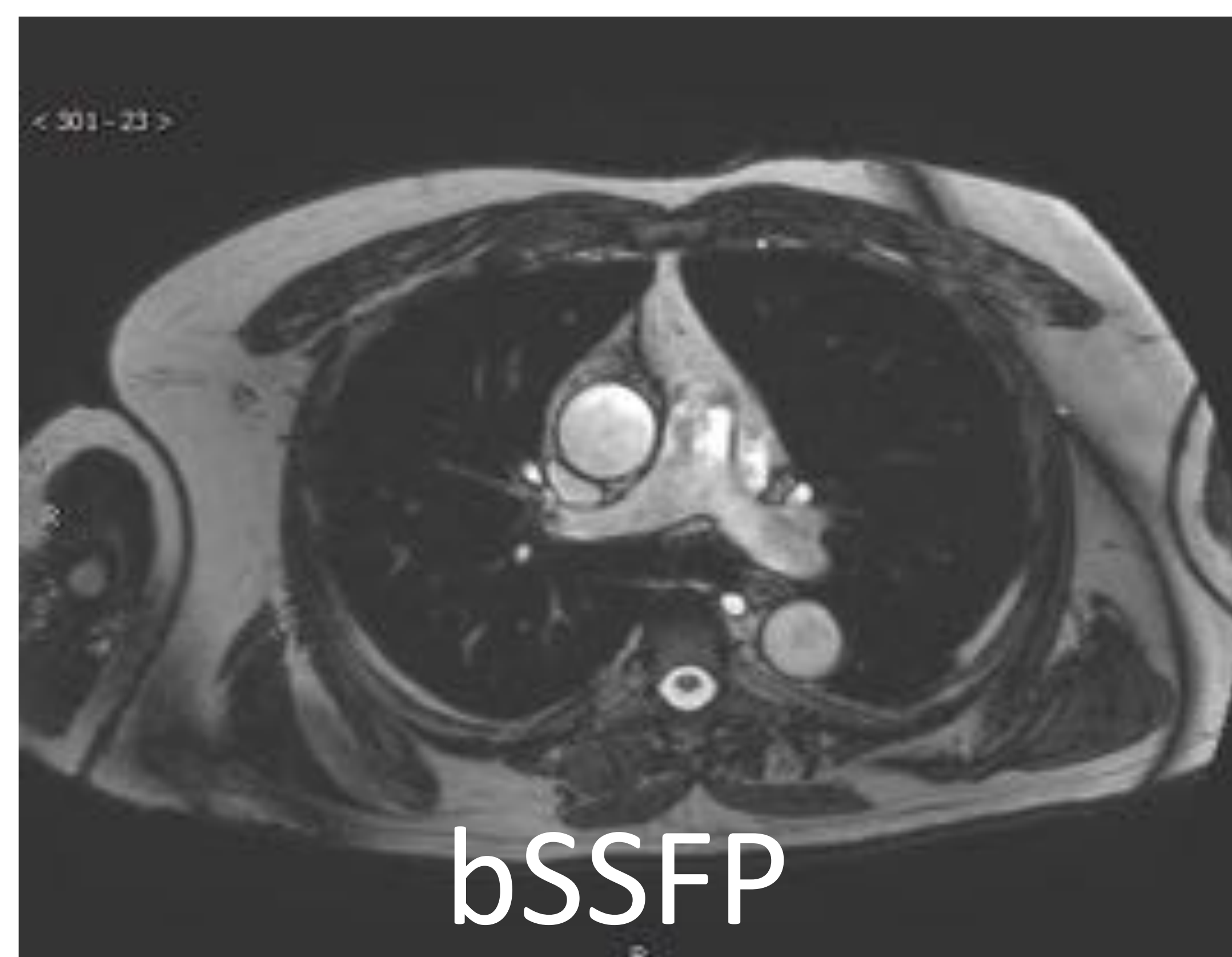
Segmentación cardiovascular y ósea



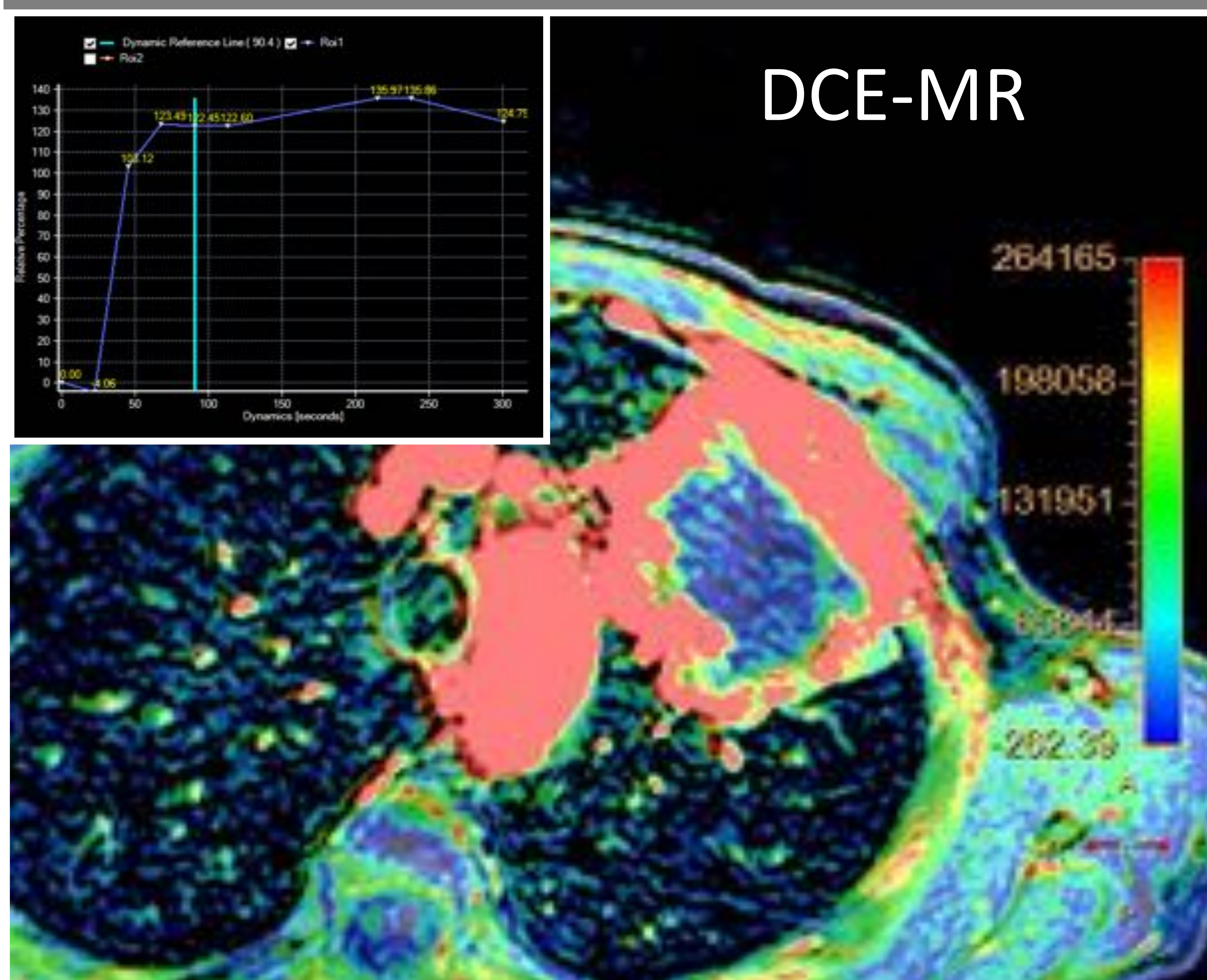
Segmentación cardiovascular utilizando software de segmentación cardíaca y expansión por umbral de densidad. Para la segmentación de la caja torácica optar por algoritmos de extracción automática de hueso, integrados en programas de análisis vascular.

4 RM torácica y 3D printing

Protocolo de adquisición



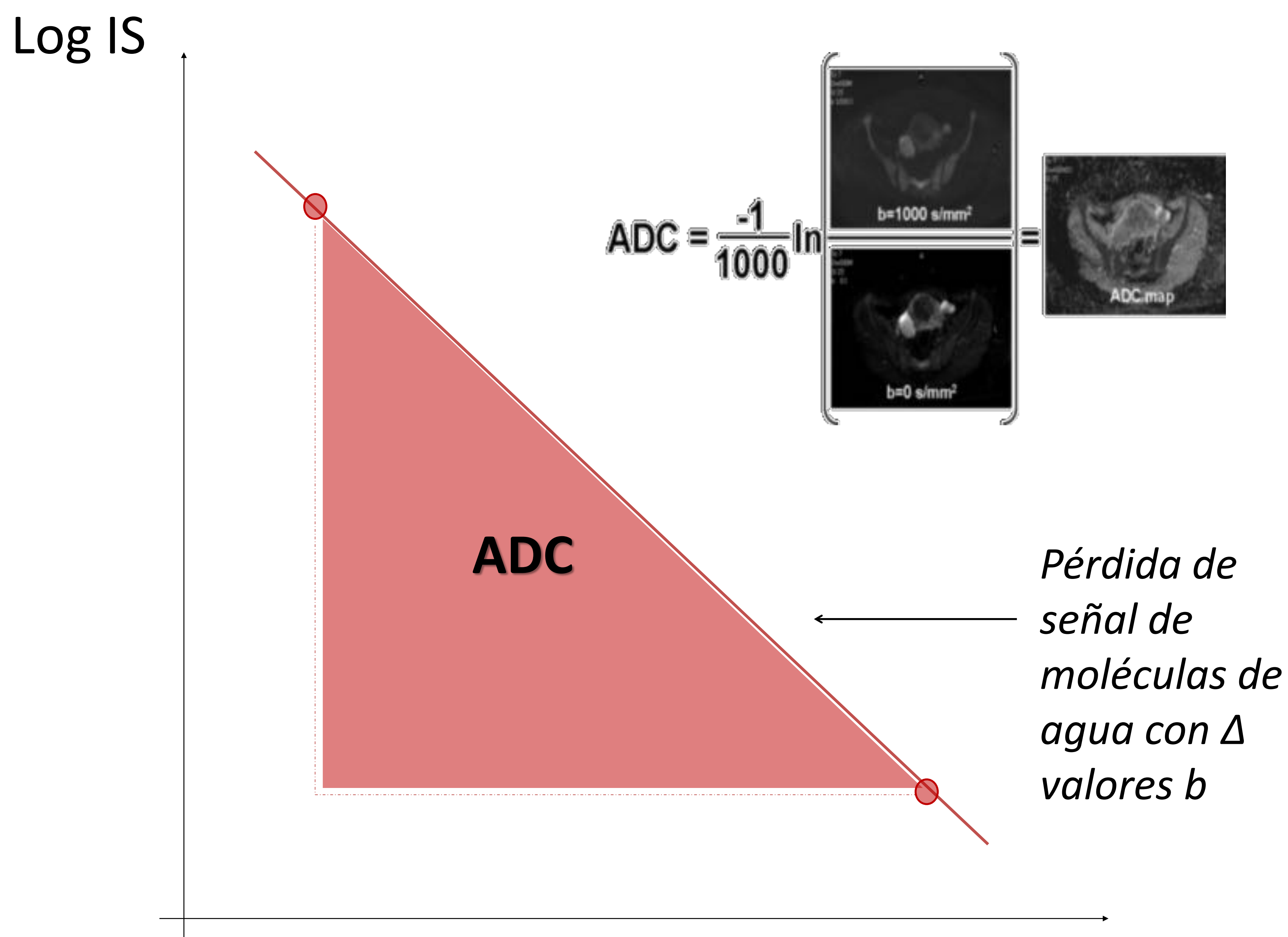
- La RM torácica permite realizar una valoración integral de la patología oncológica torácica
- A un protocolo básico (SSFP, T1, T2 y T2 STIR) se añade difusión (DWI), perfusión (DCE-MR) y secuencias cine para completar la valoración



4 RM torácica y 3D printing

Difusión por RM: Fundamentos y aplicaciones clínicas

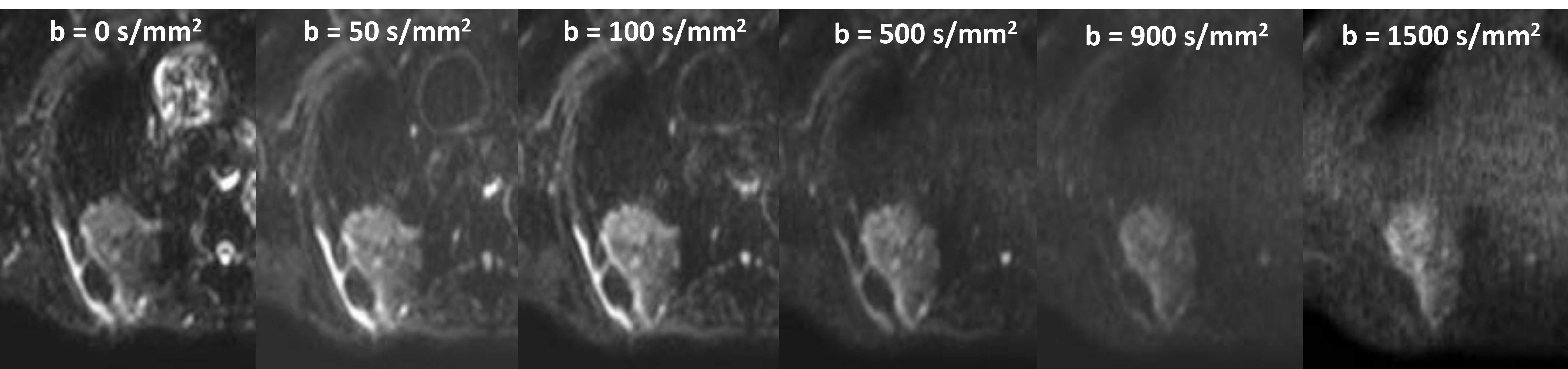
Modelo monoexponencial



DWI evalúa el movimiento browniano de las moléculas de agua en los tejidos (a 37° C) como reflejo de la arquitectura tisular.

| high b value | ADC map | Interpretation |
|--------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| White | Black | Hypercellular tumors. Rarely, liquid or viscous abscess or blood products |
| White | White | T2 shine – through liquefactive necrosis |
| Black | White | Fluid, necrosis, low cellularity lesions, well differentiated adenocarcinomas |
| Black | Black | Fibromuscular tissues, fat, susceptibility artifacts (T2 "black out" effect) |
| White | Grey | Mature fibrosis with lower water content |

Modelo biexponencial

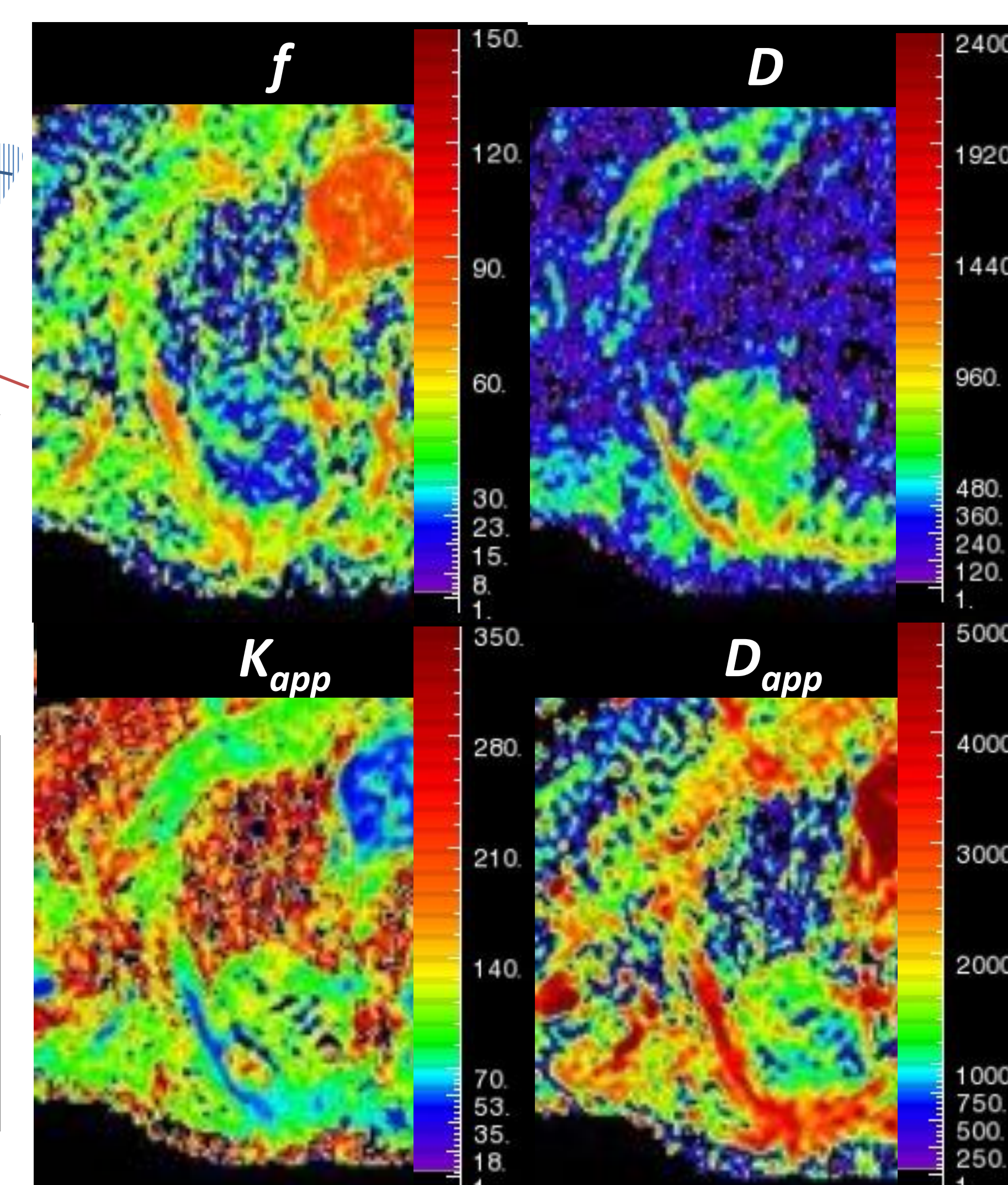
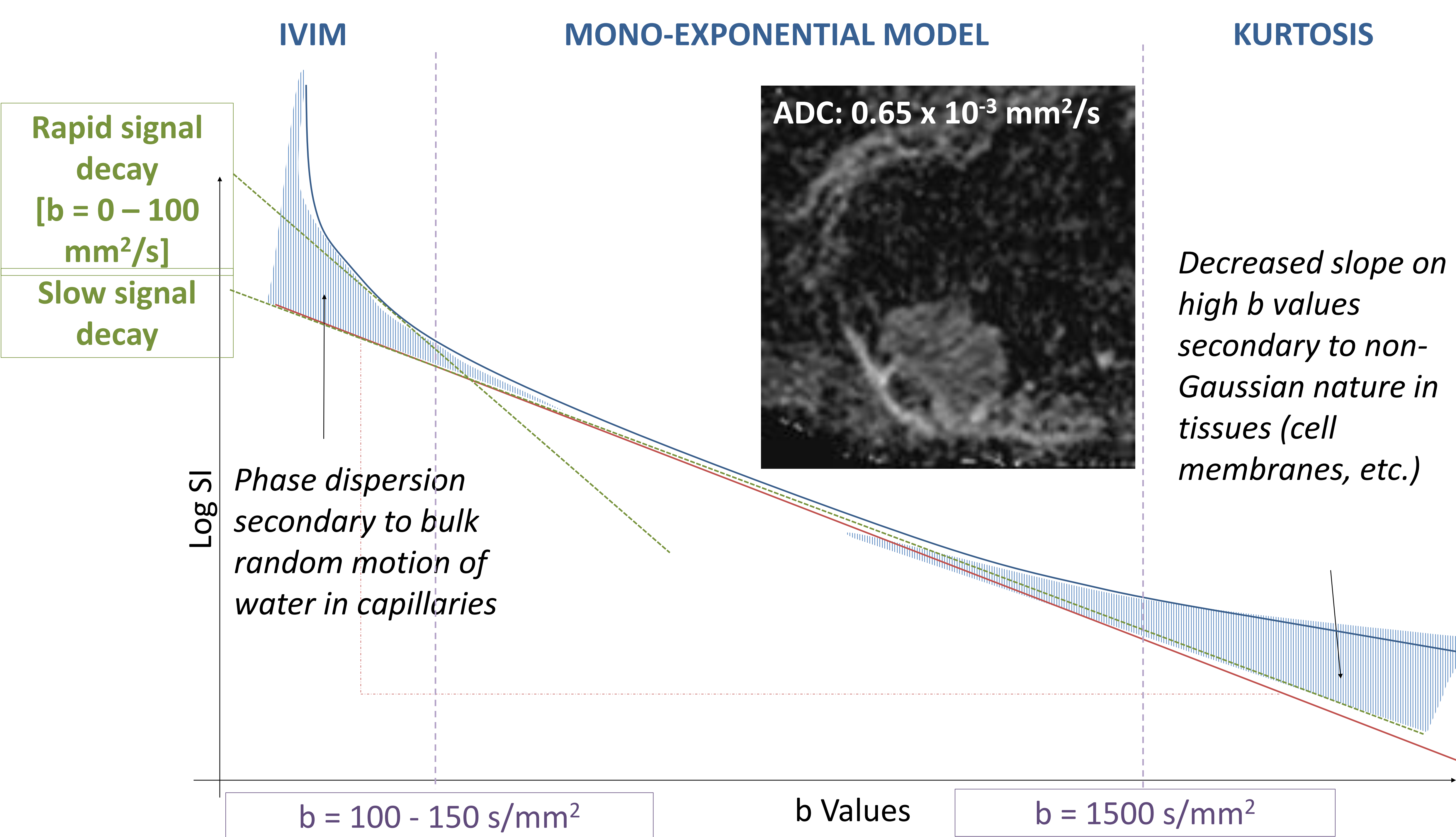


Parámetros IVIM

- D** Difusión real de las moléculas H₂O no influenciada por el movimiento de las moléculas de agua en los capilares.
- f** Contribución de la perfusión a la señal de difusión;: volumen fraccional de las moléculas de H₂O en los capilares
- D*** Contribución de la perfusión a la caída de la señal

Parámetros DKI

- D_{app}** Estimación del coeficiente de difusión paralelo a los gradientes de difusión.
- K_{app}** Desviación de la difusión real del patrón Gaussiano de caída de la señal de DWI

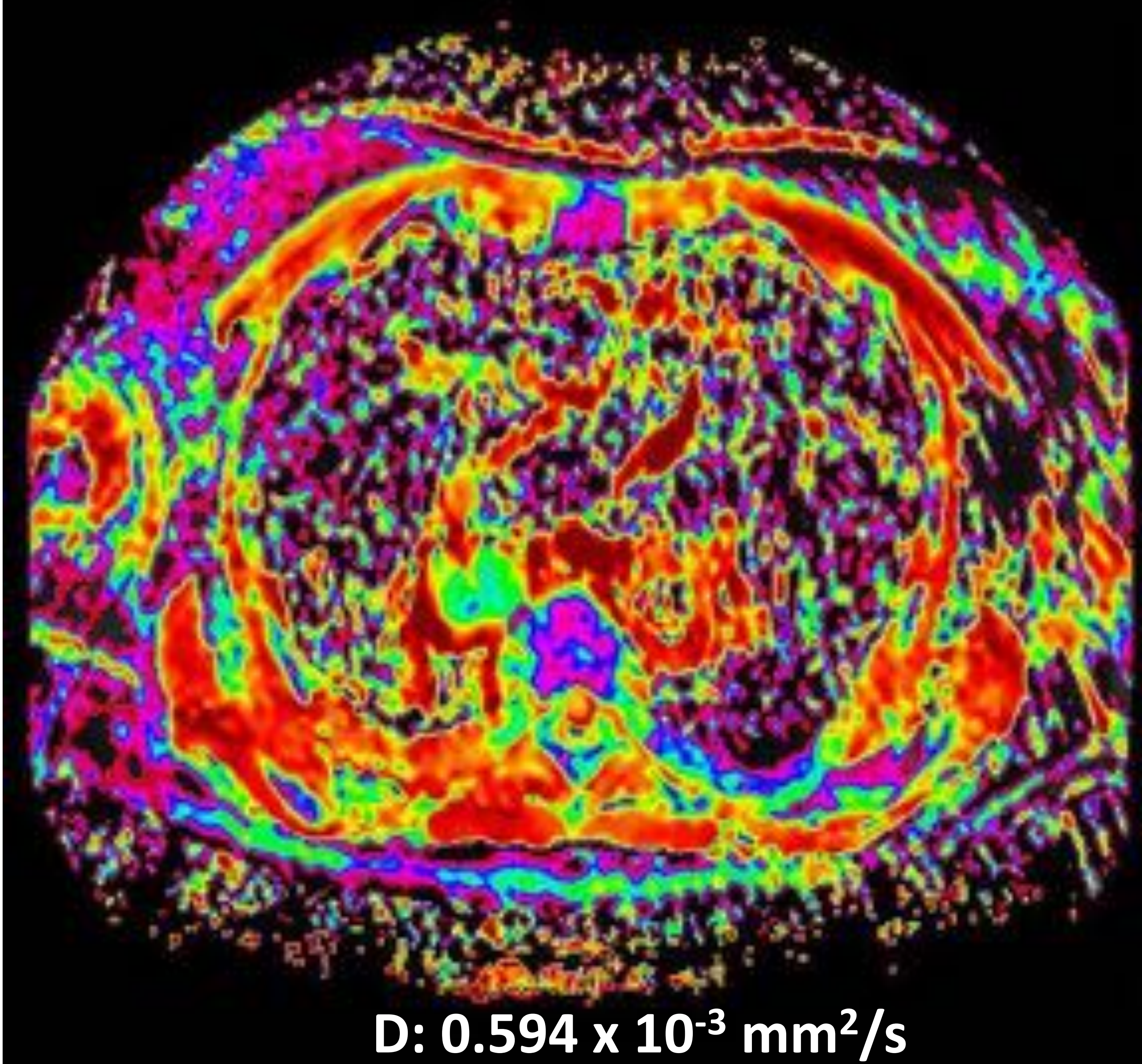


El modelo biexponencial ha mostrado mayor correspondencia con la difusión real de los tejidos, especialmente en órganos vascularizados (riñón, hígado, etc.).

4 RM torácica y 3D printing

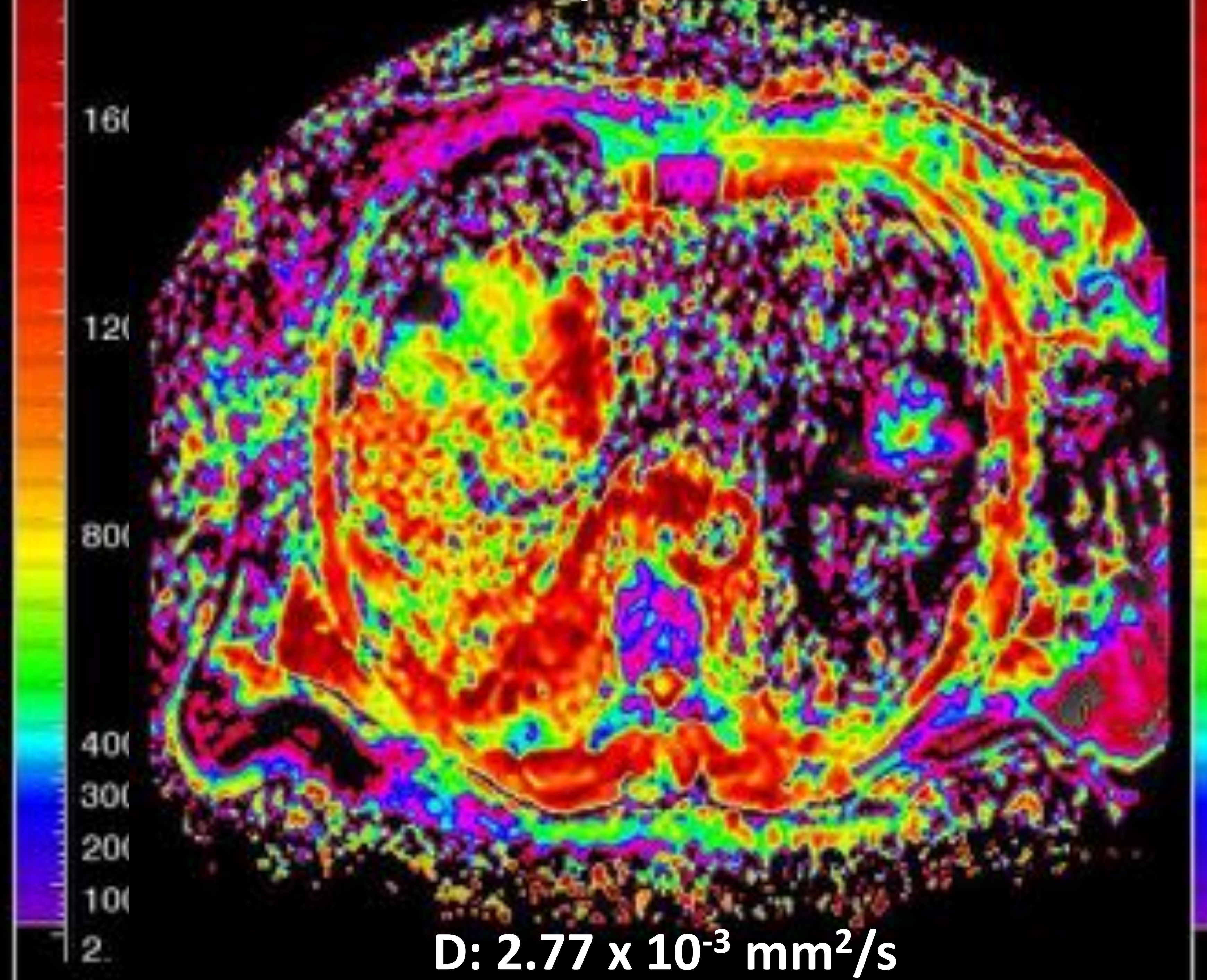
Difusión por RM: Fundamentos y aplicaciones clínicas

Tumor central



D: $0.594 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

Neumonitis post-obstrutiva



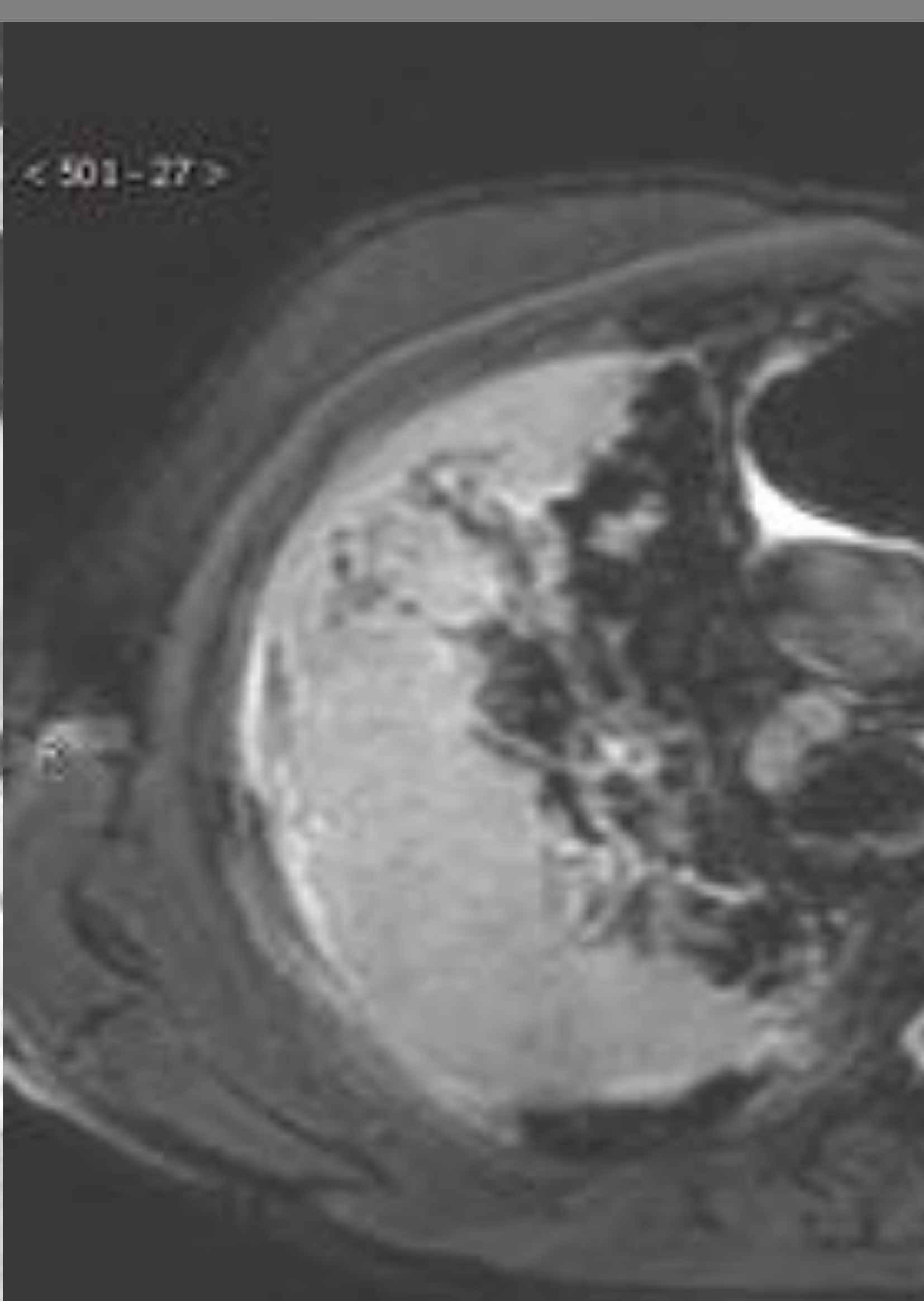
D: $2.77 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$

- La DWI es excelente en la diferenciación entre lesiones malignas (restrictivas) y benignas.
- Permite diferenciar el tumor central respecto a la neumonitis post-obstrutiva (importancia en tto radioterápico)

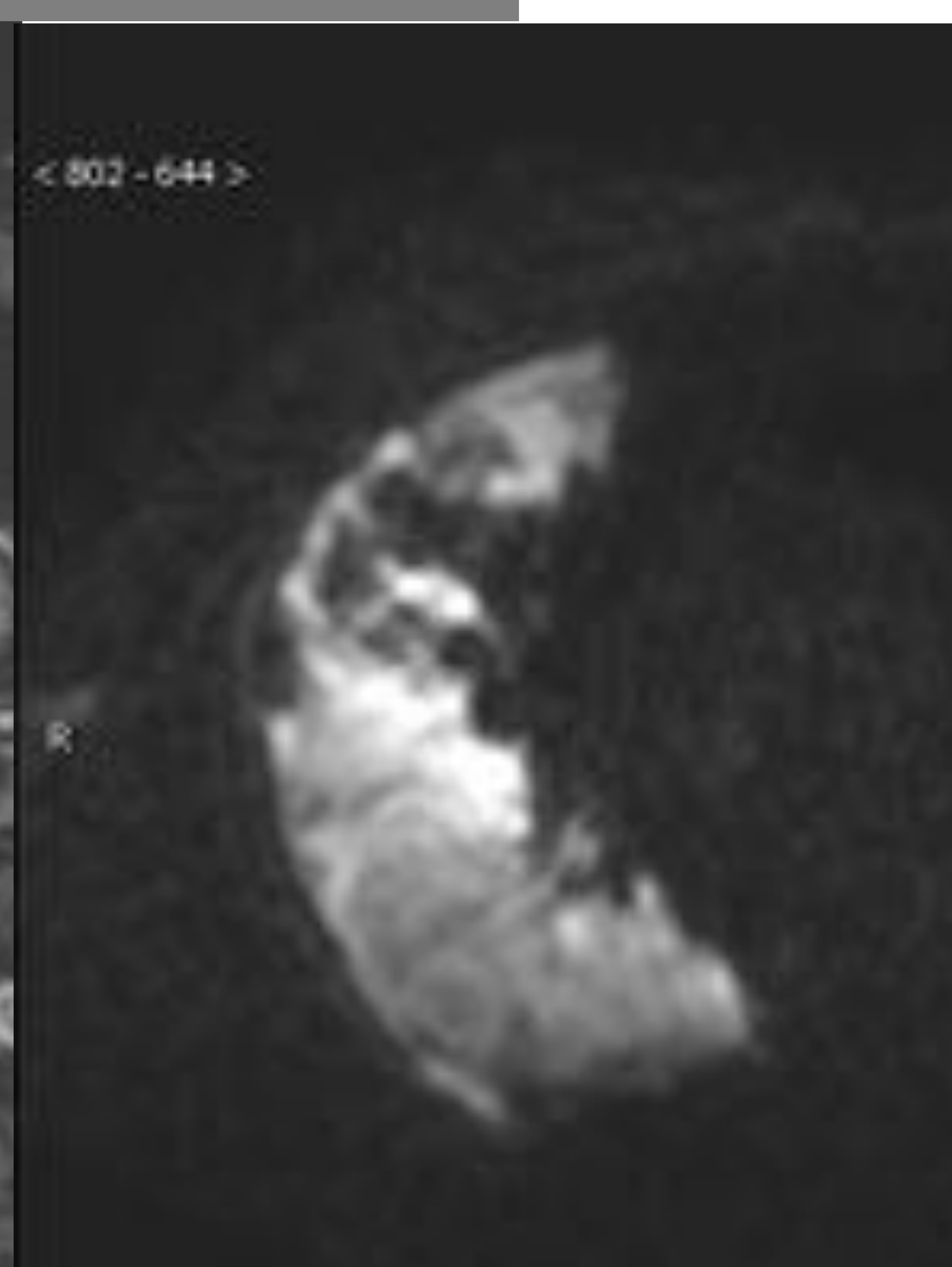
Paciente con **adenocarcinoma de pulmón central T3N2M0**, restrictivo (D: $0,594 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) y neumonitis post-obstrutiva periférica, no restrictiva (D: $2,77 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$)



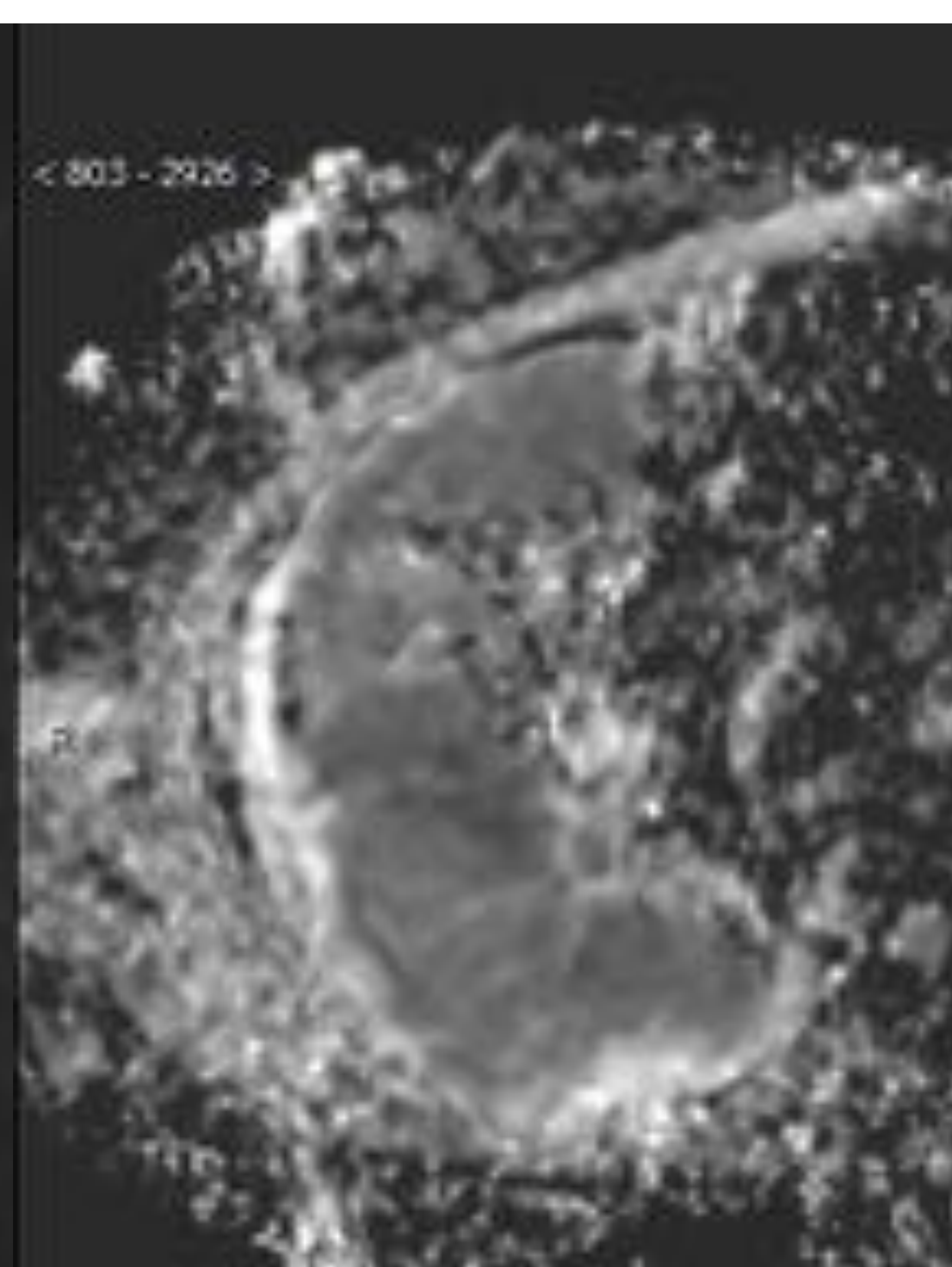
TAC



STIR



b = 1000 mm^2



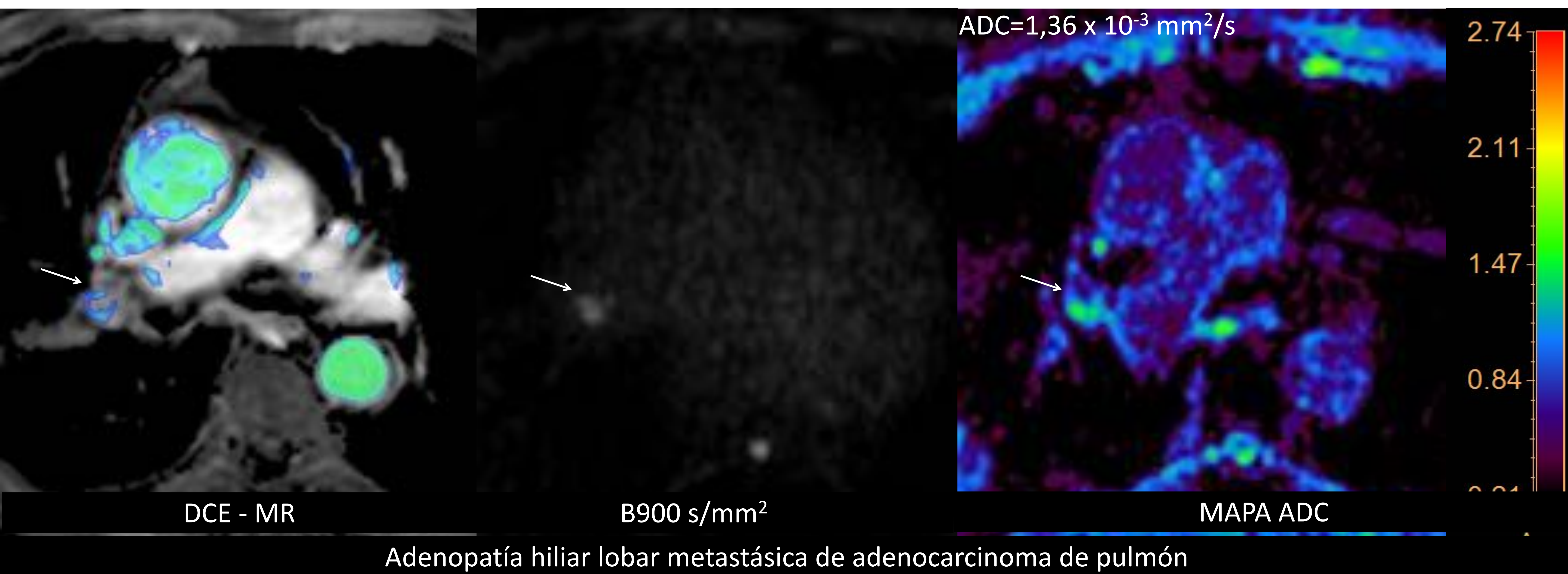
Mapa ADC

Paciente con consolidación periférica, lobar con menor broncograma aéreo del esperable. Síndrome constitucional. RM torácica muestra una consolidación con comportamiento restrictivo. **Adenocarcinoma mucinoso.**

- Gran utilidad en la diferenciación de consolidaciones pulmonares
- Excelente en la evaluación de invasión locorregional, agresividad tumoral y monitorización de respuesta

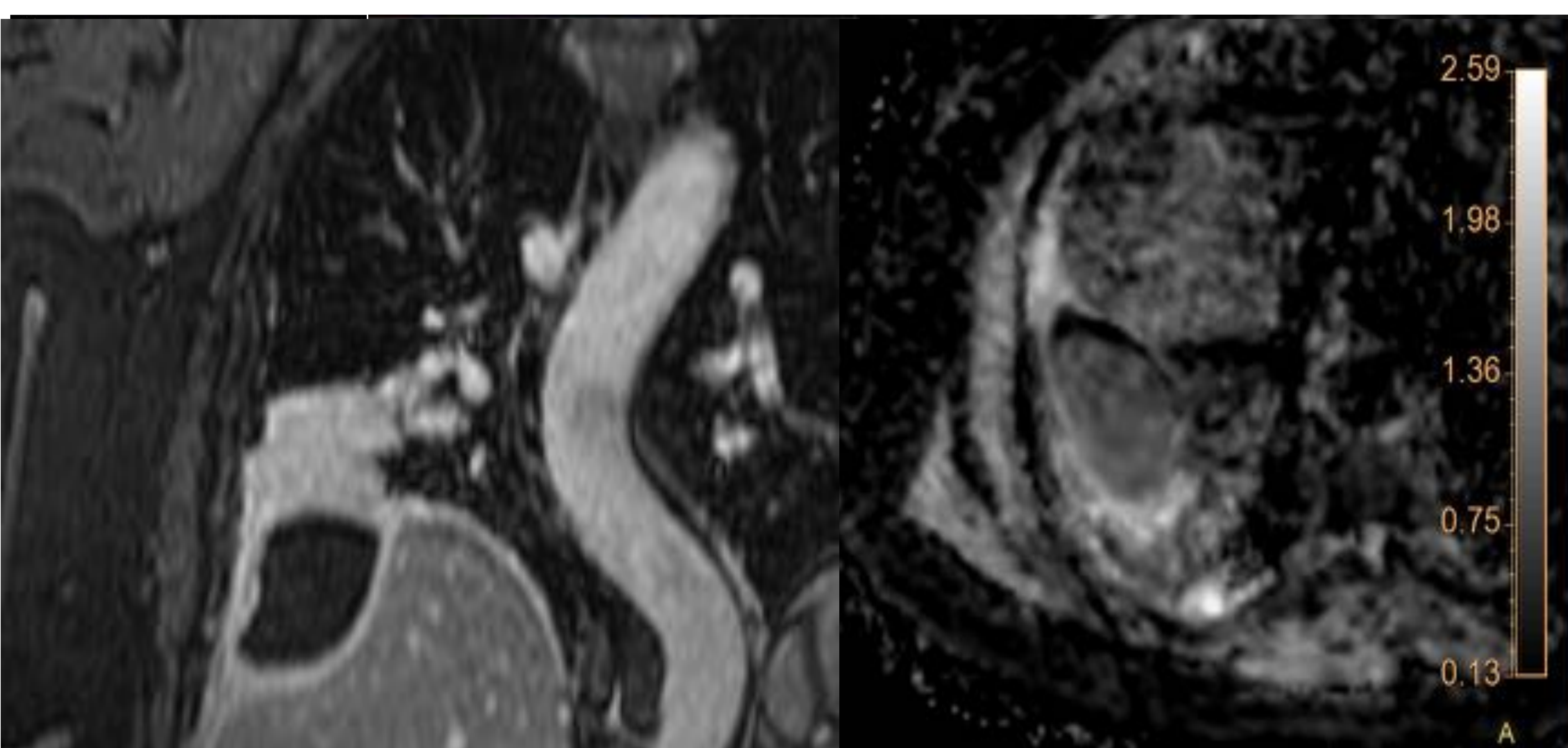
4 RM torácica y 3D printing

Difusión por RM: Fundamentos y aplicaciones clínicas



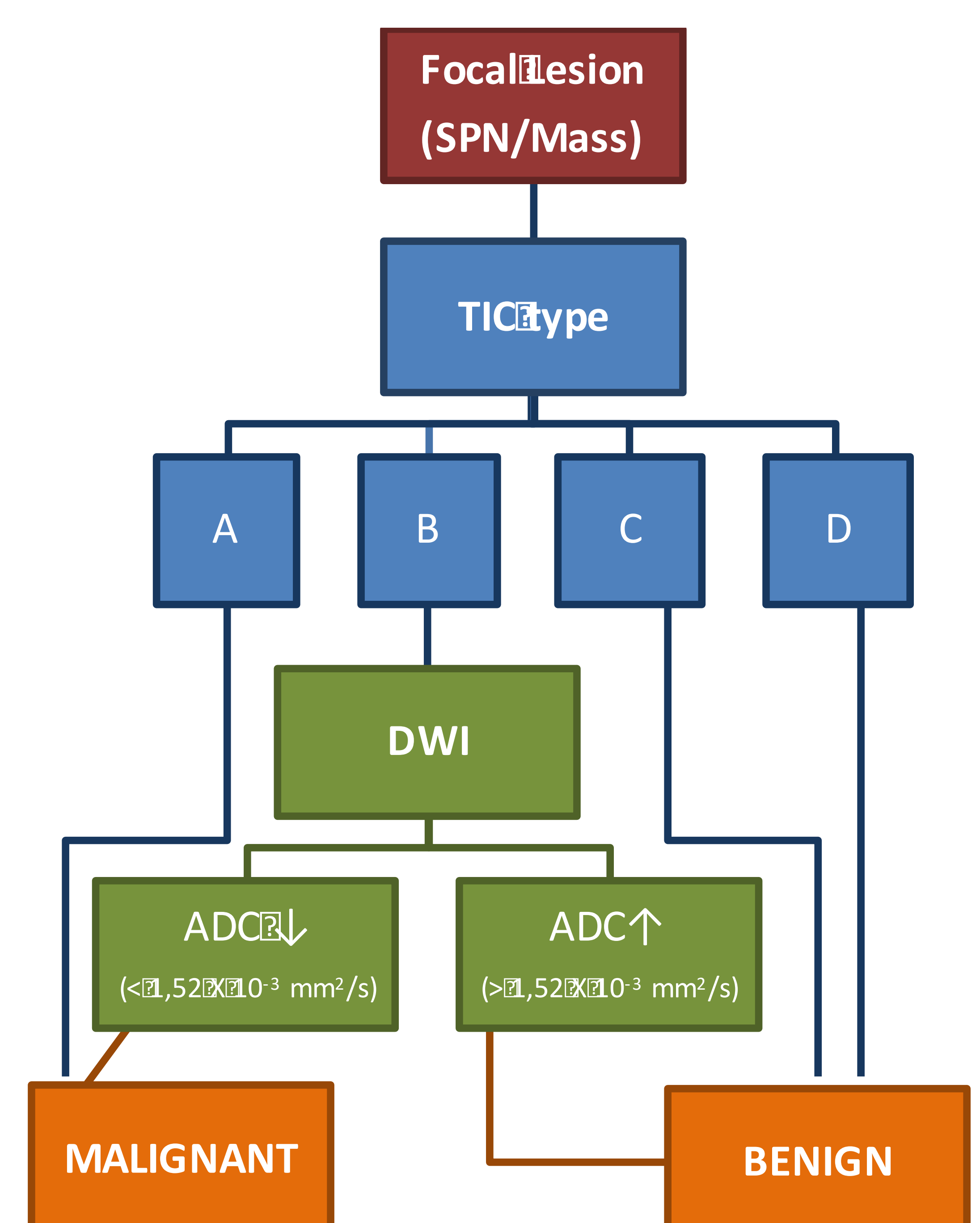
Technical parameters of DWI on 1.5 Tesla and 3 Tesla MRI scans.

| | DWI 1.5 Tesla | DWI 3 Tesla |
|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| FoV | 375 x 375 | 240 x 240 |
| Matrix | 288 x 136 | 133 x 240 |
| Voxel size (mm ³) | 2.60 x 2.84 X 8 | 2.61 x 2.55 x 10 |
| EPI /Turbo factor | 57/57 | 45/67 |
| TR/TE (ms) | 2250/96 | 1000/43 ms |
| Flip Angle | 90° | 90° |
| Fat saturation (IR) | Selective (SPAIR) | Selective (SPAIR) |
| Parallel imaging | SENSE x2 | SENSE x2 |
| Number of repetitions | 2 | 2 |
| Bandwith (kHz) | 14.330 | 17.158 |
| Respiratory trigger | Navigation | Navigation |
| B values | 0, 50, 100, 500, 1000 s/mm ² | 0, 50, 100, 500, 1000 s/mm ² |



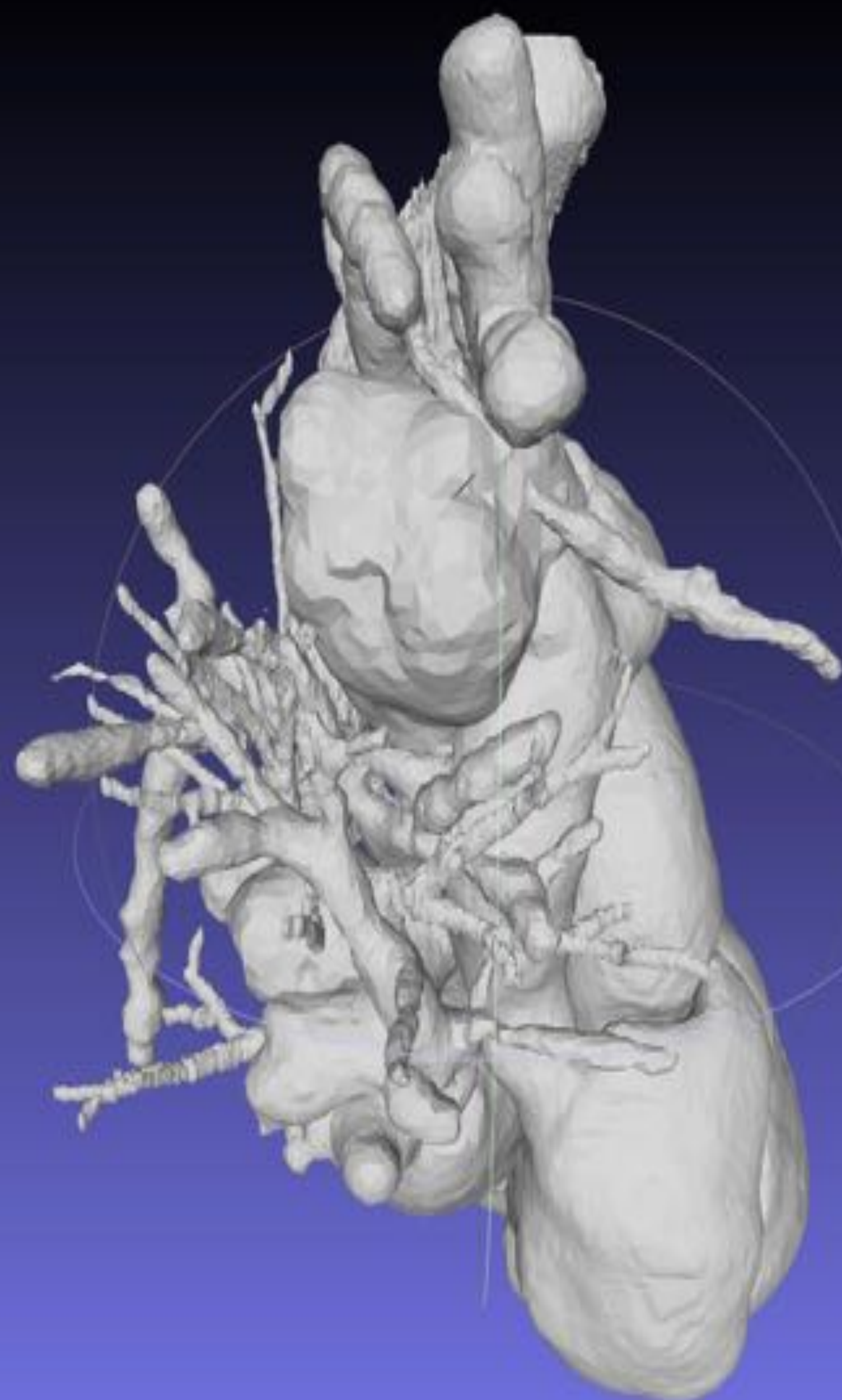
Paciente con lesión parenquimatosa pulmonar con curva tipo D (sugestiva de malignidad; pico de realce con meseta posterior). DWI muestra un comportamiento no restrictivo.

Neumonía bacteriana complicada con absceso diafragmático (restricción central en DWI; flecha blanca).

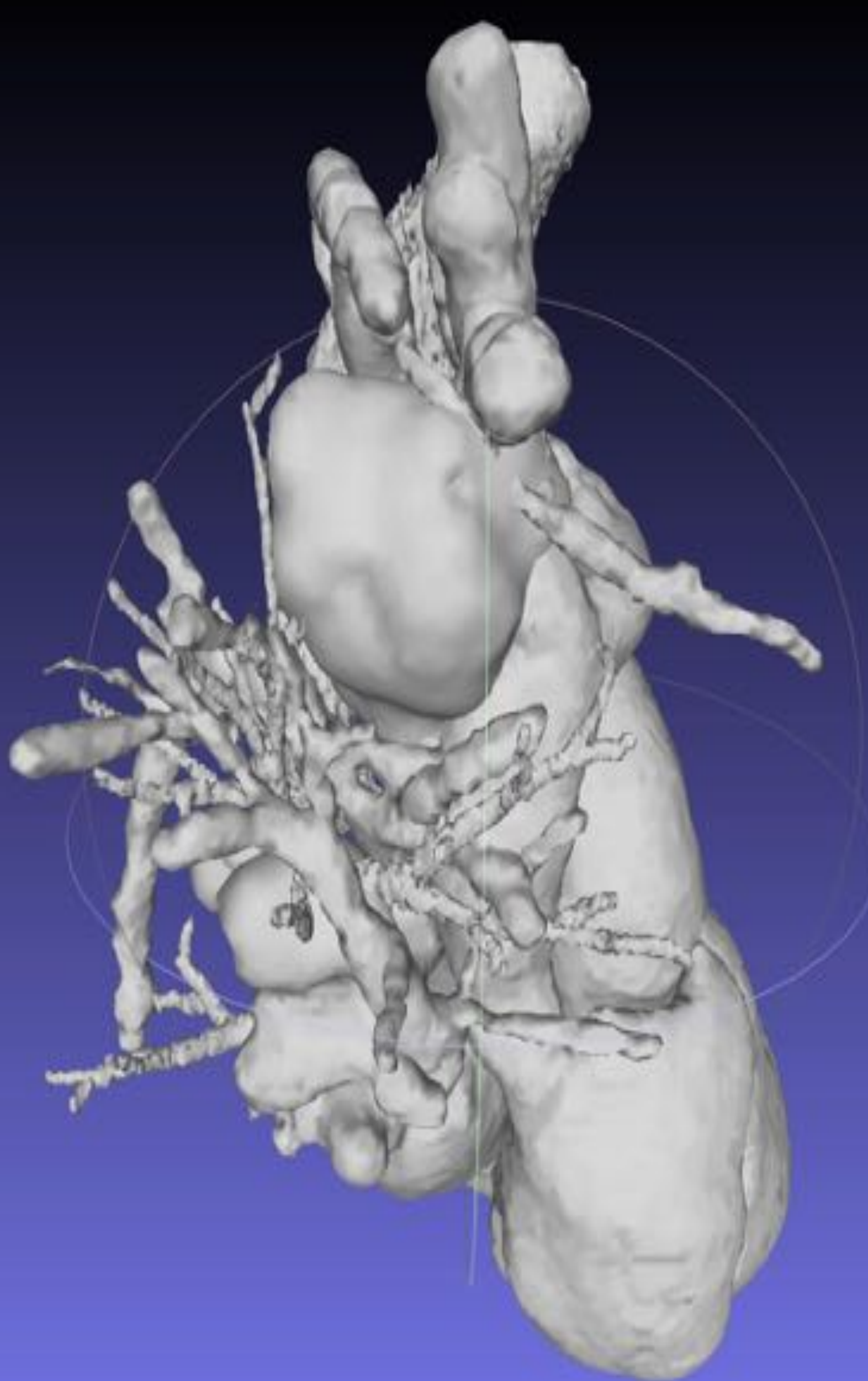


5 Post-proceso de STL

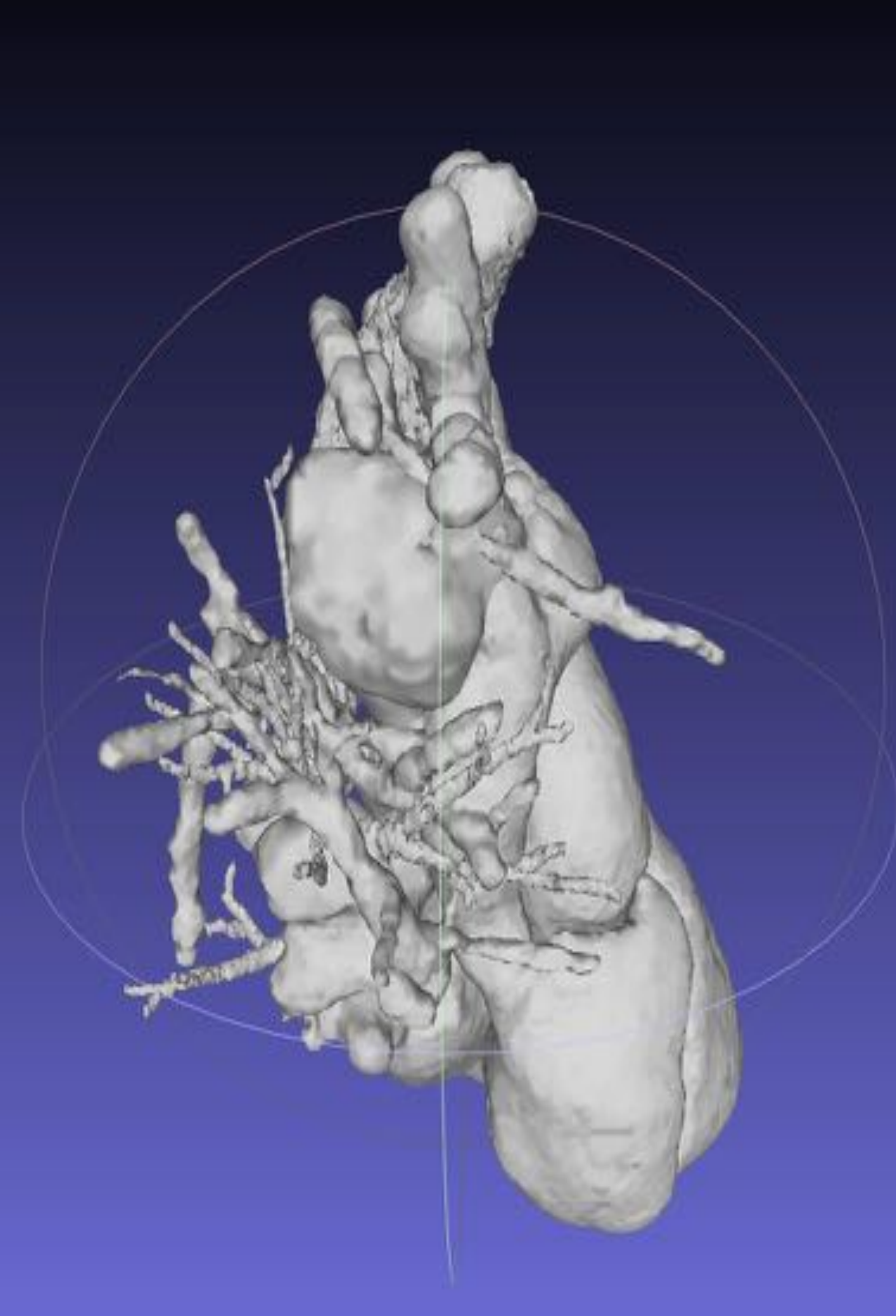
Filtros de suavizado y errores de segmentación



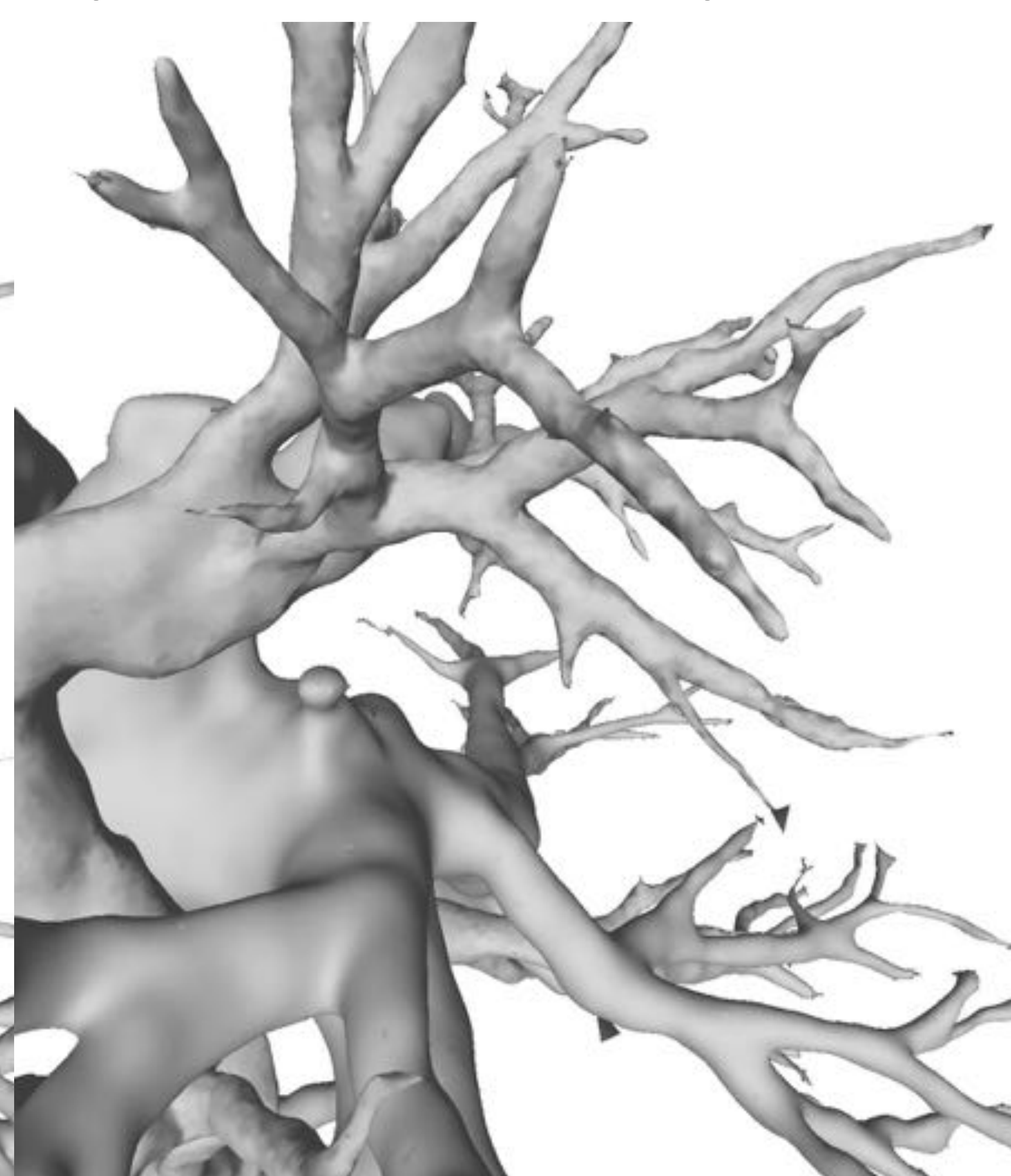
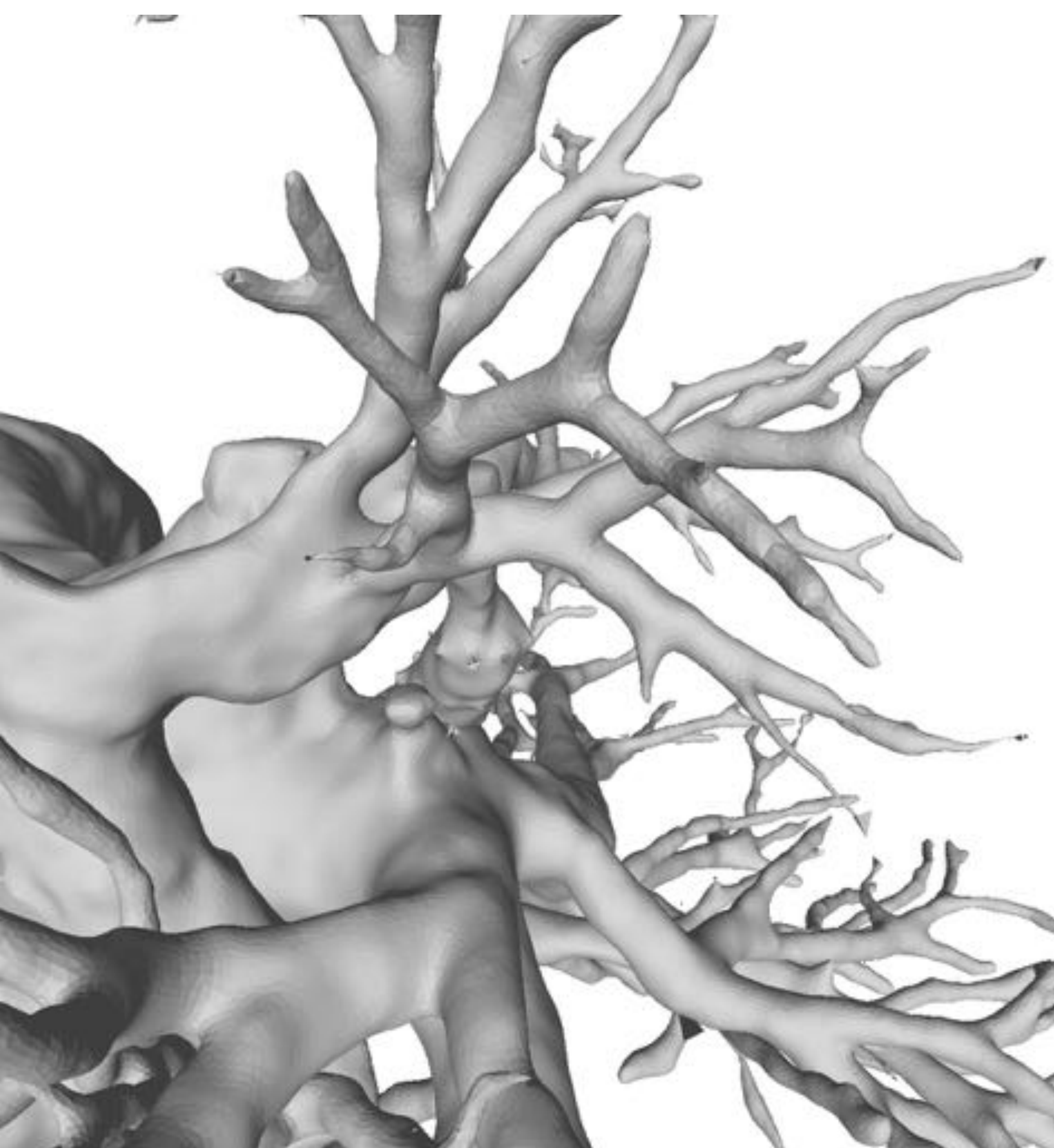
STL 3D sin filtrado



Filtrado Laplaciano con preservación de superficie



Filtrado Laplaciano sin preservación de superficie



Con métodos de filtrado laplaciano sin pérdida conseguimos suavizar la malla. Cuando se utilizan algoritmos de filtrado con pérdida, el suavizado de la malla es mayor a costa de una pérdida de información en las ramas broncovasculares periféricas más pequeñas.



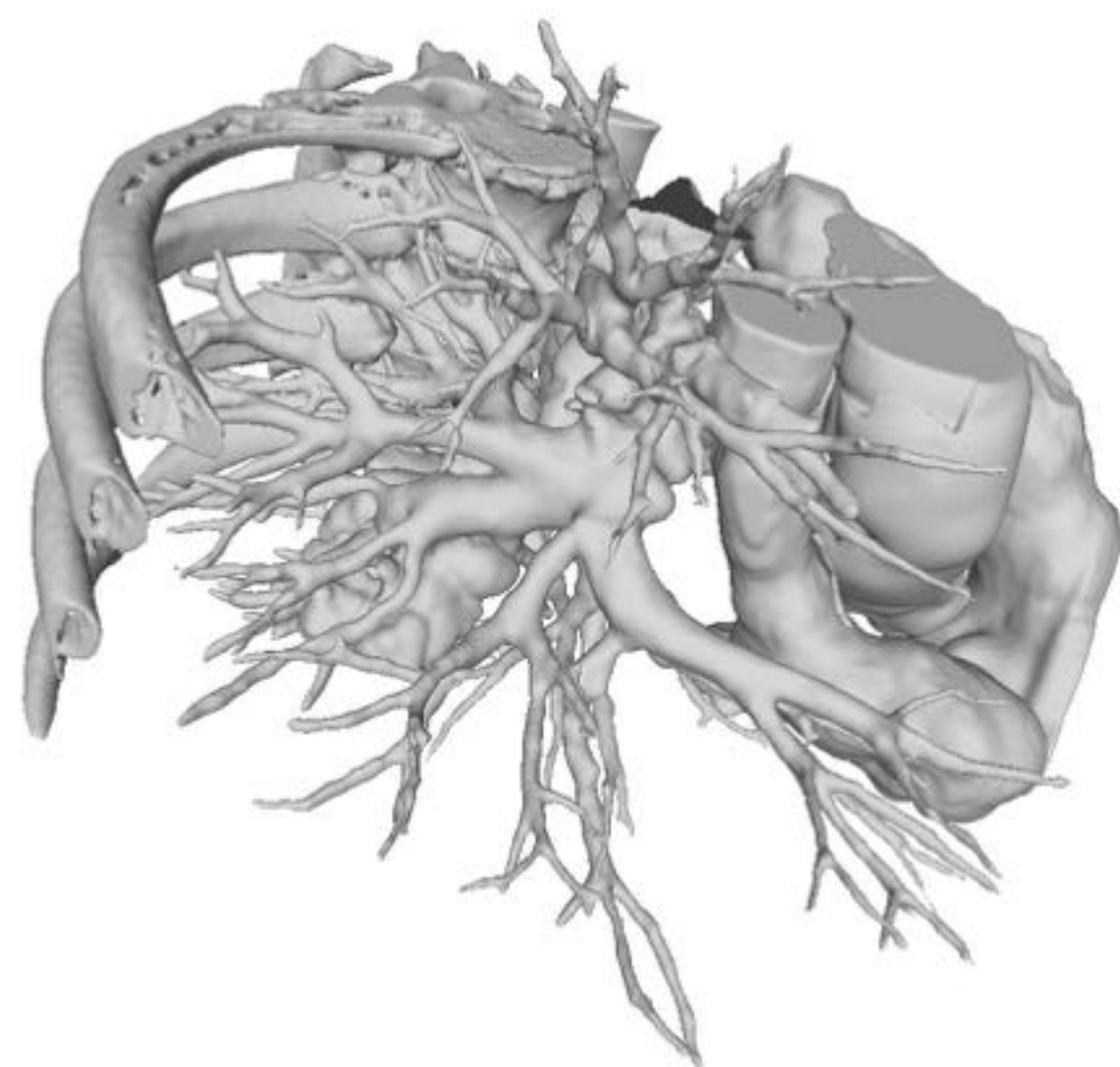
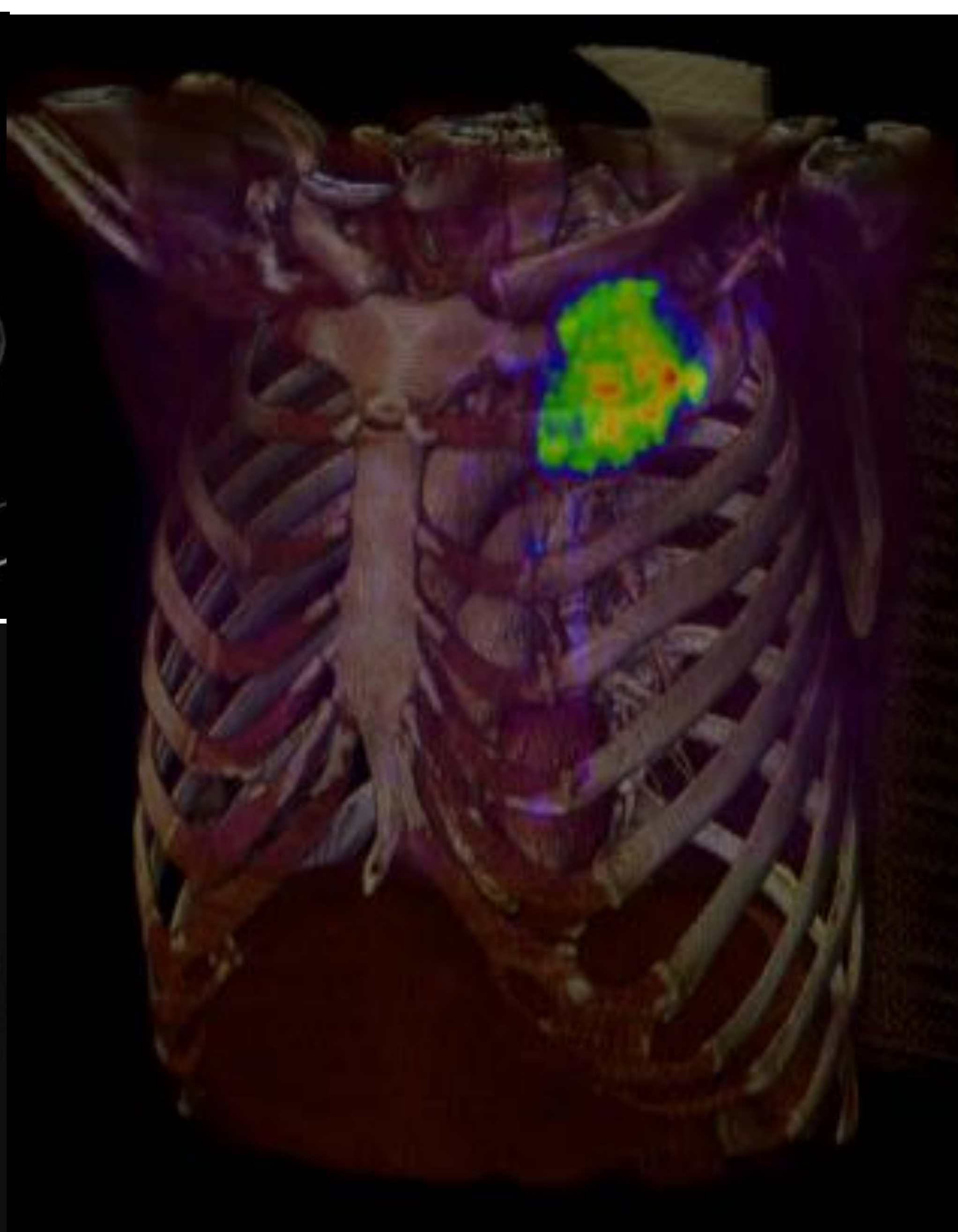
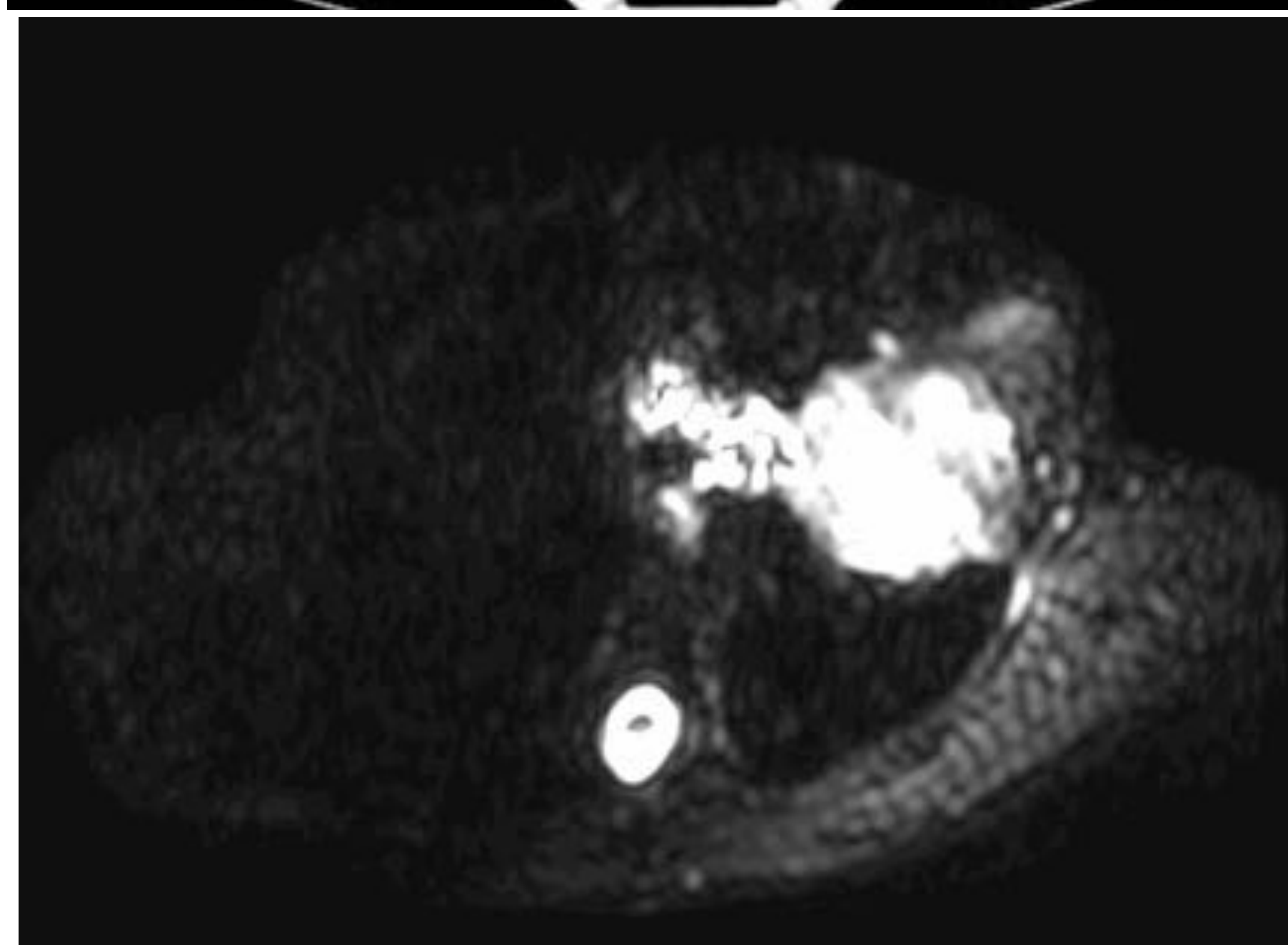
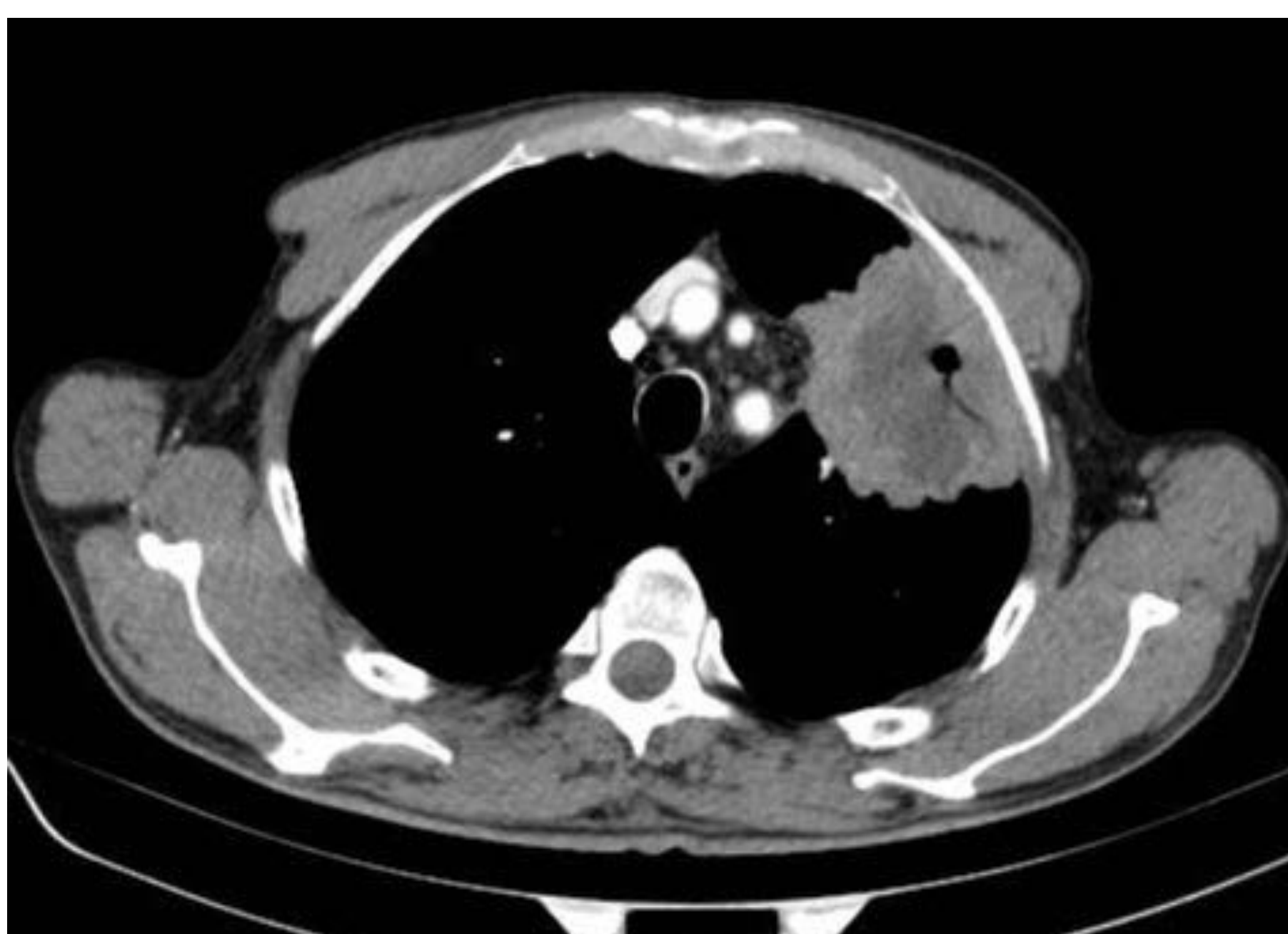
Errores en la generación:

1. **Holes:** espacios entre triángulos de la malla
2. **Normales invertidas:** define lo que está dentro de lo que está fuera del volumen a imprimir (flecha blanca).

Durante la generación del STL se pueden producir errores de conversión por imperfecciones en la segmentación (falta de cierre de la malla):

6 Impacto 3D printing híbrido en cáncer de pulmón

Materiales y método



1. Adquisición

Adquisición de TC y RM en dos días consecutivos utilizando protocolos de adquisición de TC con contraste y DWI torácica expuestos anteriormente.

2. Segmentación

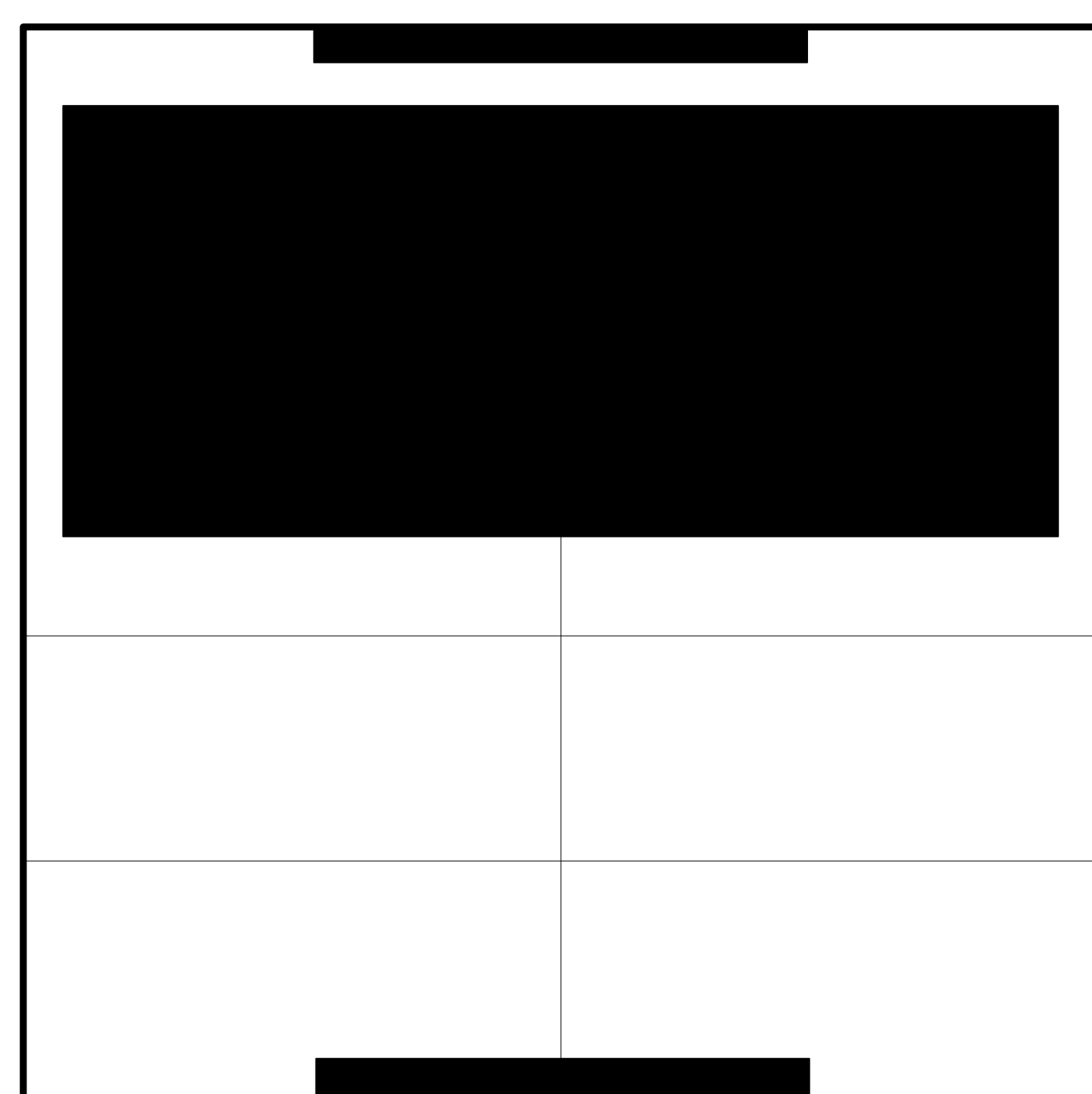
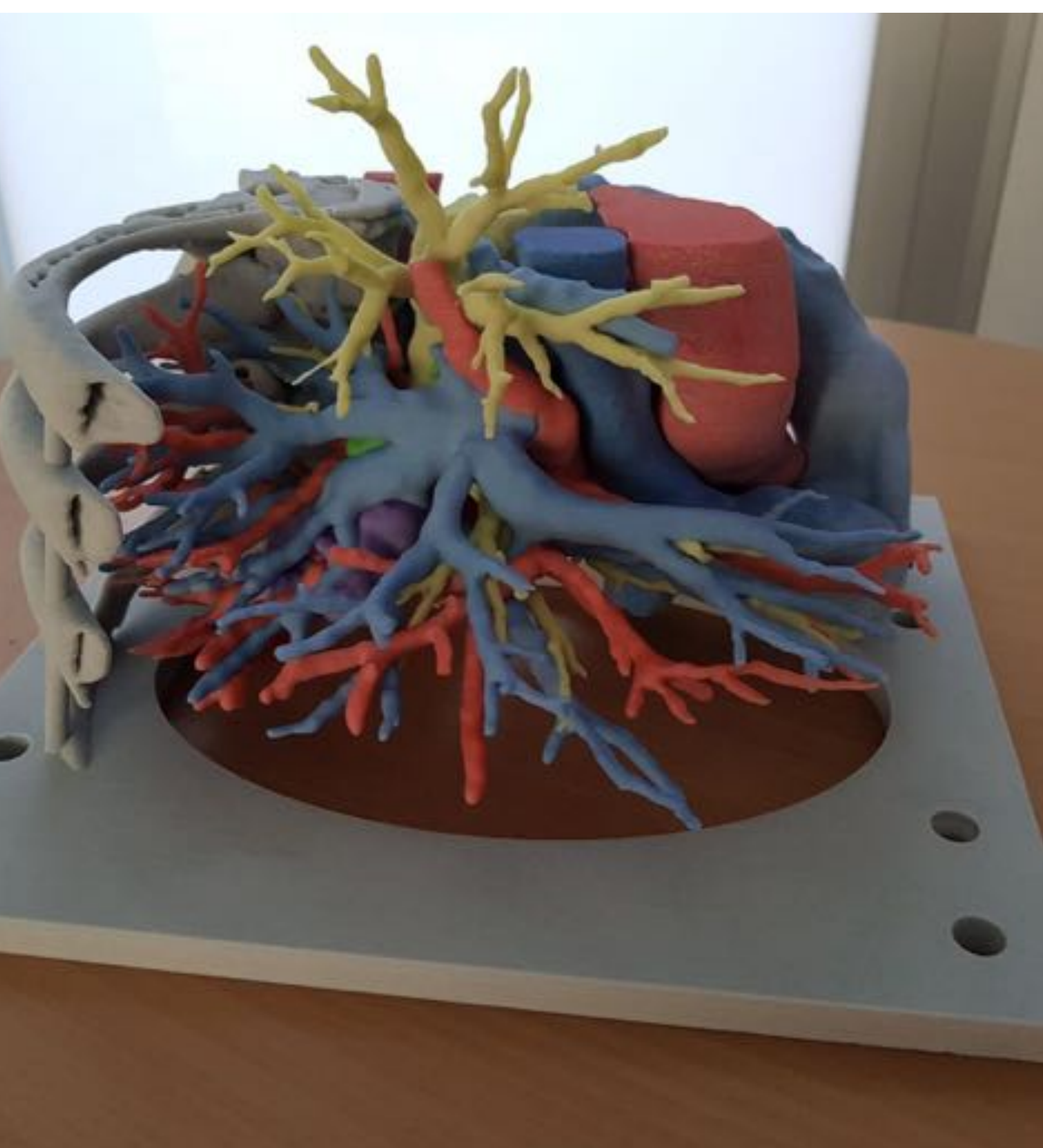
Fusión de TC y gradiente b alto de DWI utilizando modelos de registro rígidos con corrección manual.

Software de segmentación semiautomática y por umbral de densidades.

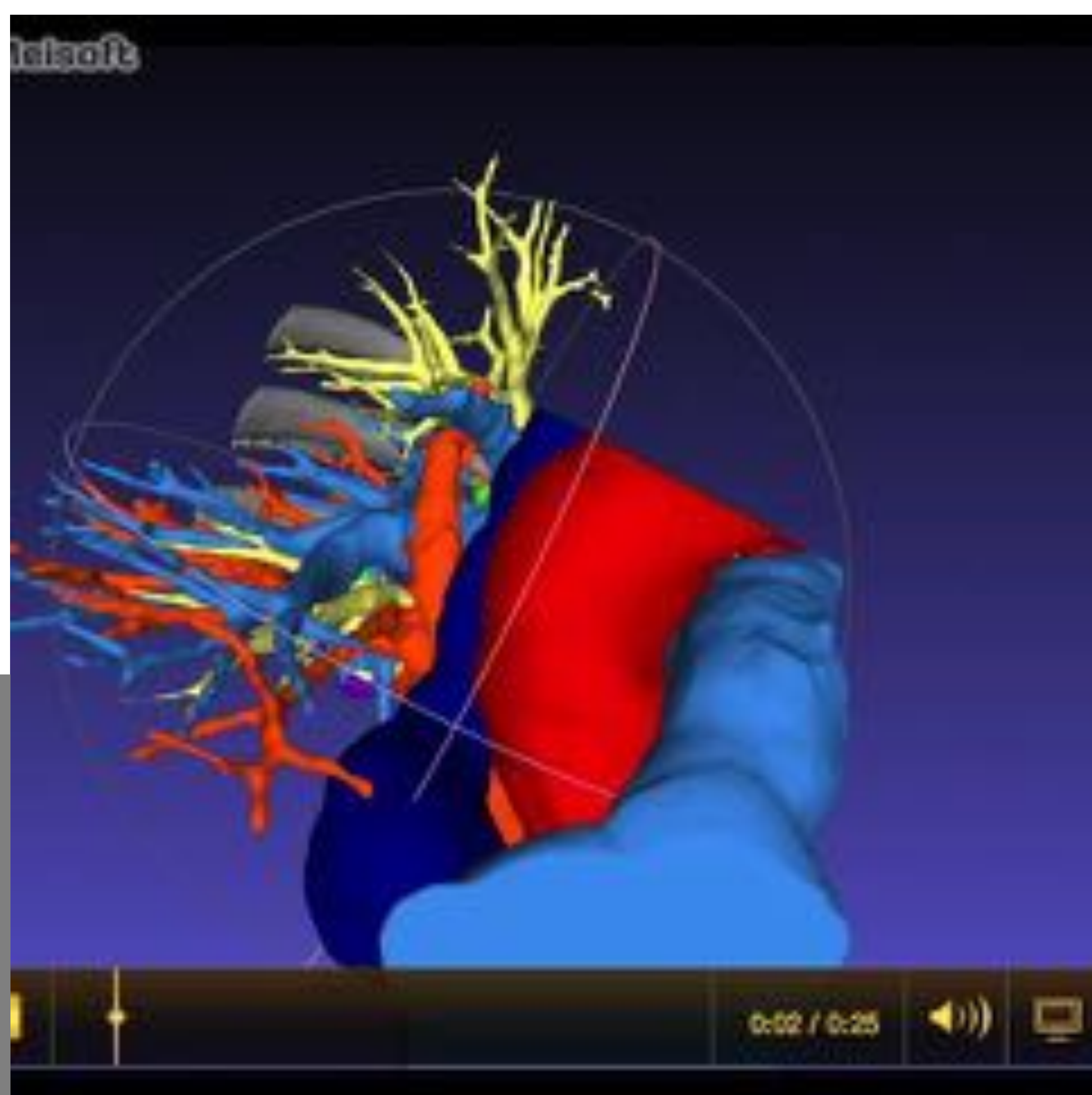
3. Generación STL

Lectura del caso y selección del volumen de impresión acorde a las necesidades del enfermo del cirujano.

Evaluación de las mallas obtenidas previas al post-proceso.



Binder Jetting
ProJet 660 pro
(3D systems)



6. Preparación del modelo 3D

Limpieza del modelo e infiltración con productos acrílicos elastoméricos para incrementar su dureza. Embalado y transporte.

5. Impresión 3D

Obtención de modelos monomaterial con composite y policromáticos.

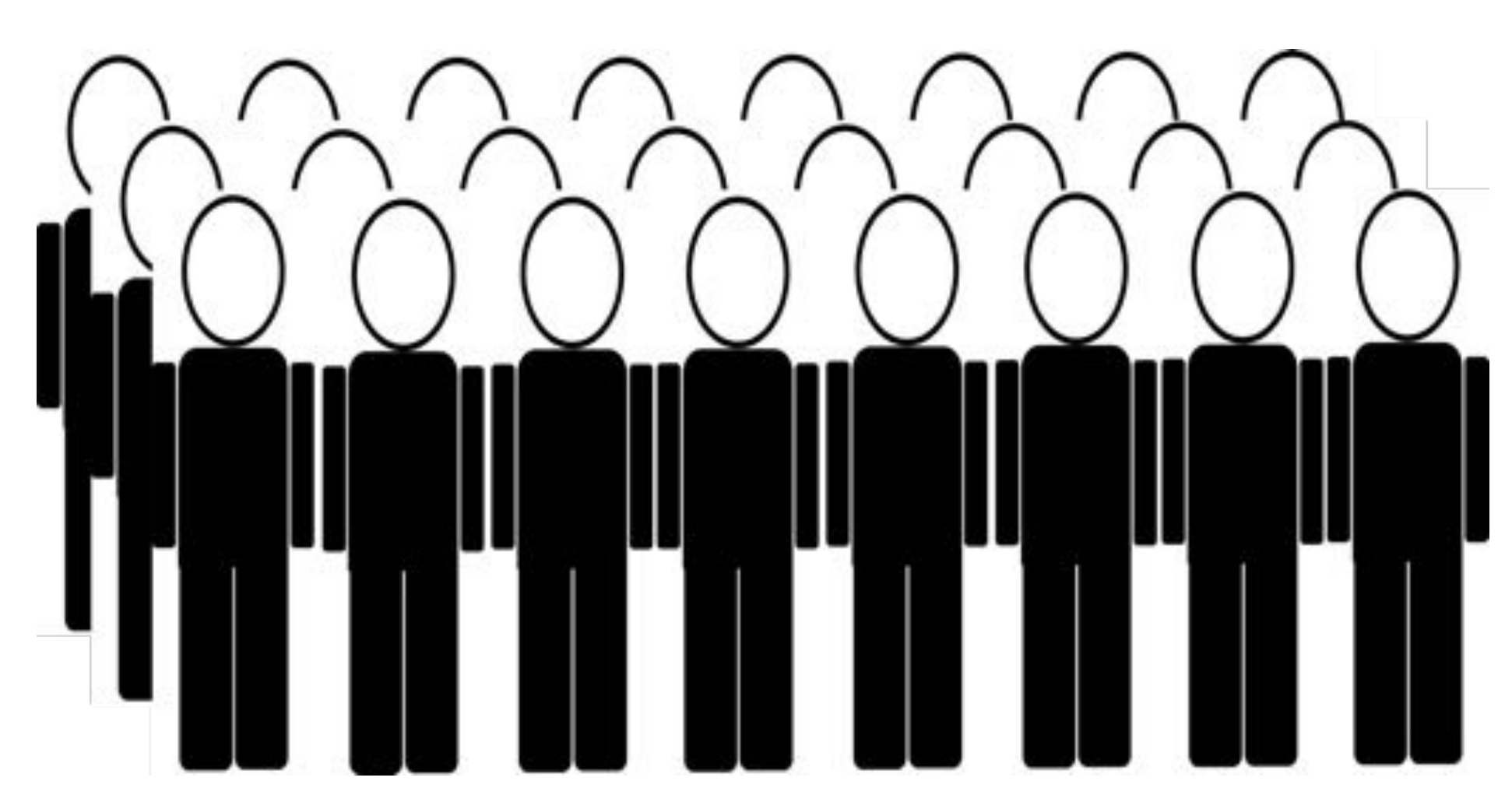
4. Optimización STL

Suavizado de malla con modelos Laplacianos sin pérdida.

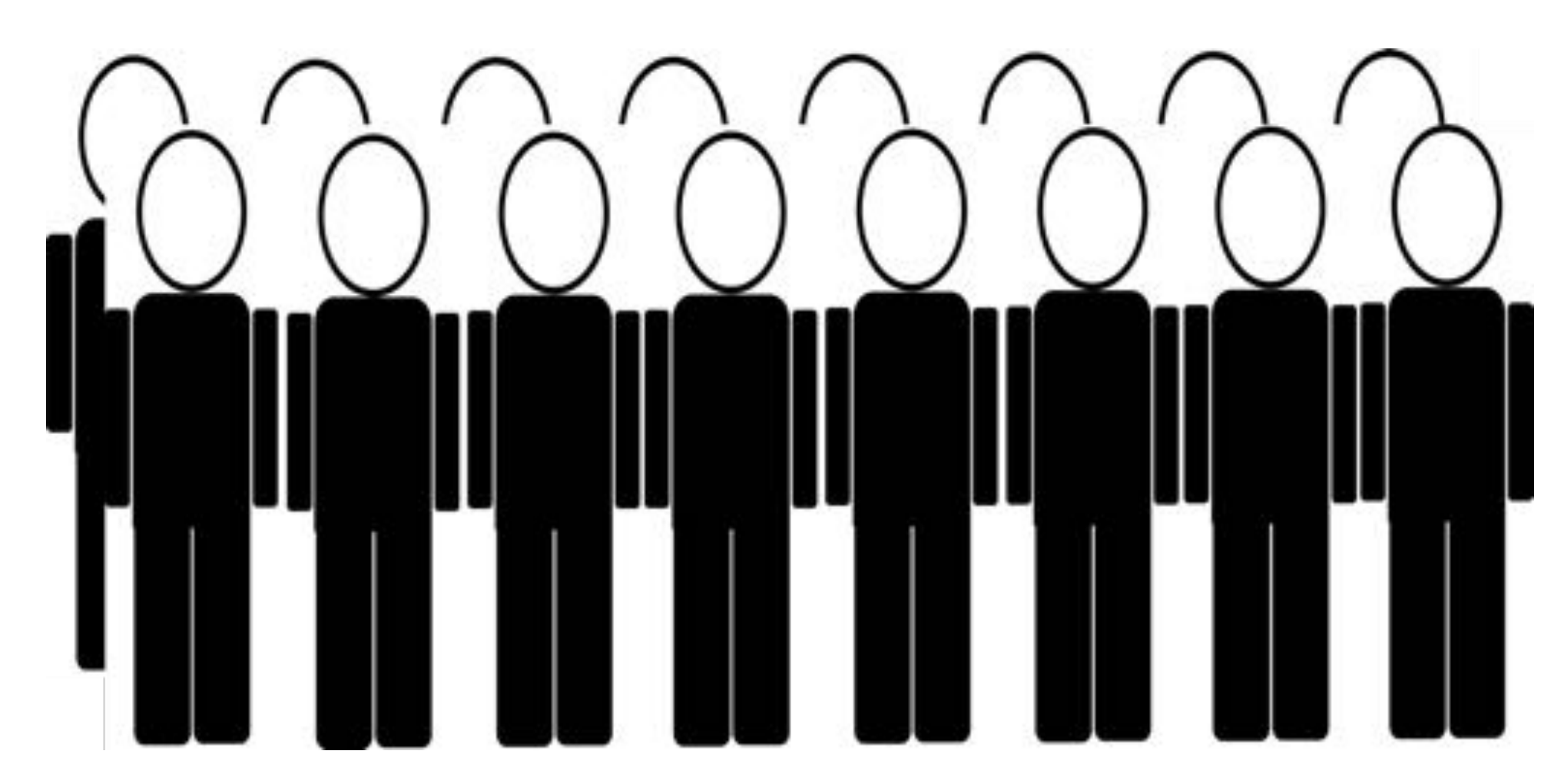
Adquisición de color acorde a escala cromática previamente consensuada con el cirujano torácico

6 Impacto 3D printing híbrido en cáncer de pulmón

Resultados



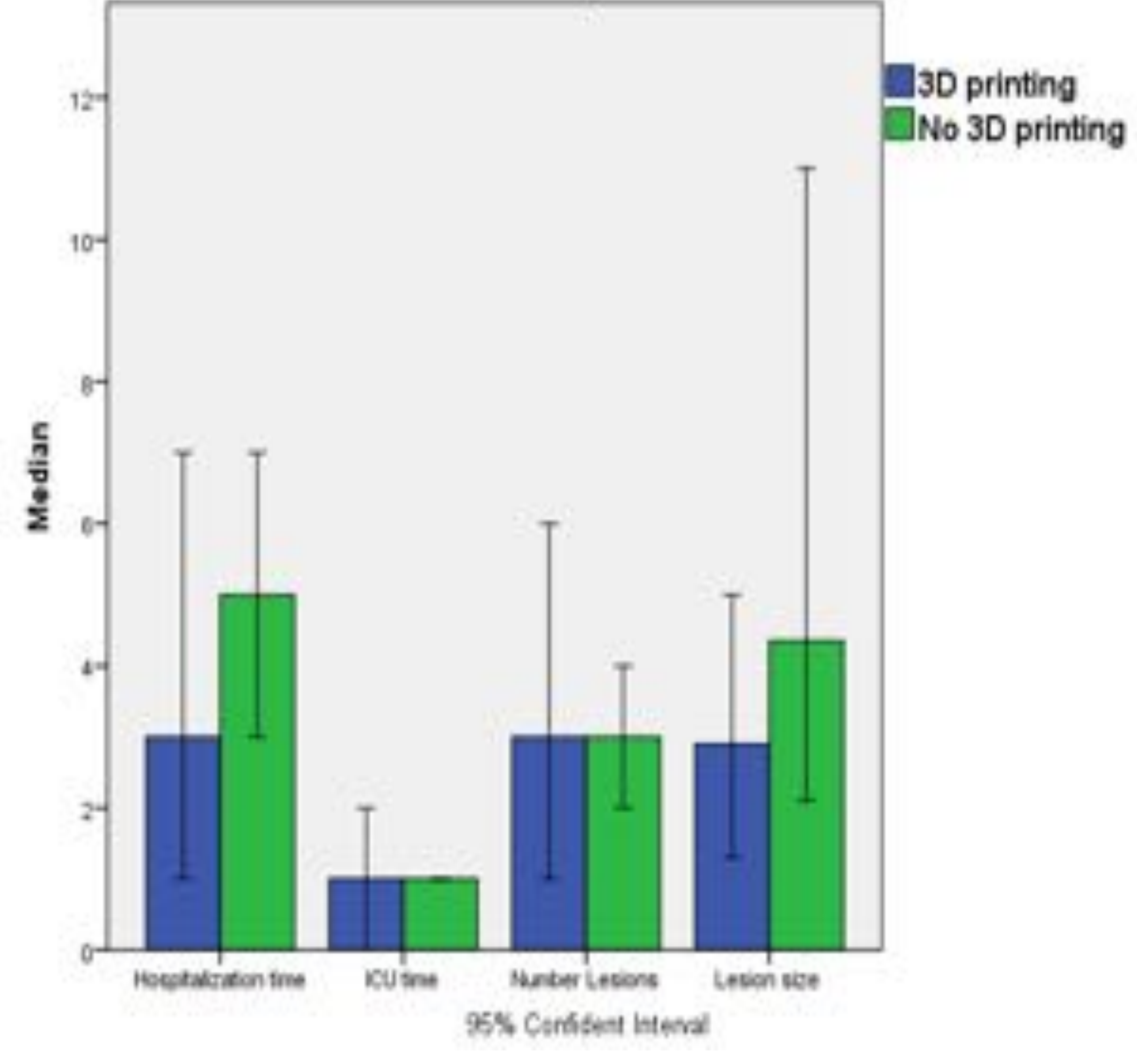
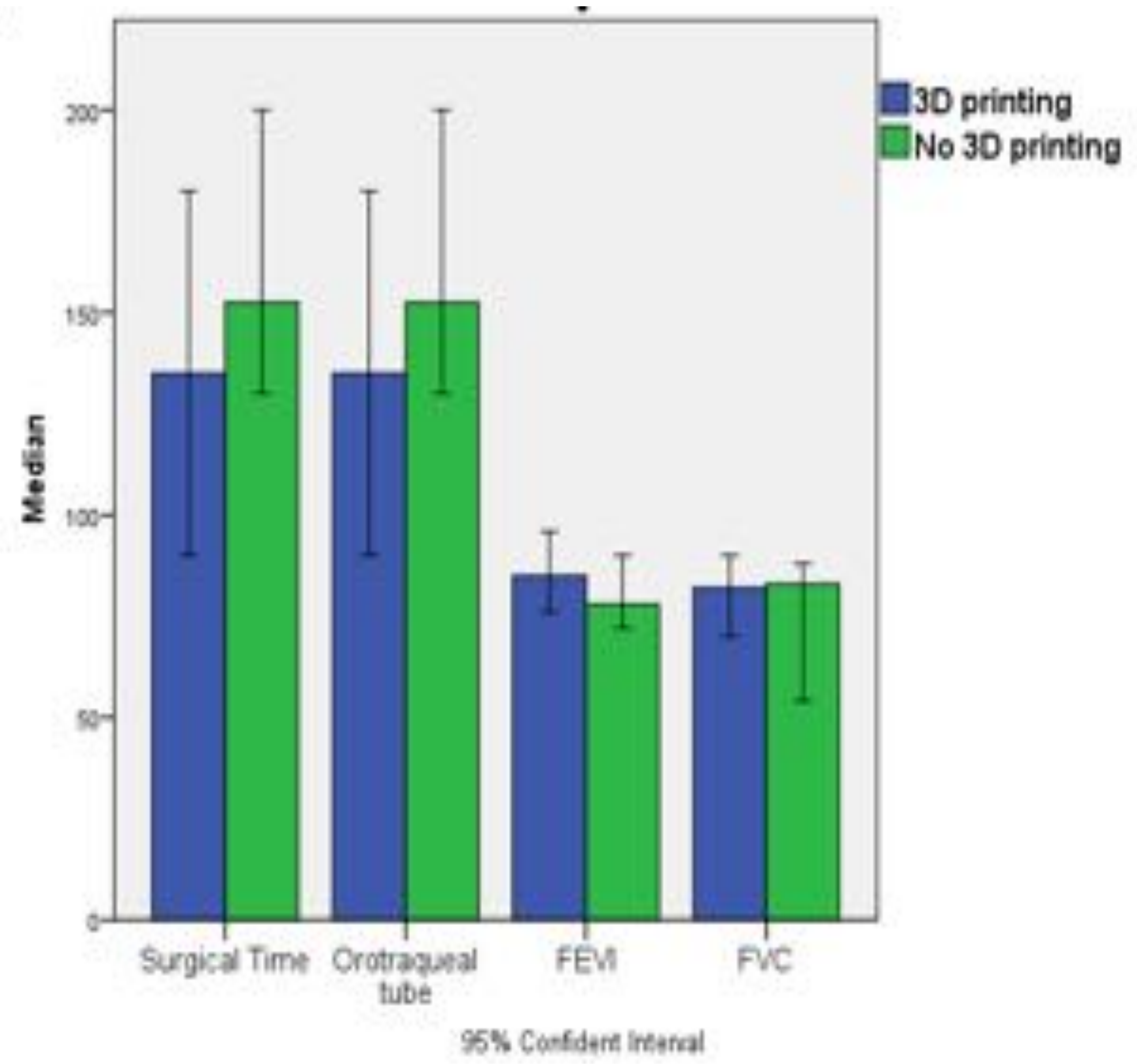
Grupo no 3D printing
Valoración prequirúrgica con TC y PET/TAC.



Grupo 3D printing
Valoración prequirúrgica con TC, RM y modelado 3D

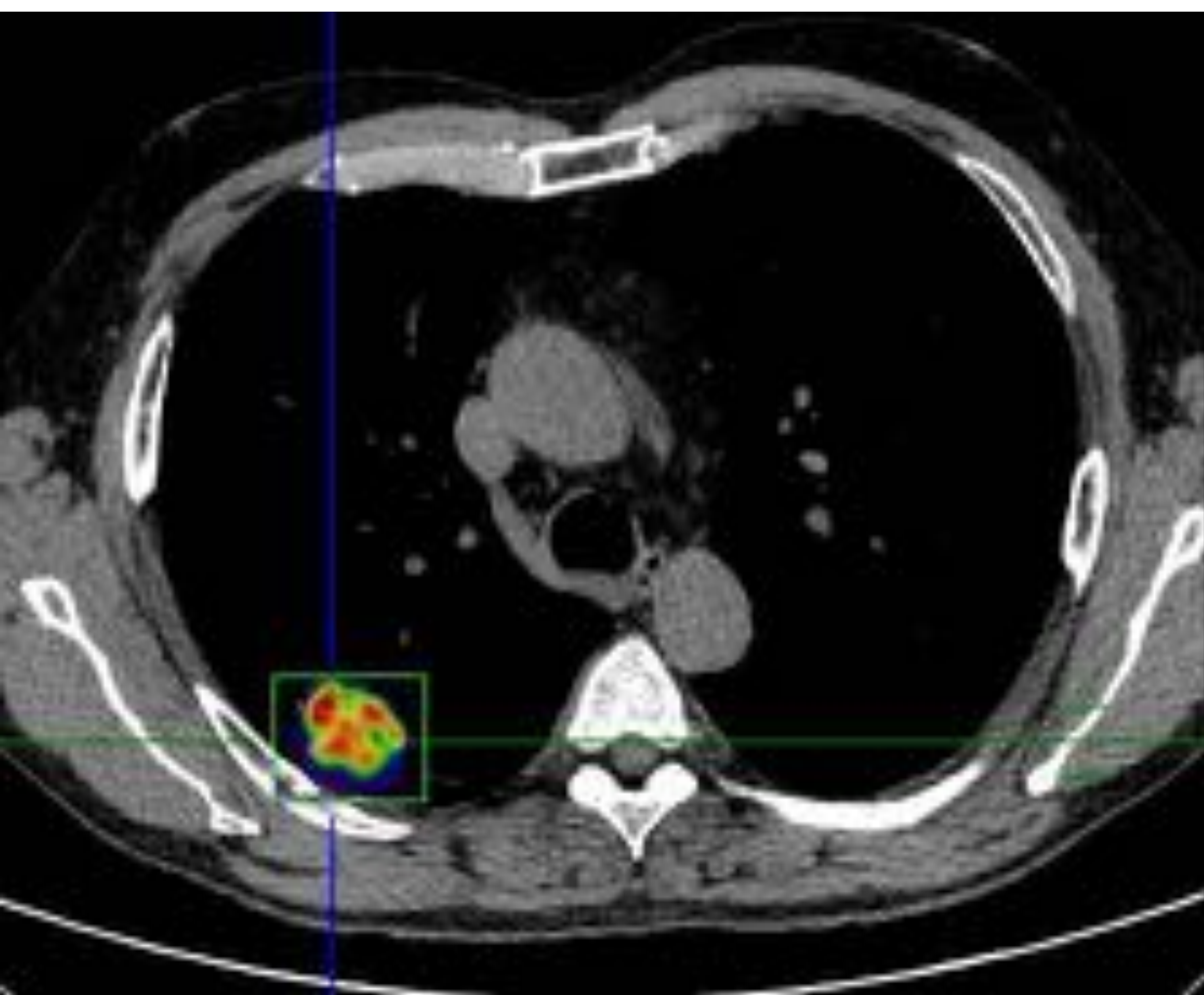
No diferencias significativas (p > 0,05) en edad, genero, estadiaje tumoral, ECOG, complicaciones en primer mes y a los 3 meses

| | Grupo 3D printing | Grupo no 3D printing | Valor p |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| Tiempo quirúrgico | 117,5 ± 47,7 minutos | 165,6 ± 31,5 minutos | 0,031 |
| Intubación orotraqueal | 119,38 ± 43,91 minutos | 165,6 ± 31,5 minutos | 0,027 |
| FEVI | 86,2 ± 8,78 l | 78,6 ± 14,01 l | > 0,05 |
| FVC | 83 ± 8,5 l | 78,83 ± 12,68 l | > 0,05 |
| Tiempo hospitalización | 4,88 ± 3,64 días | 5,4 ± 1,57 días | > 0,05 |
| Tiempo UCI | 2,02 ± 3,28 días | 1,1 ± 0,31 días | > 0,05 |
| Número lesiones | 2,75 ± 1,8 | 3 ± 1,15 | > 0,05 |
| Tamaño lesión | 13,68 ± 17,7 cm | 6,1 ± 4,6 cm | > 0,05 |

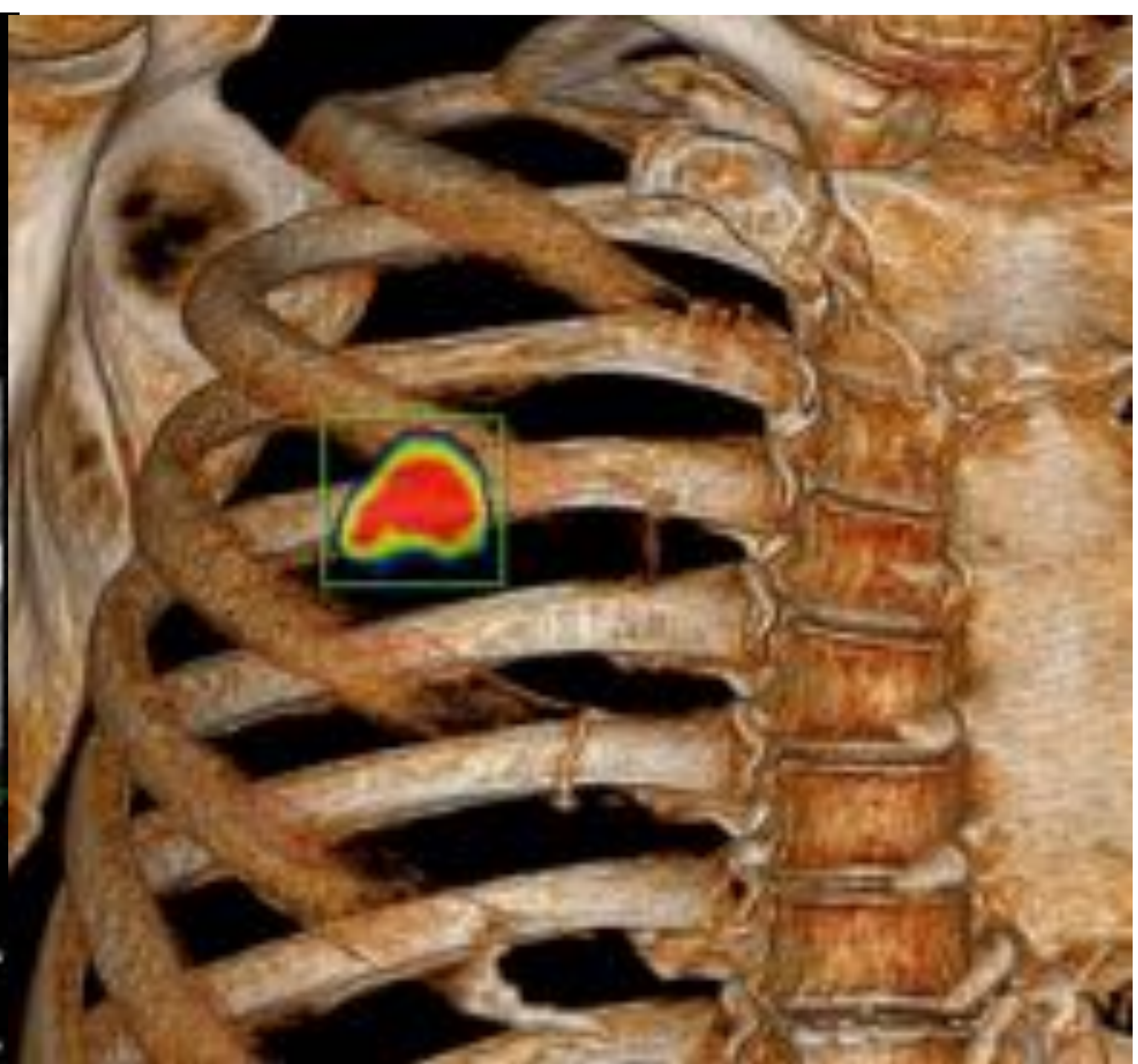


6 Impacto 3D printing híbrido en cáncer de pulmón

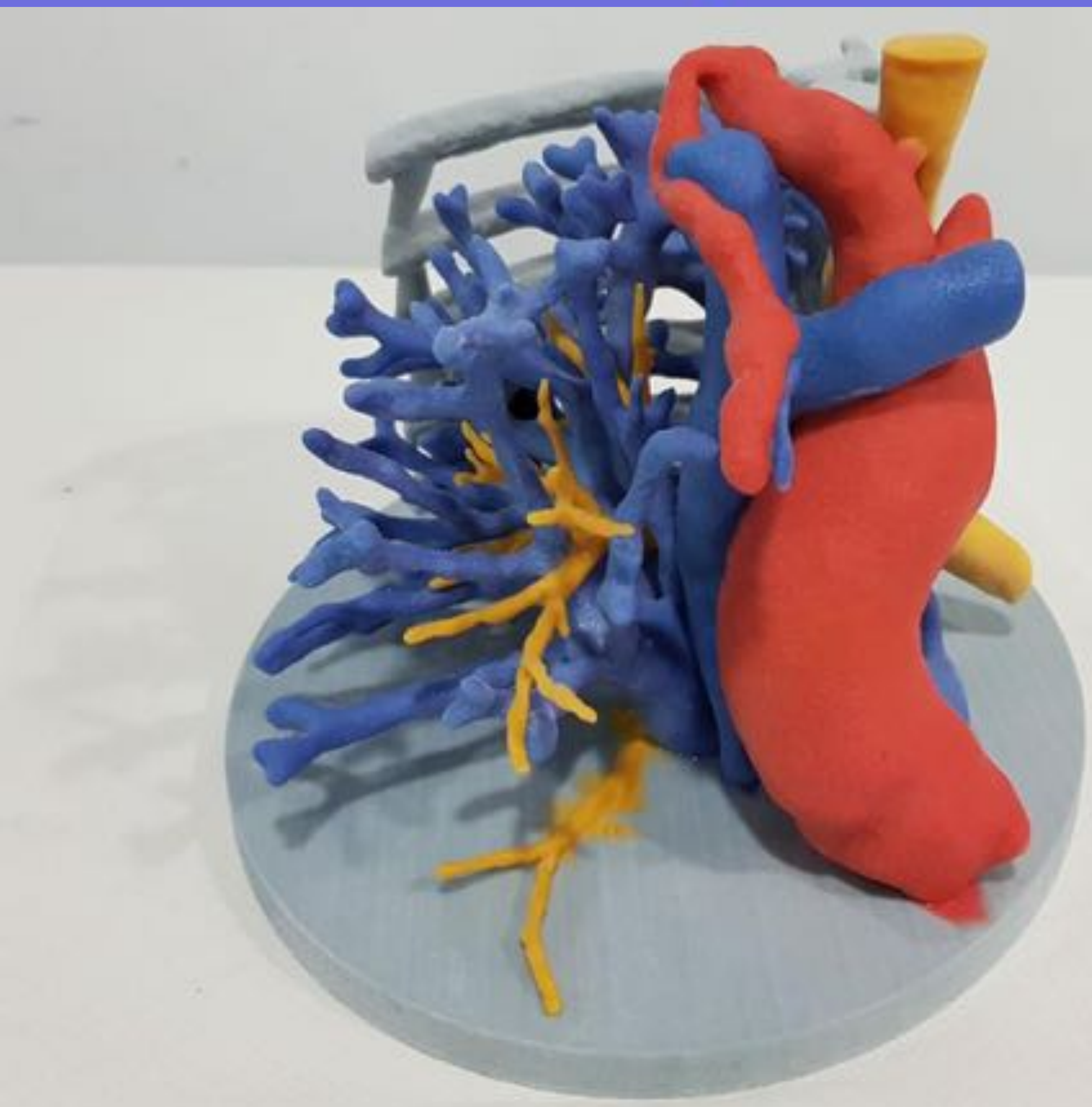
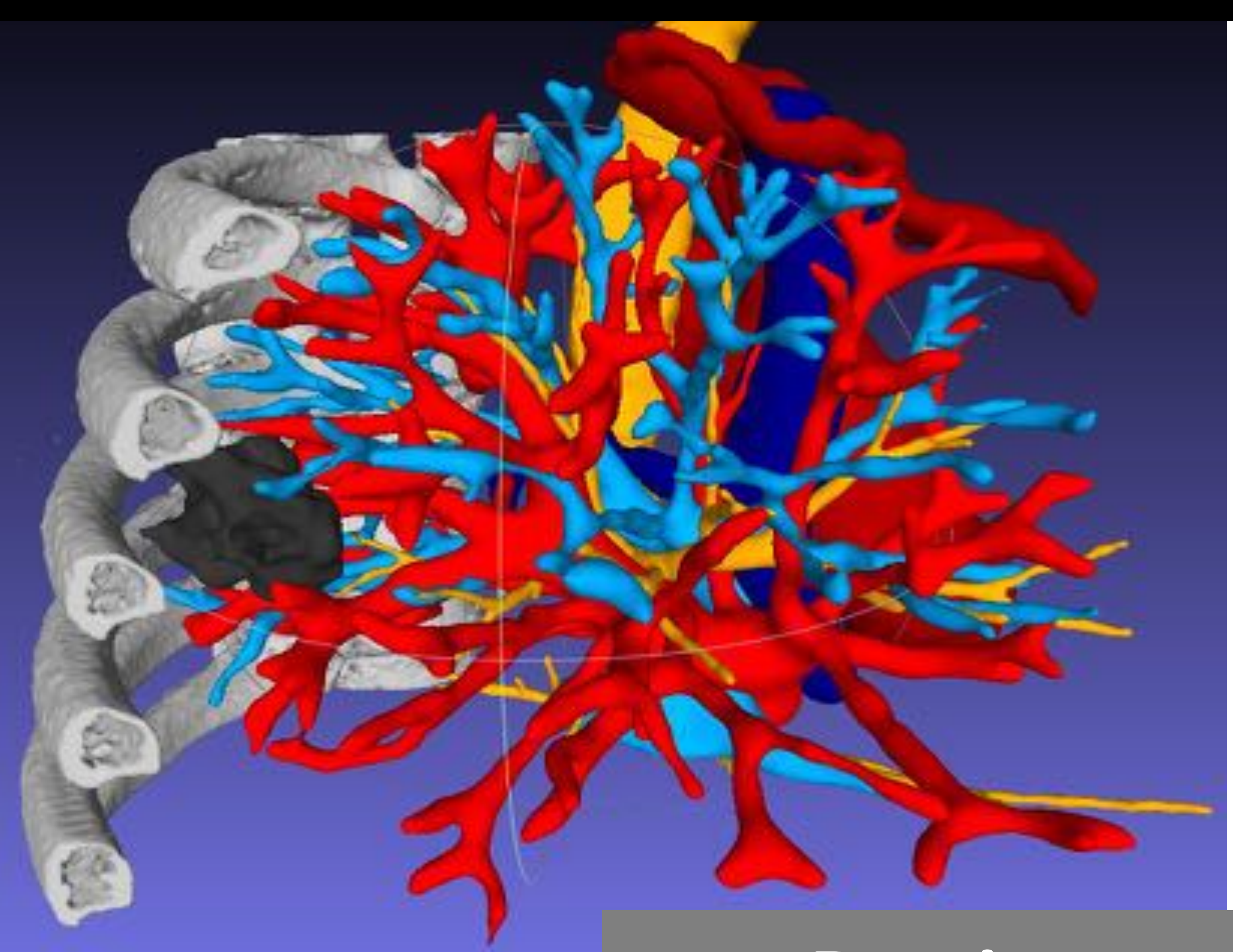
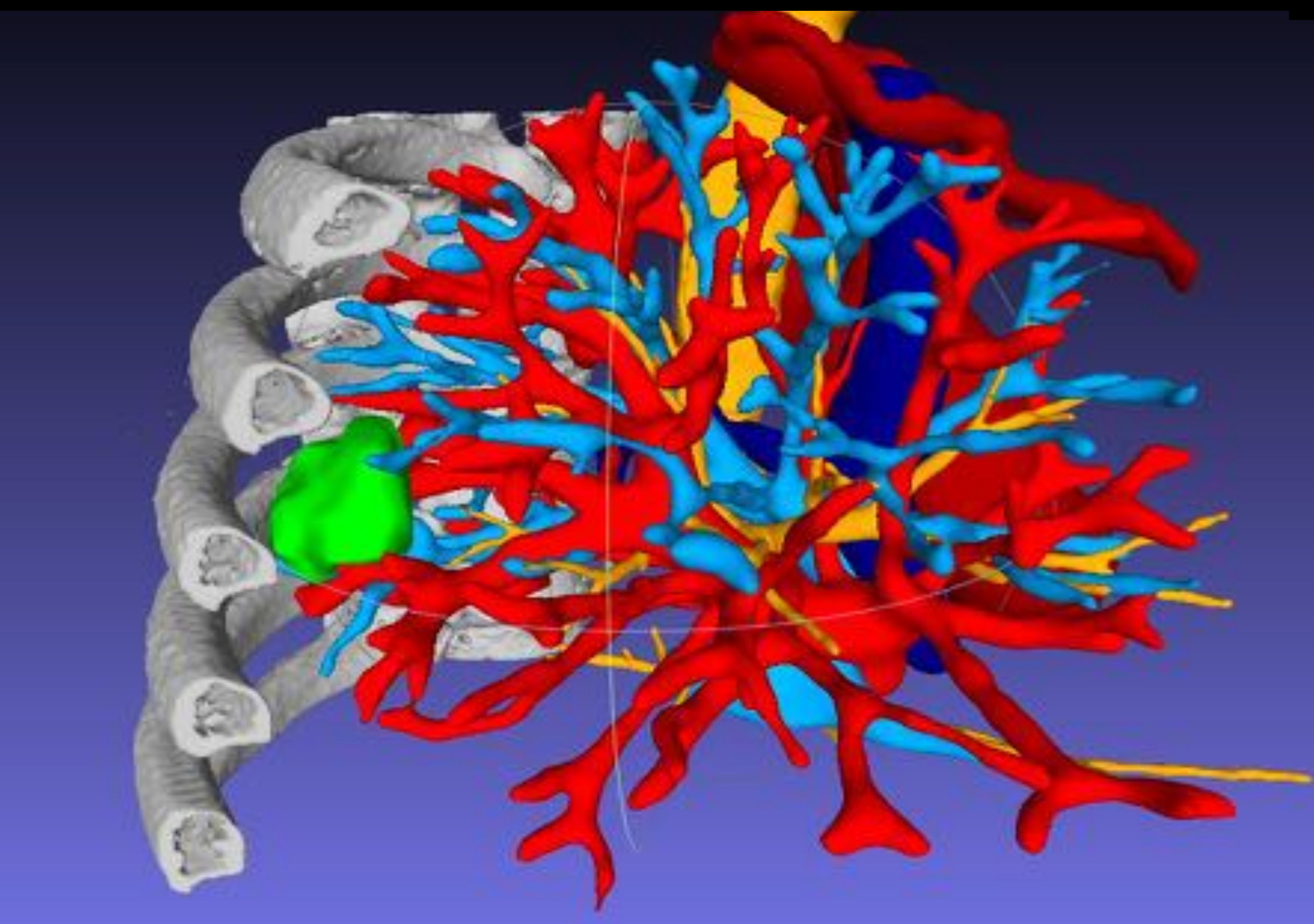
Ejemplos prácticos



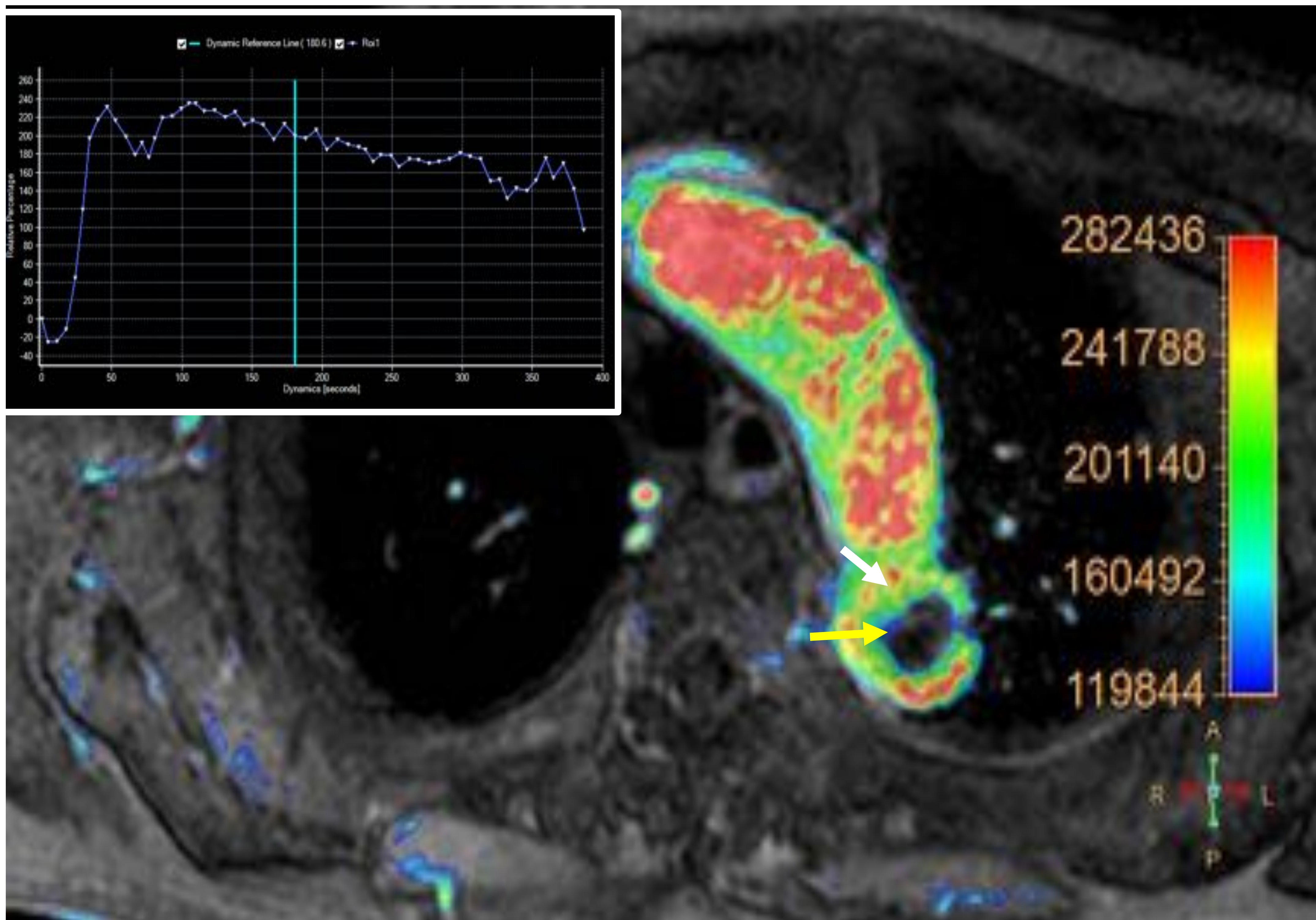
Modelo híbrido TC y RM



Modelo TC

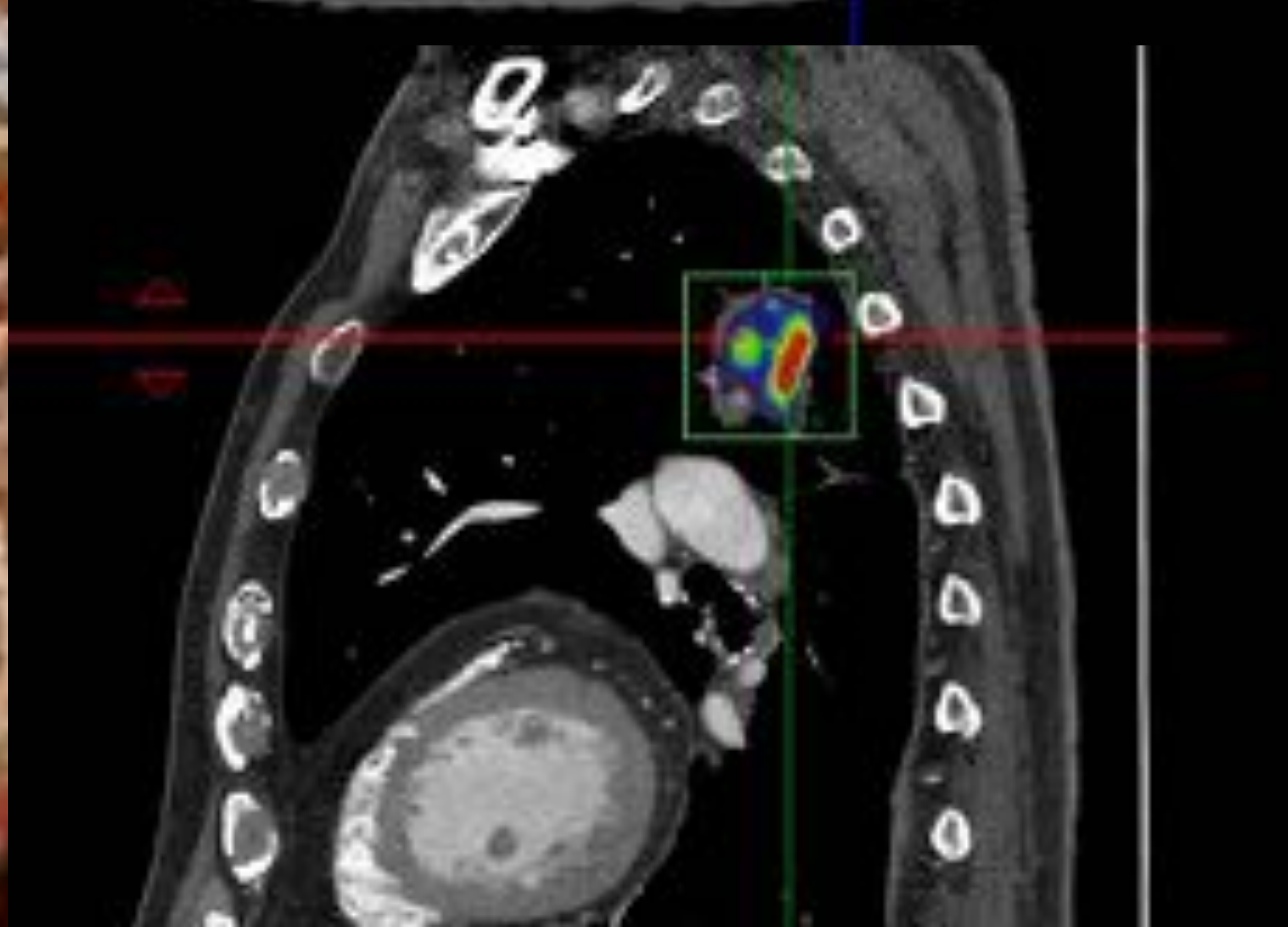
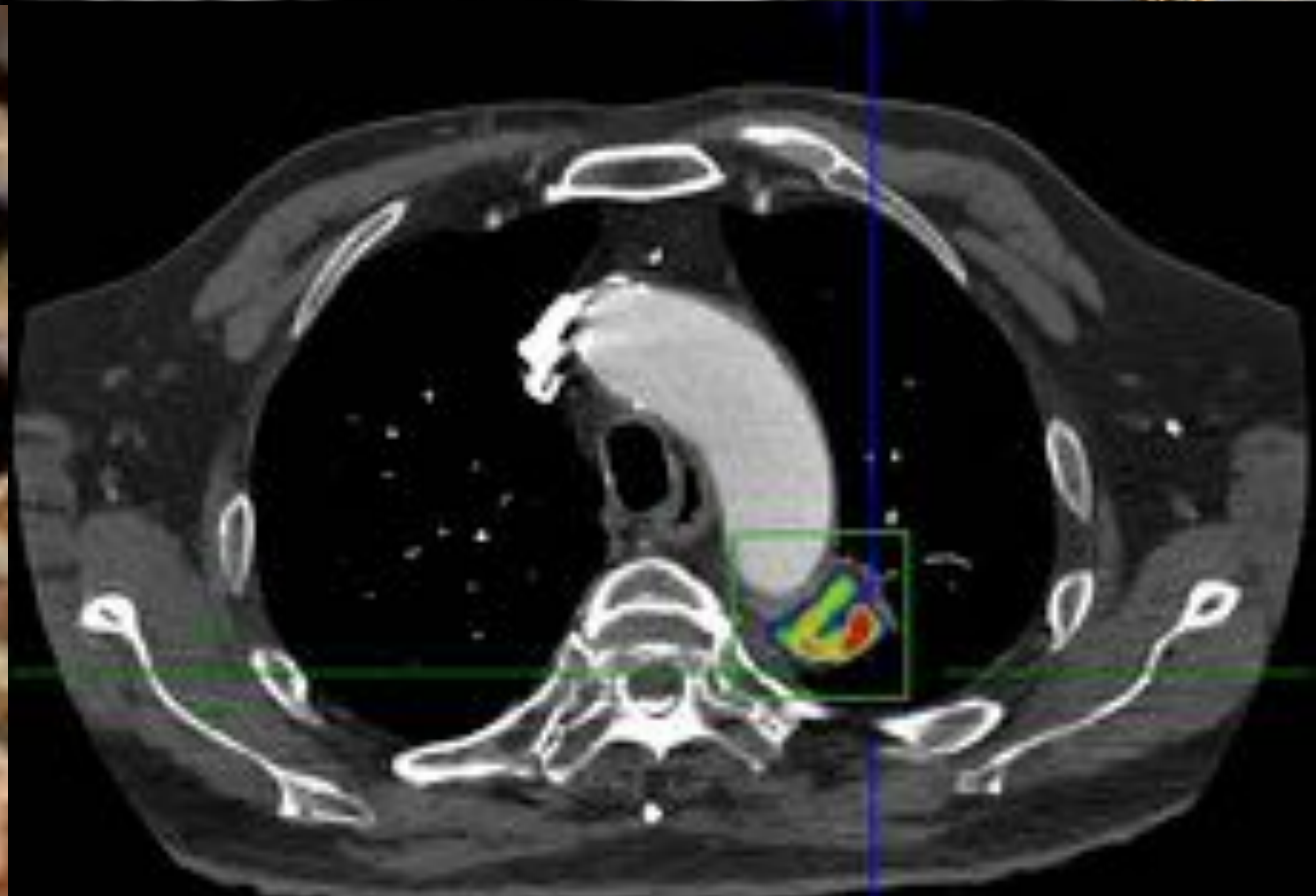
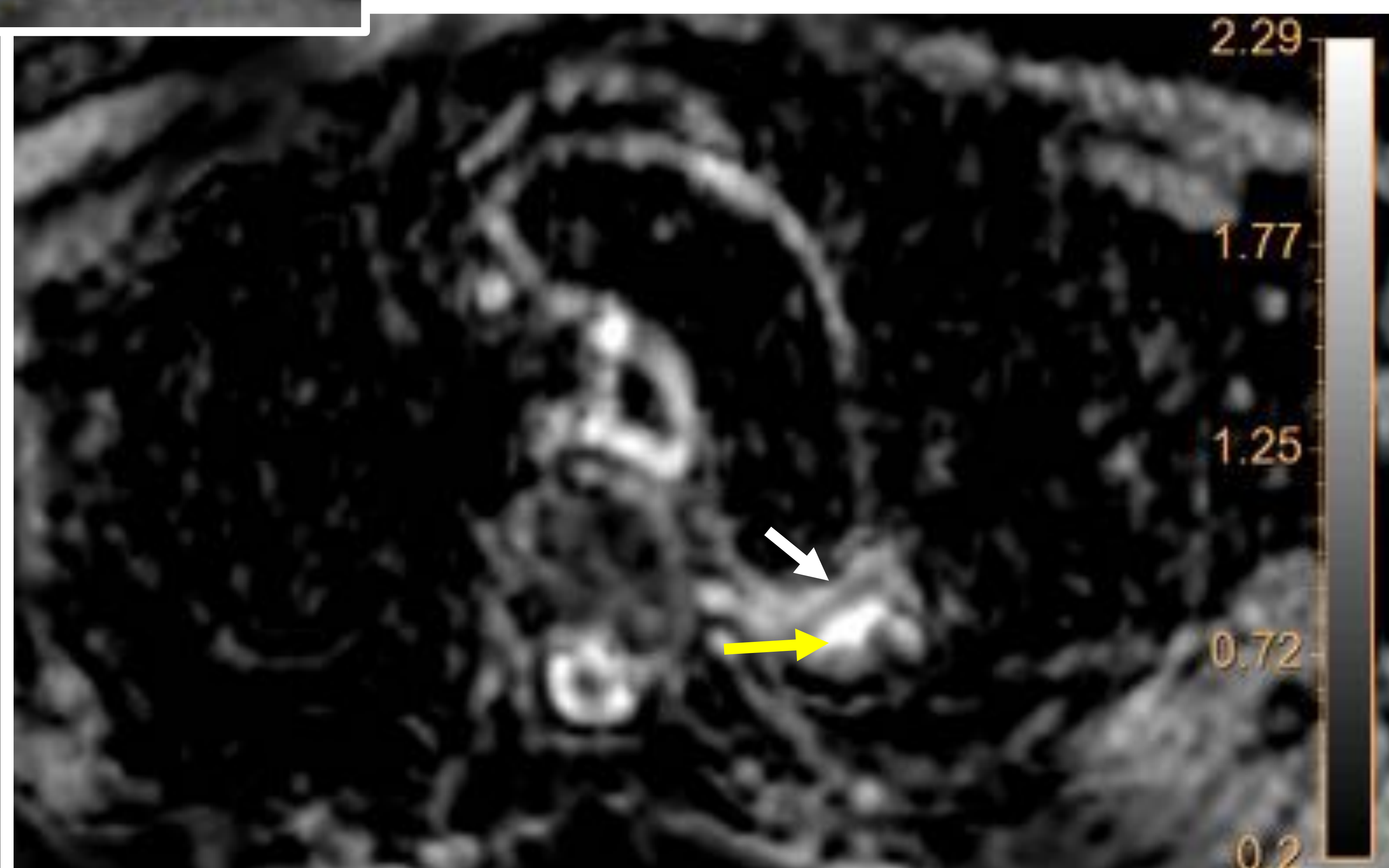
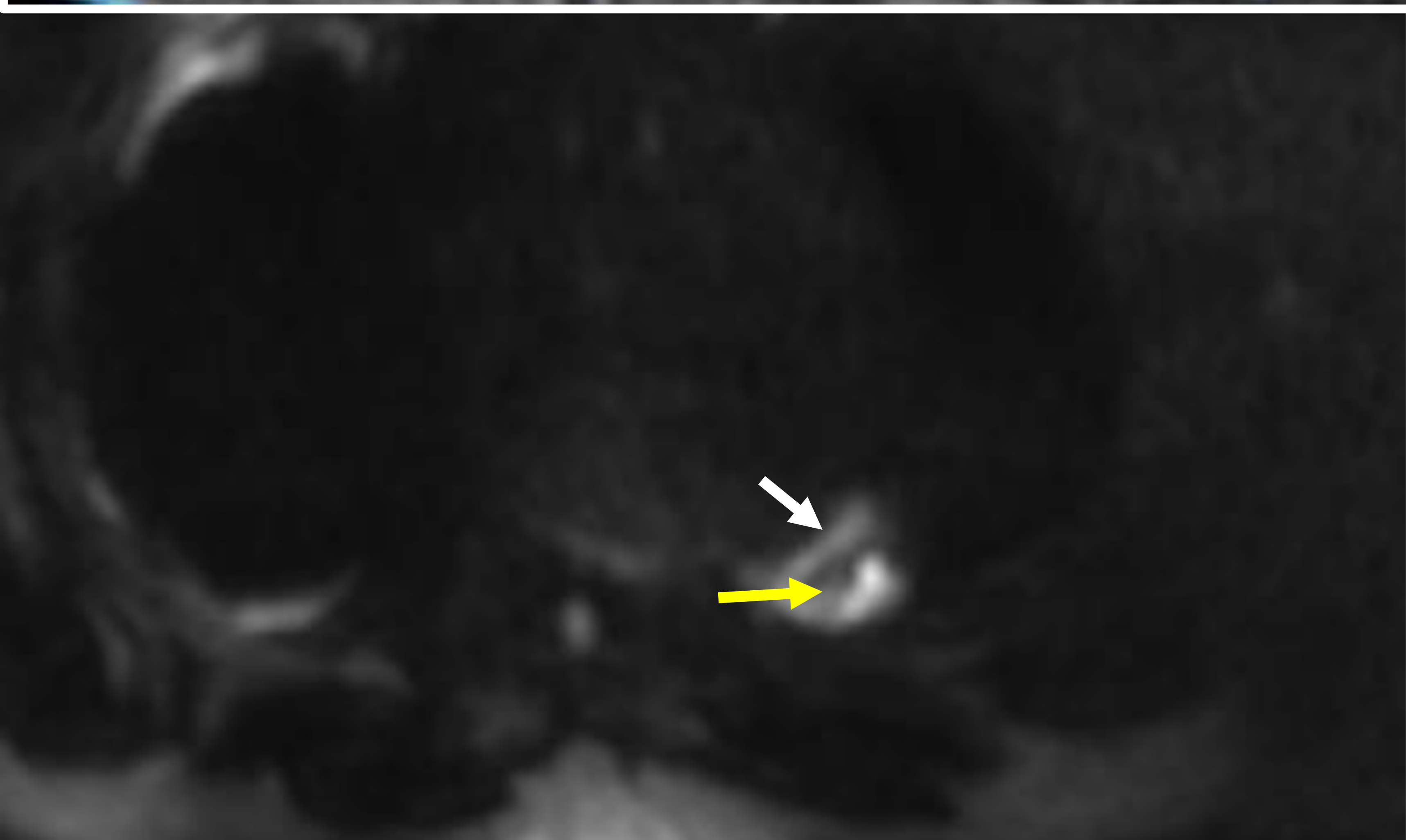


Paciente
varón de 54
años con
adenocarcin
oma de
pulmón
T2N0M0



Varón de 72 años con **adenocarcinoma de pulmón** con infiltración de pleura mediastínica.

Comportamiento diferencial del tejido tumoral (Flecha blanca; hipervascular en DCE-MR y restrictivo en difusión) respecto a la necrosis central (flecha amarilla; $ADC_{\text{tumor}}: 0,55 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$; $ADC_{\text{necrosis}}: 2,54 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$).



seram 34

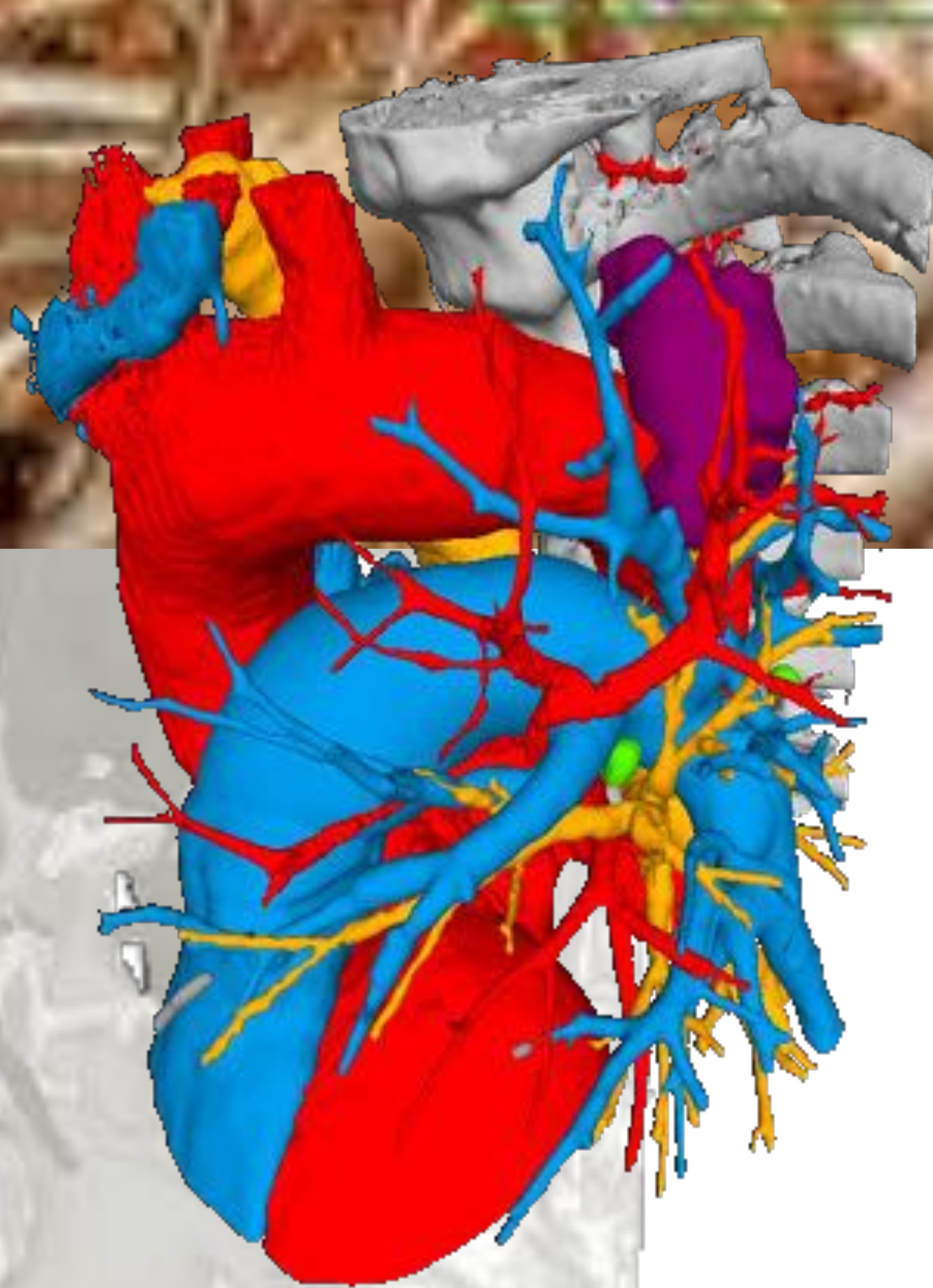
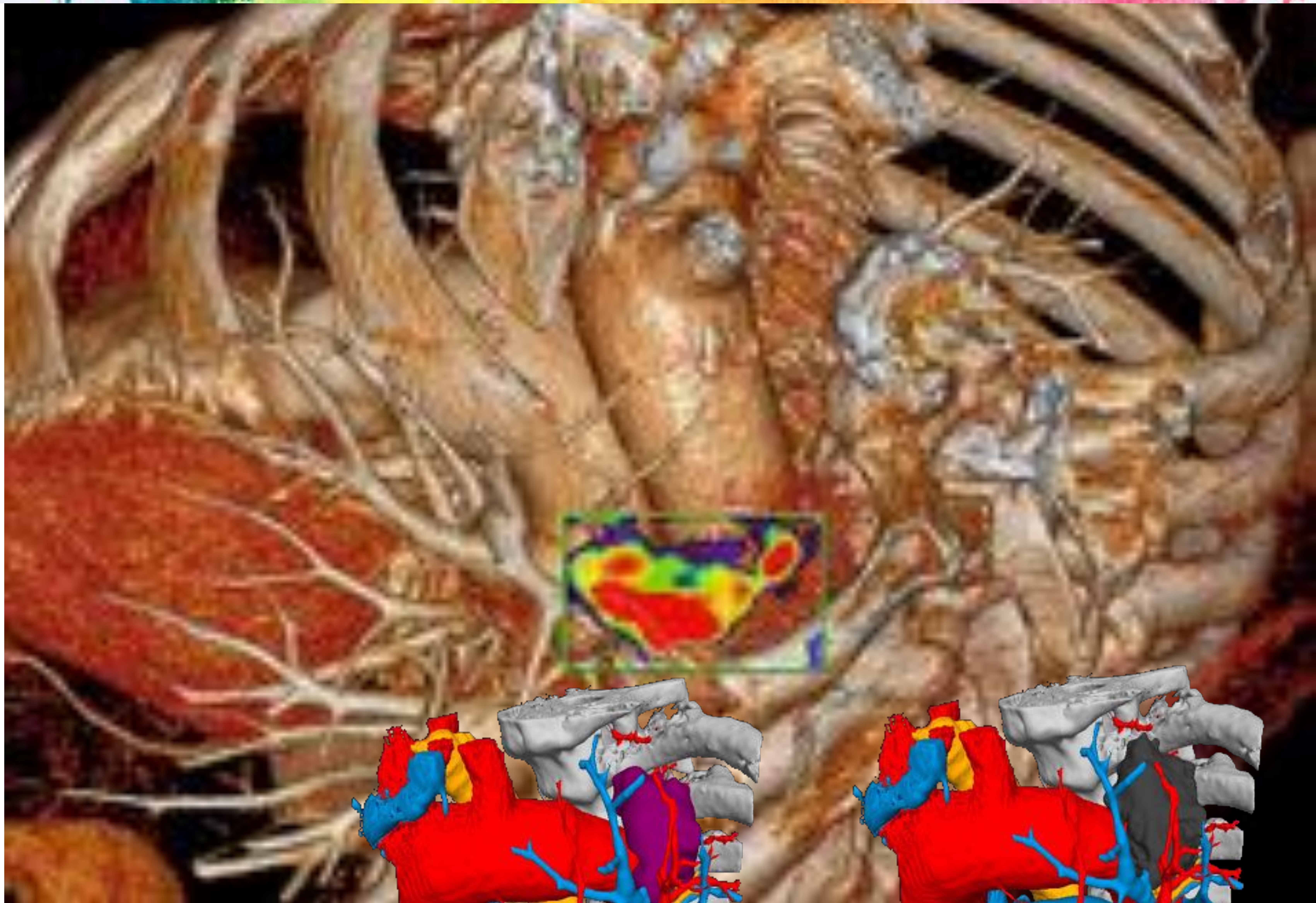
Sociedad Española de Radiología Médica

Congreso Nacional

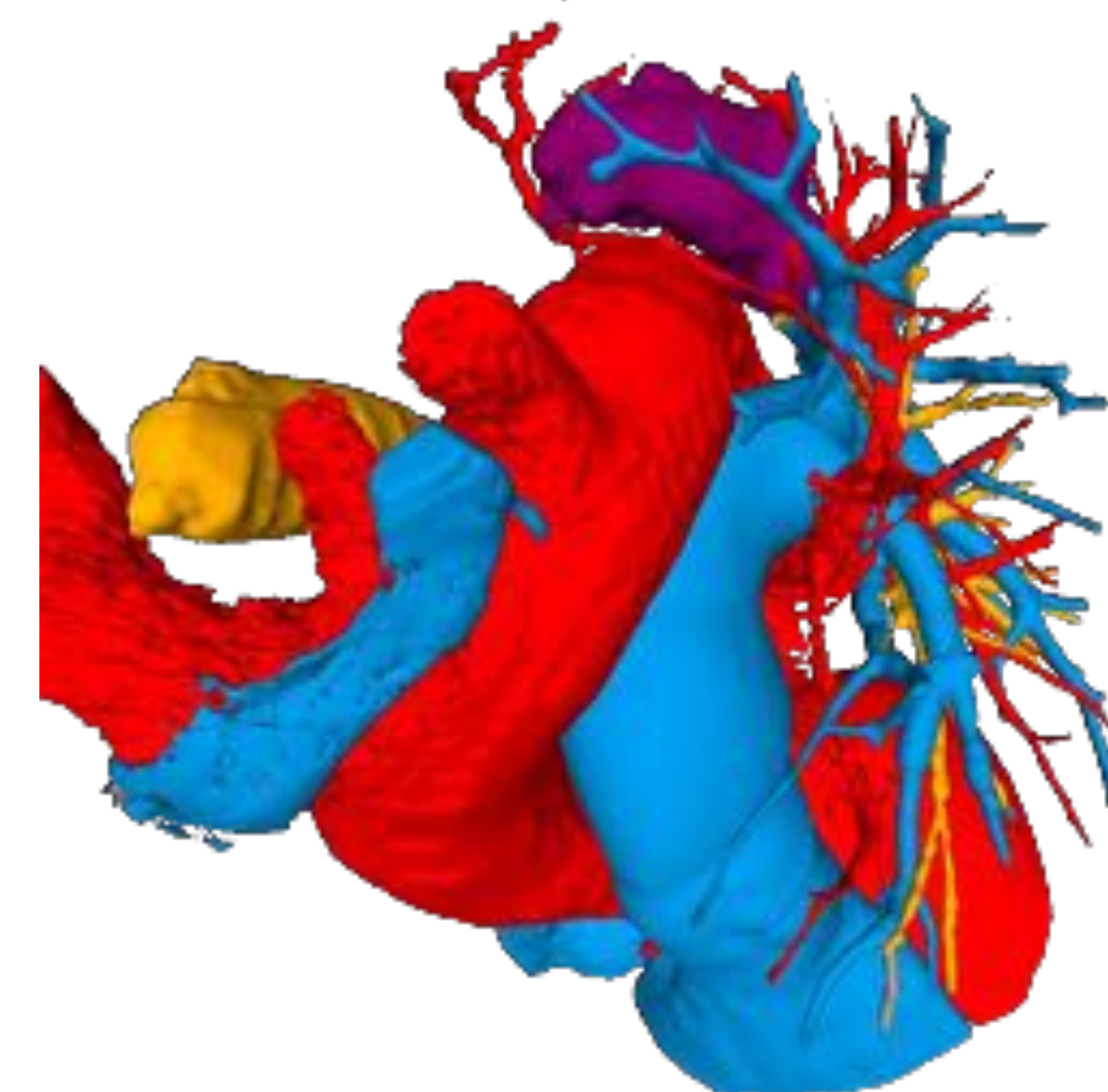
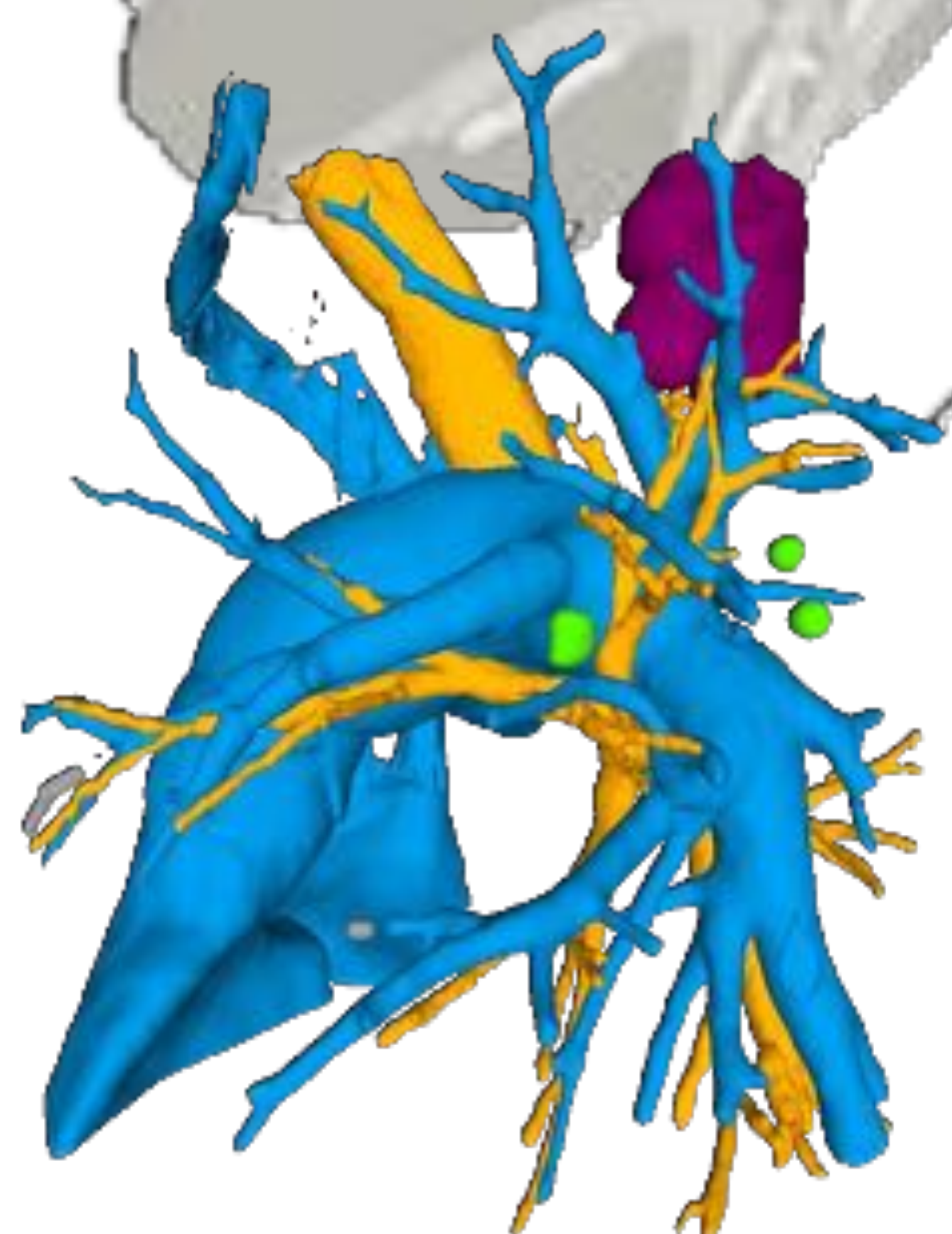
PAMPLONA 24 MAYO
27 2018

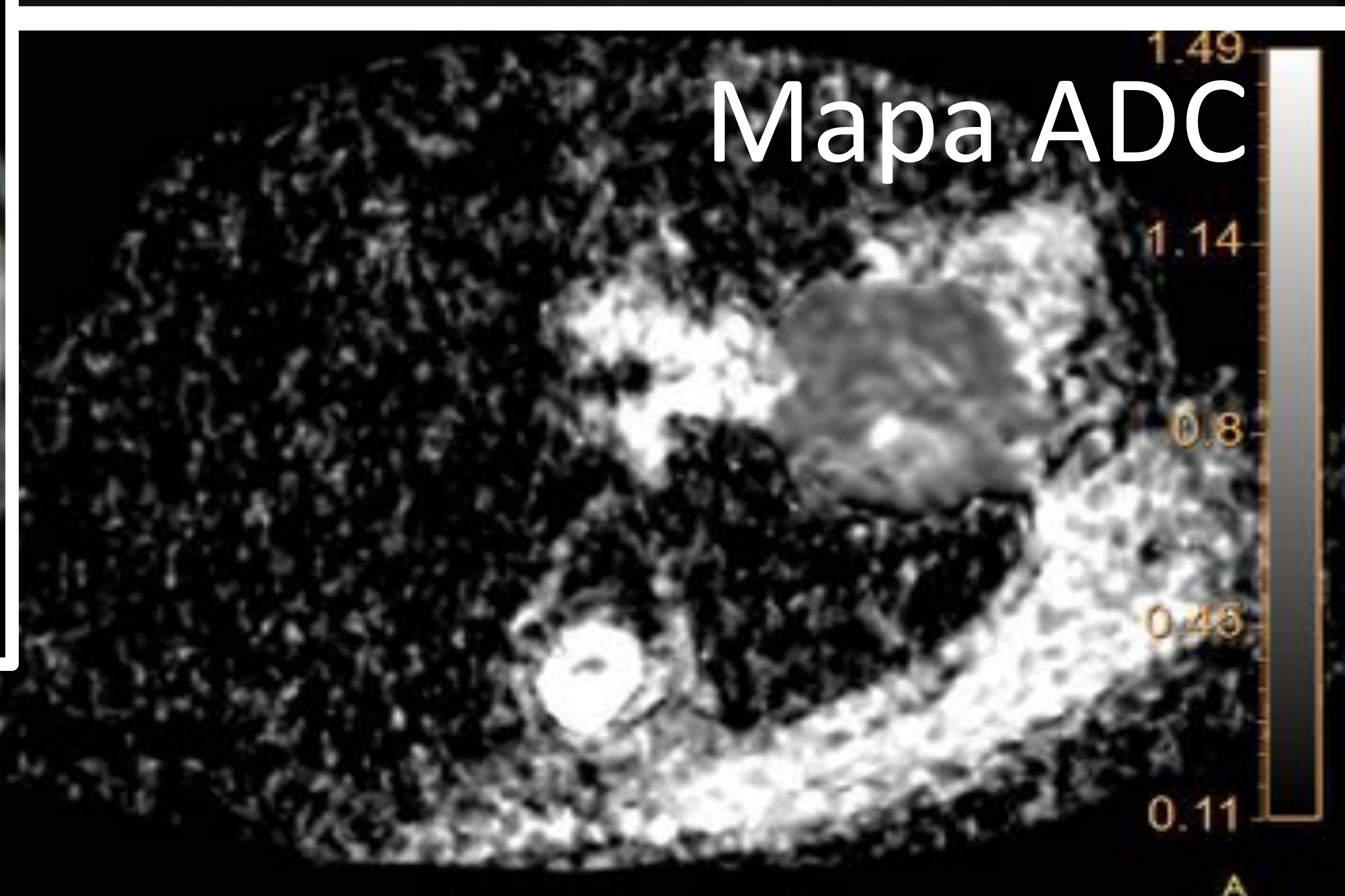
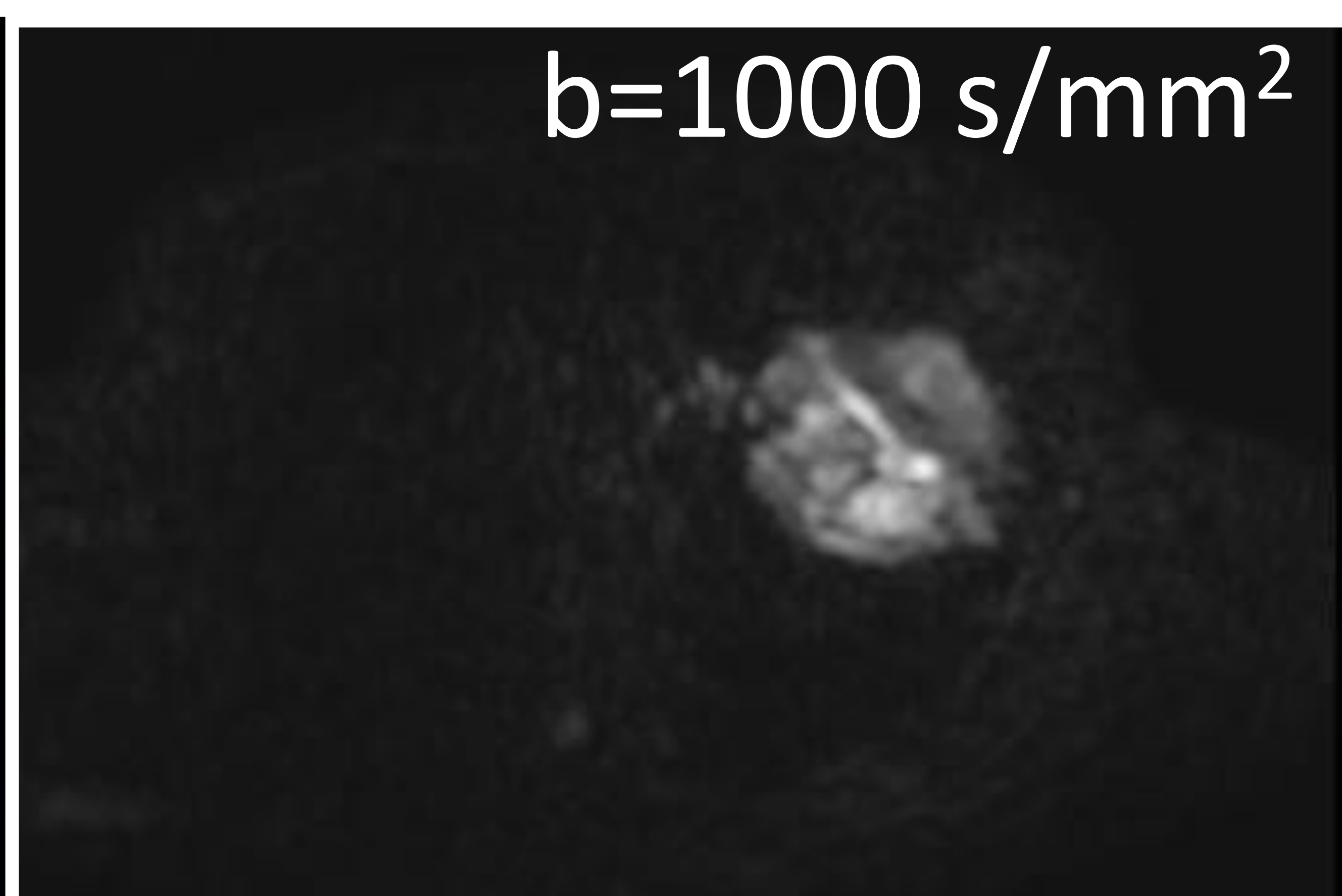
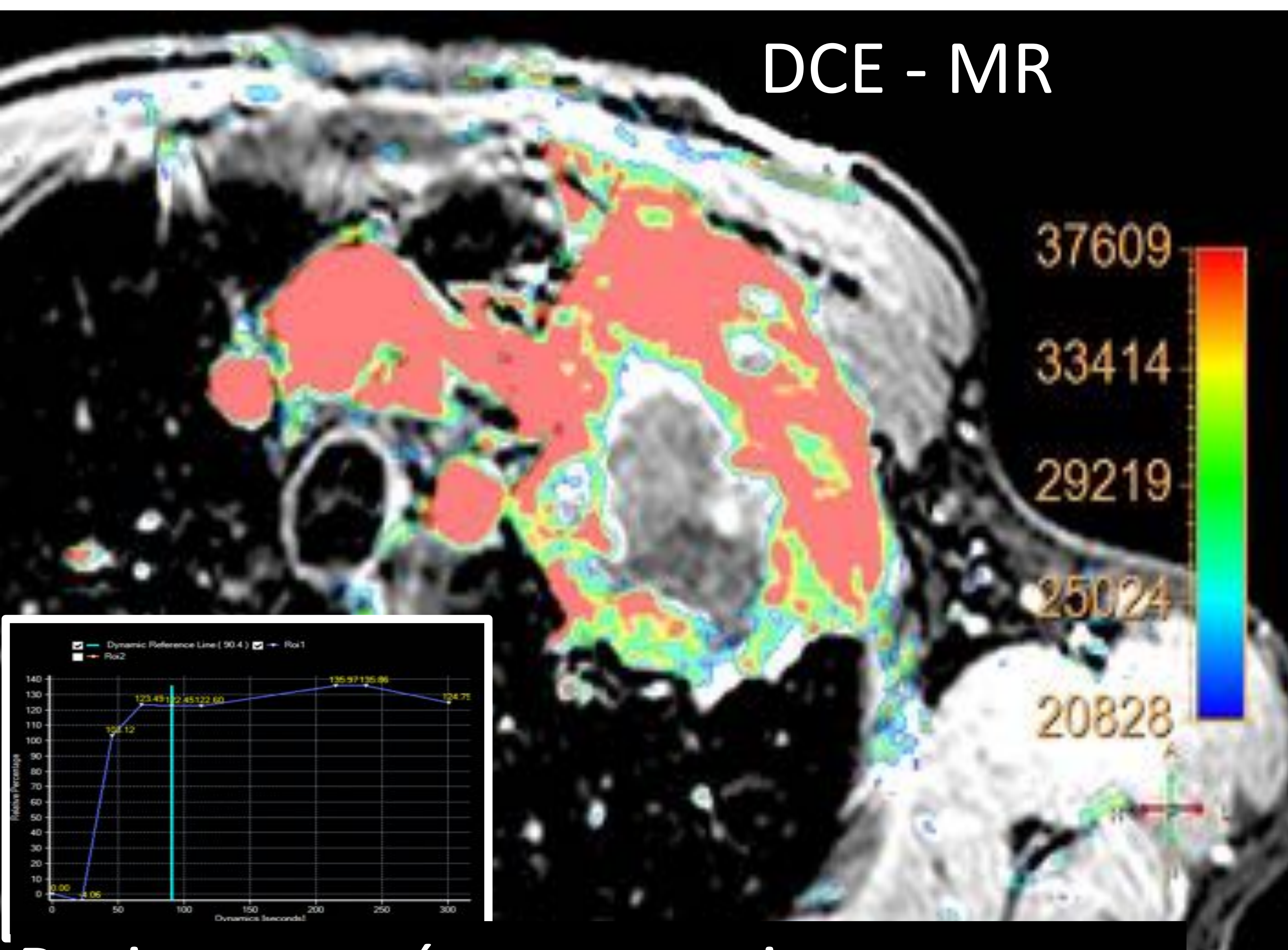
Palacio de Congresos Baluarte

23 mayo Cursos Precongreso

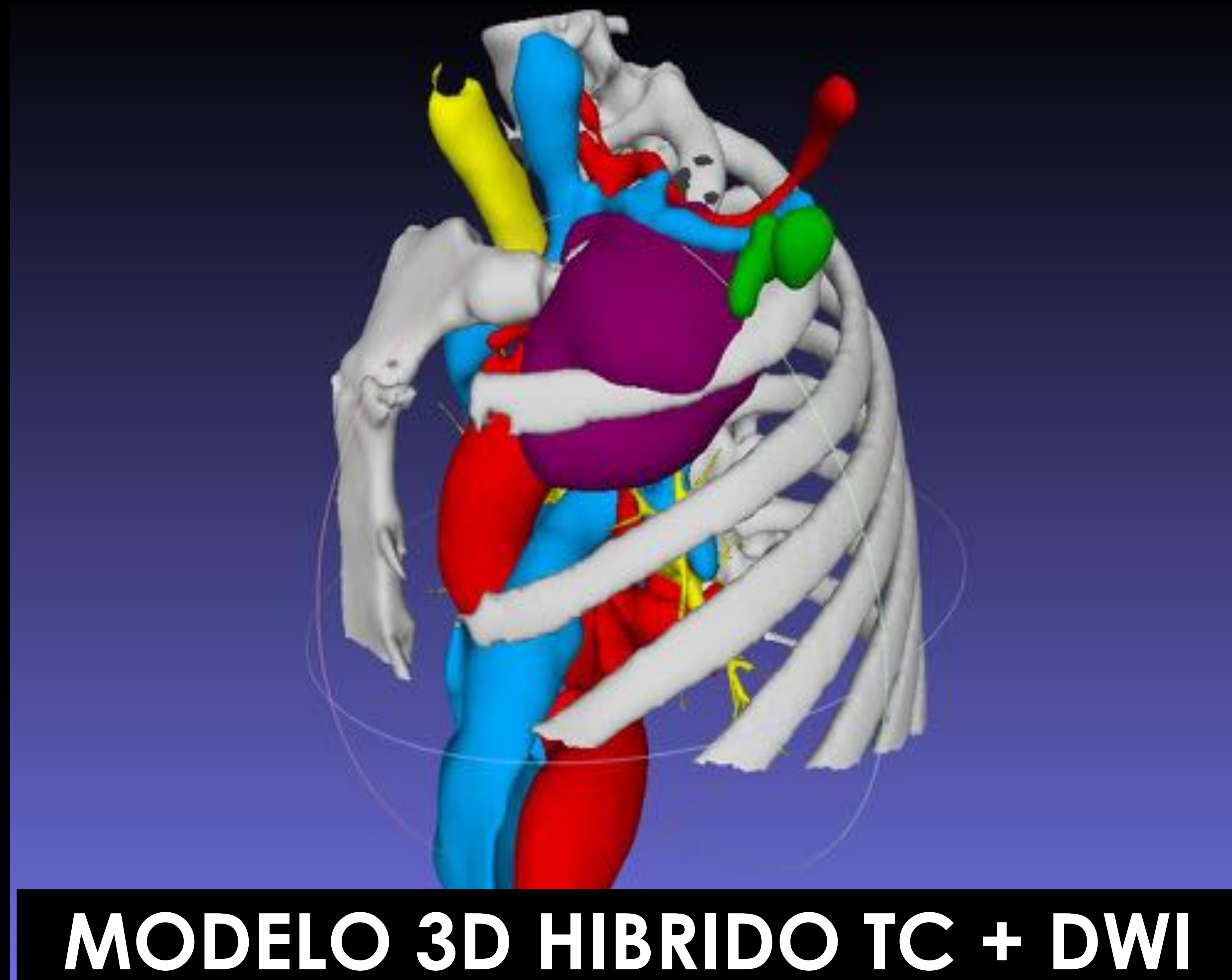
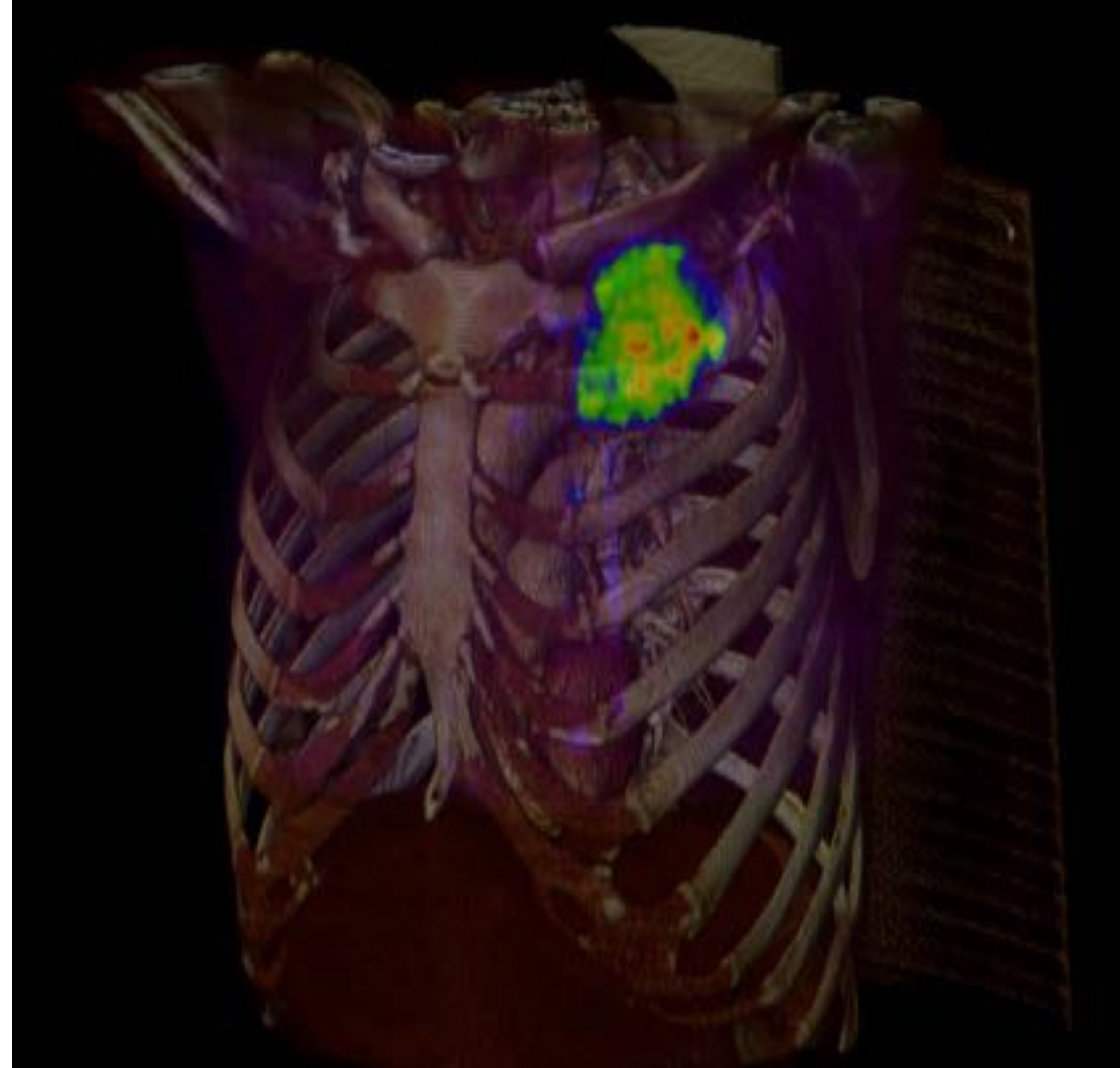
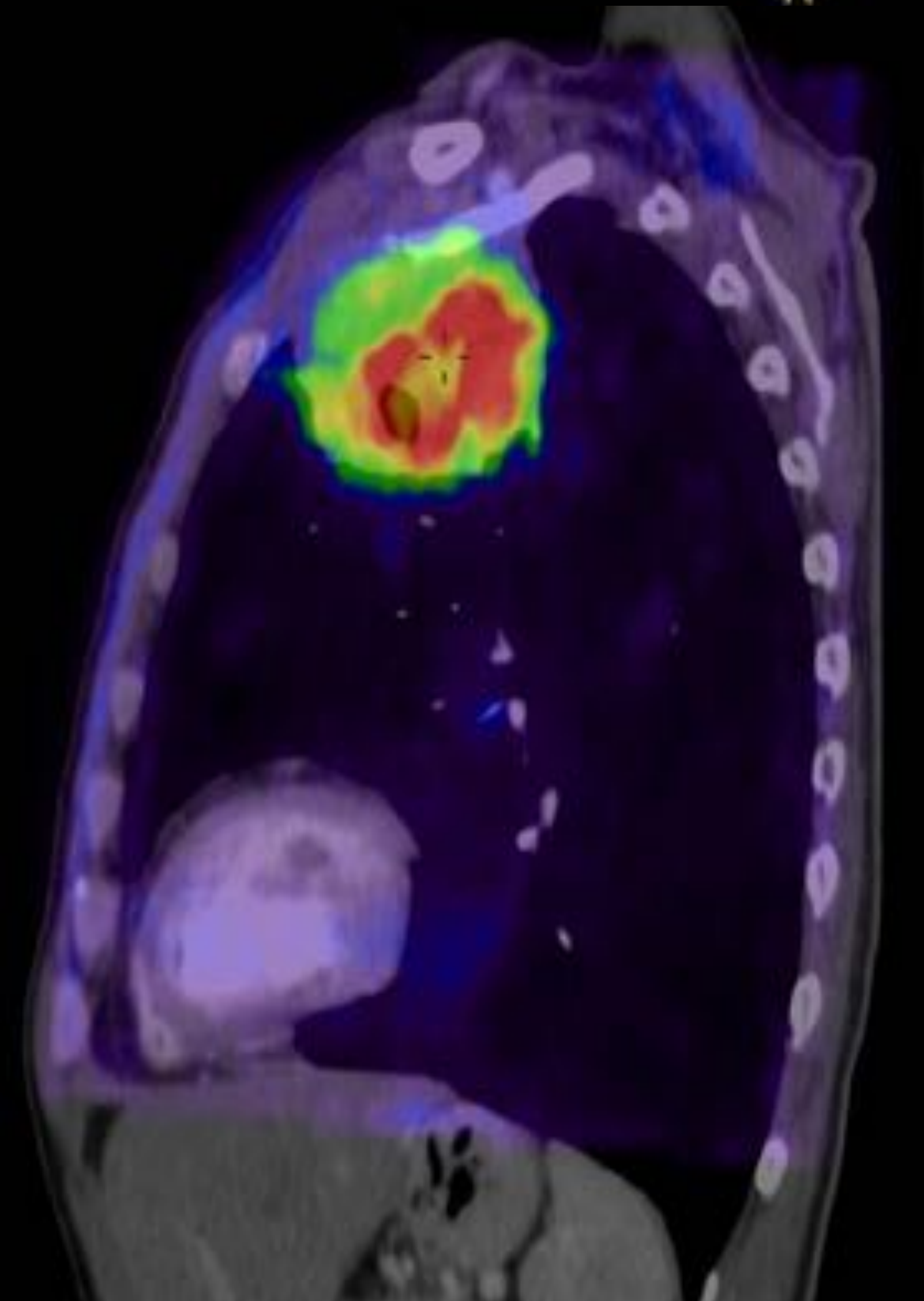
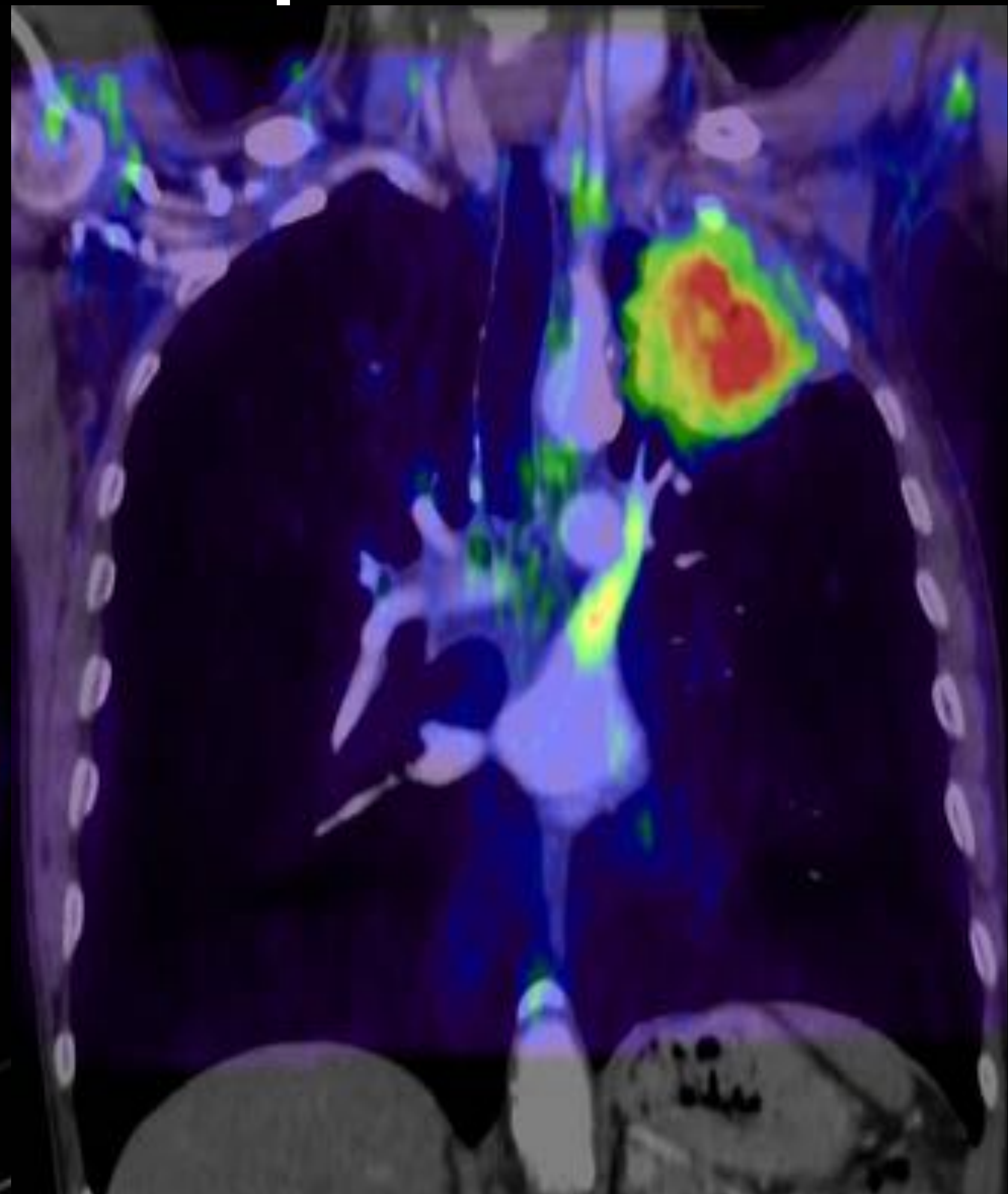
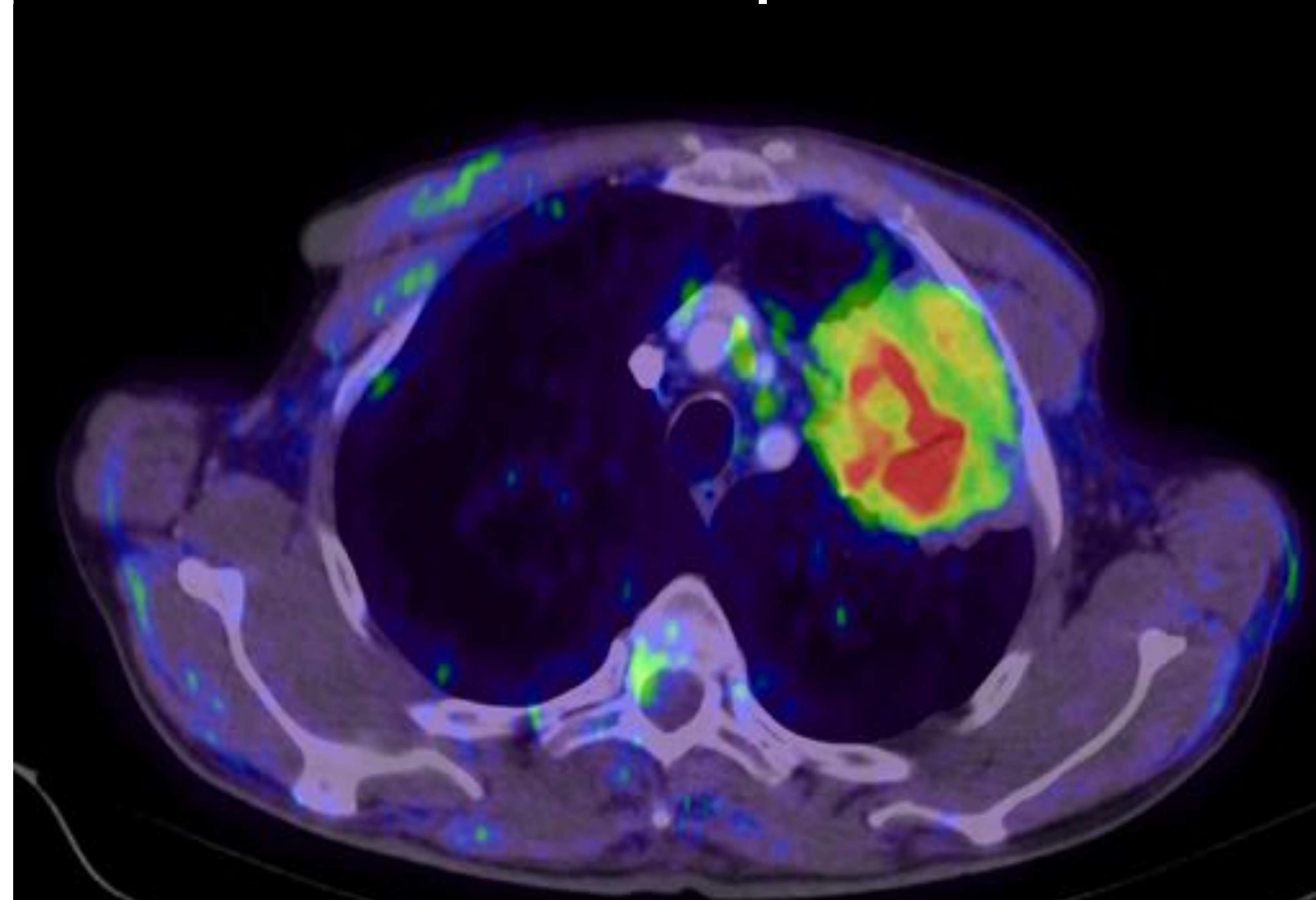


MODELO HÍBRIDO TC + DWI MODELO TC

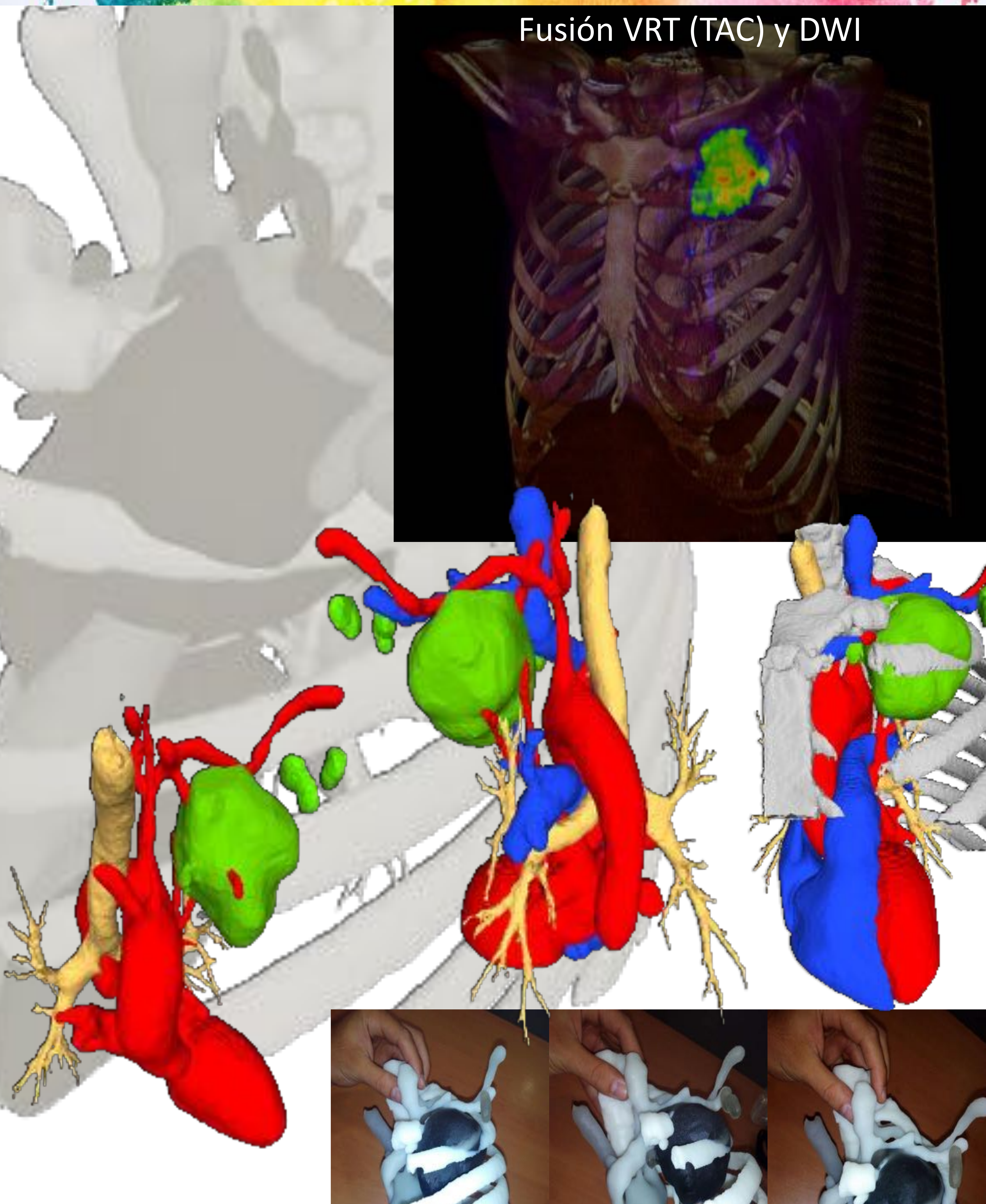




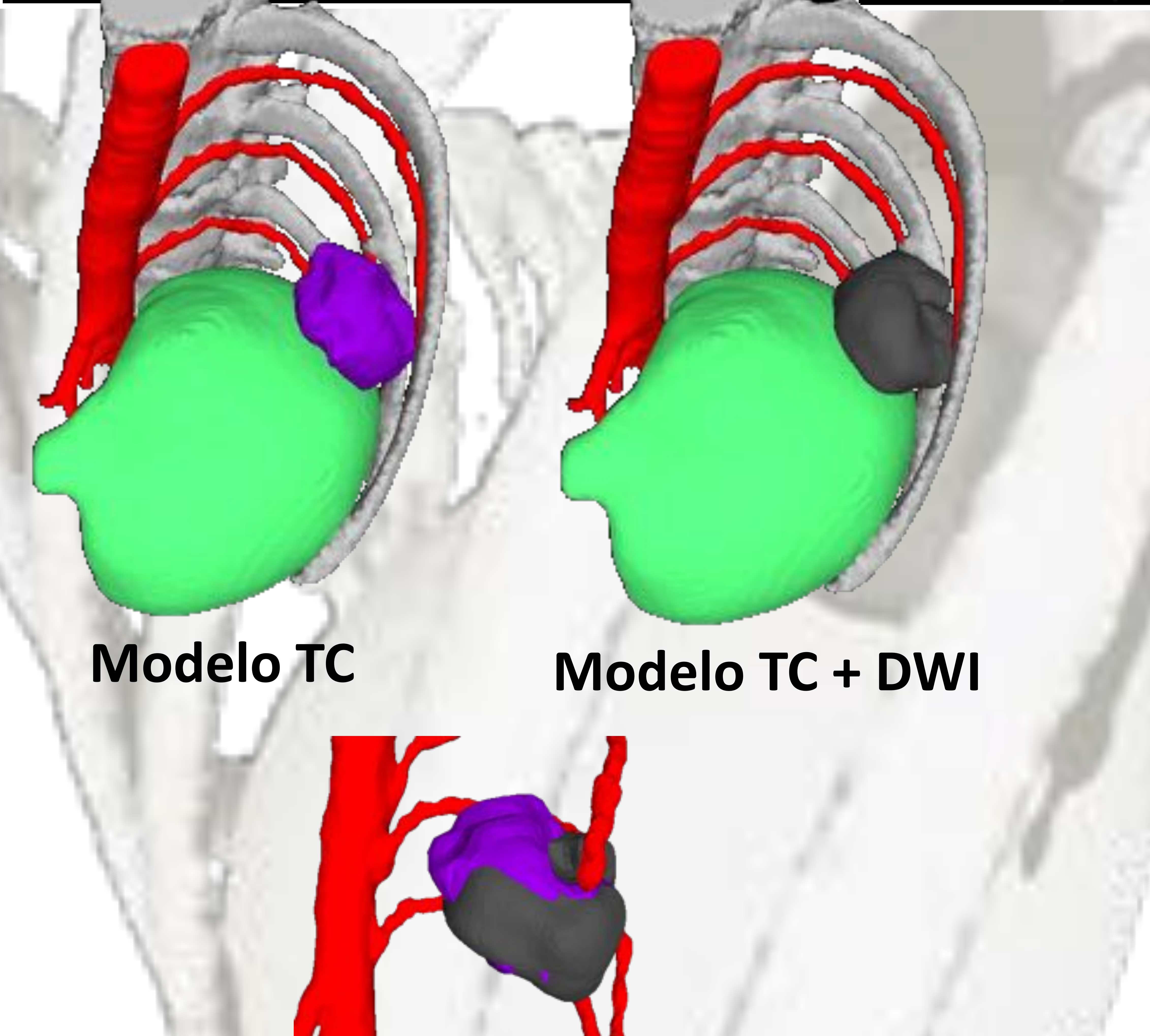
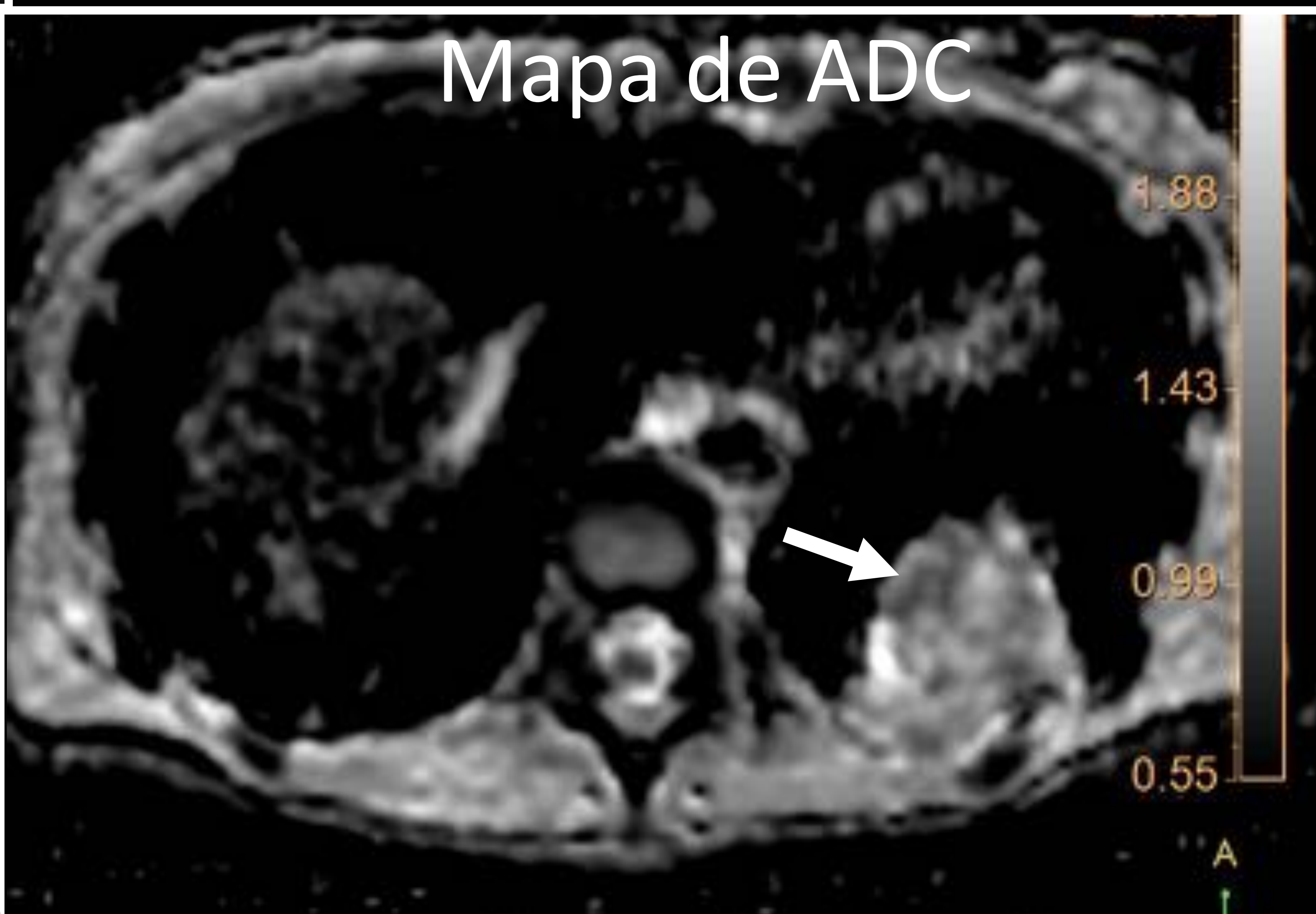
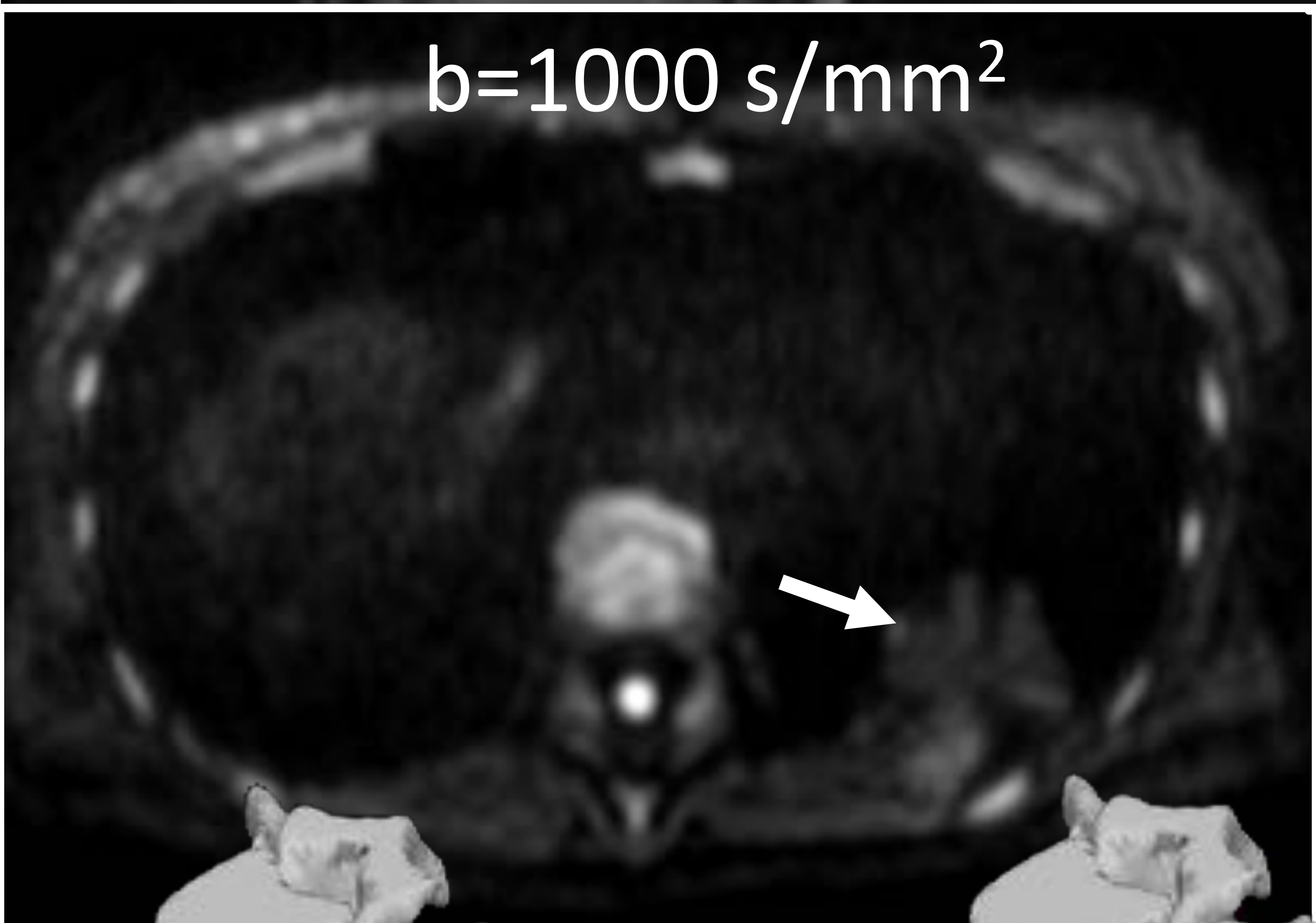
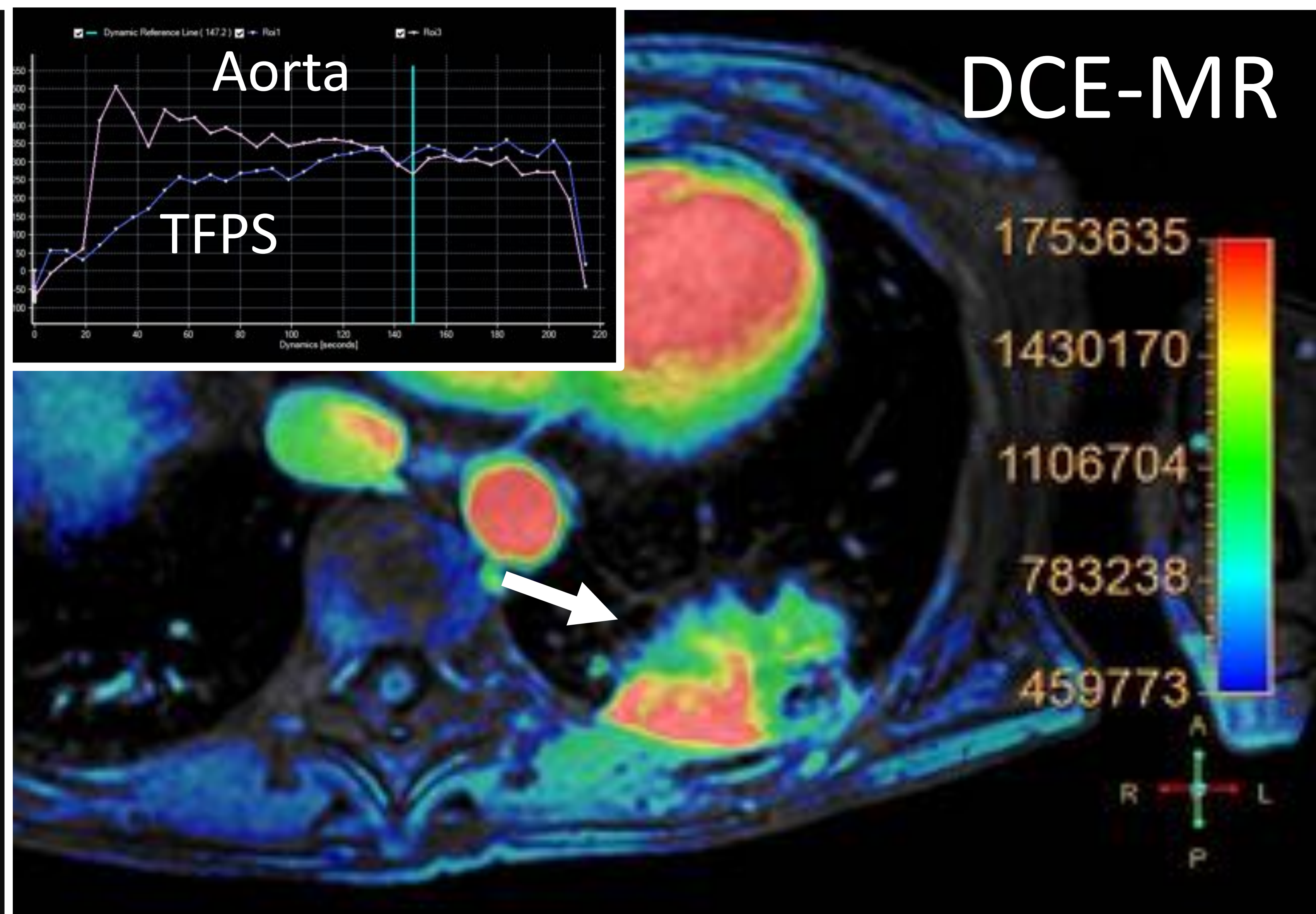
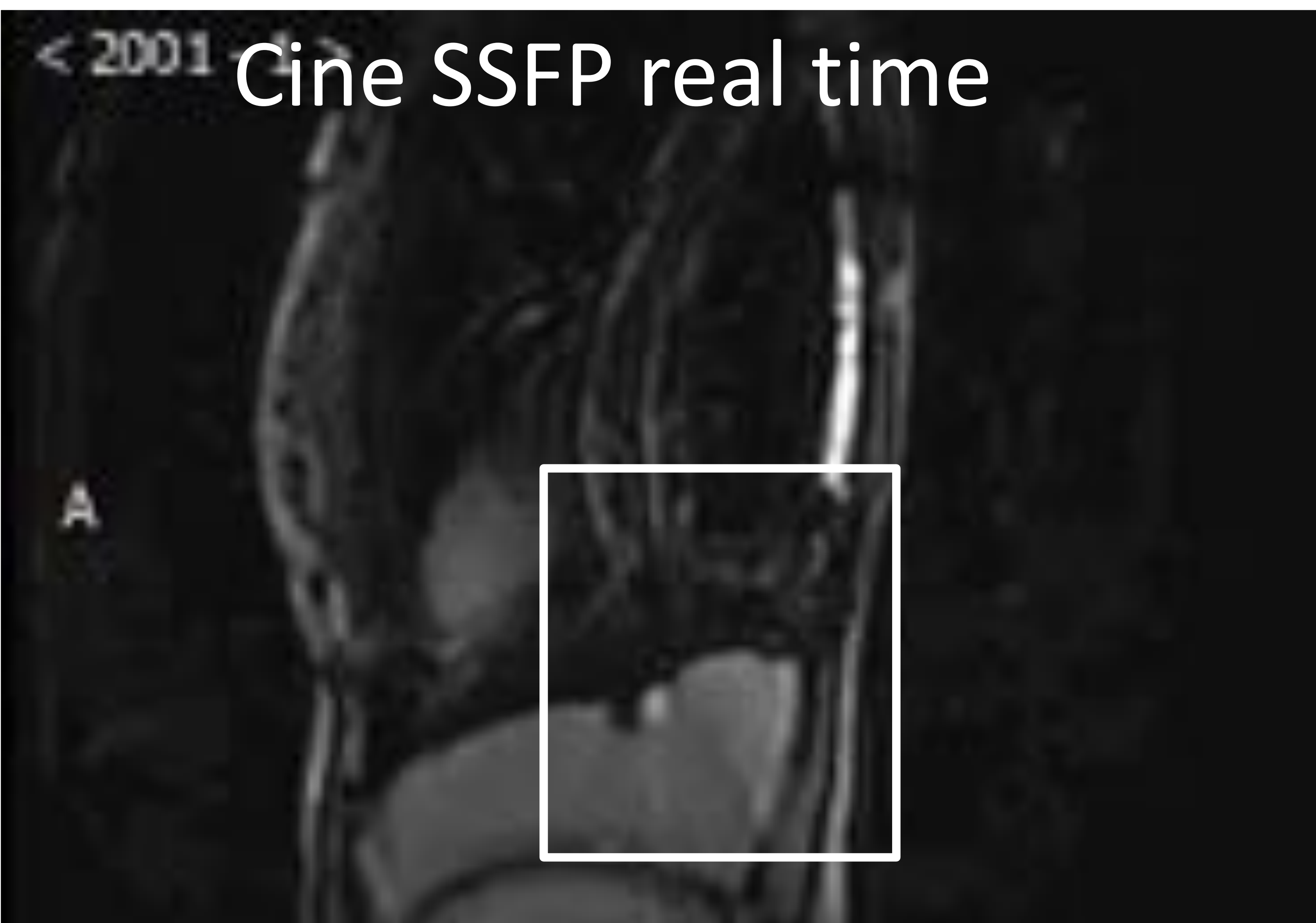
Paciente varón con carcinoma indiferenciado de pulmón oat cell



Fusión VRT (TAC) y DWI



Modelo impreso con
Material Jetting.
Impresora Object 5500
Compuesto base acrílica

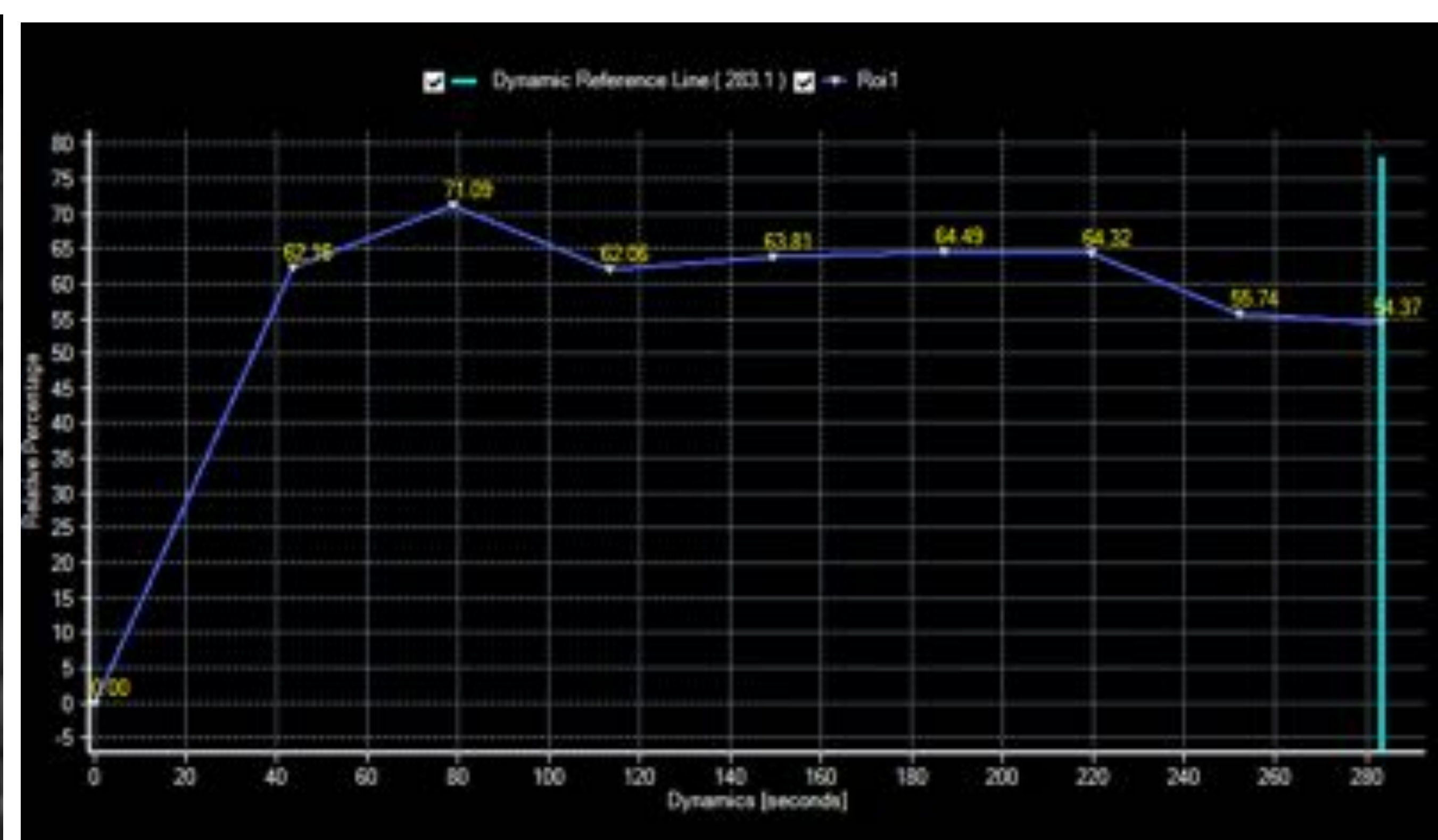
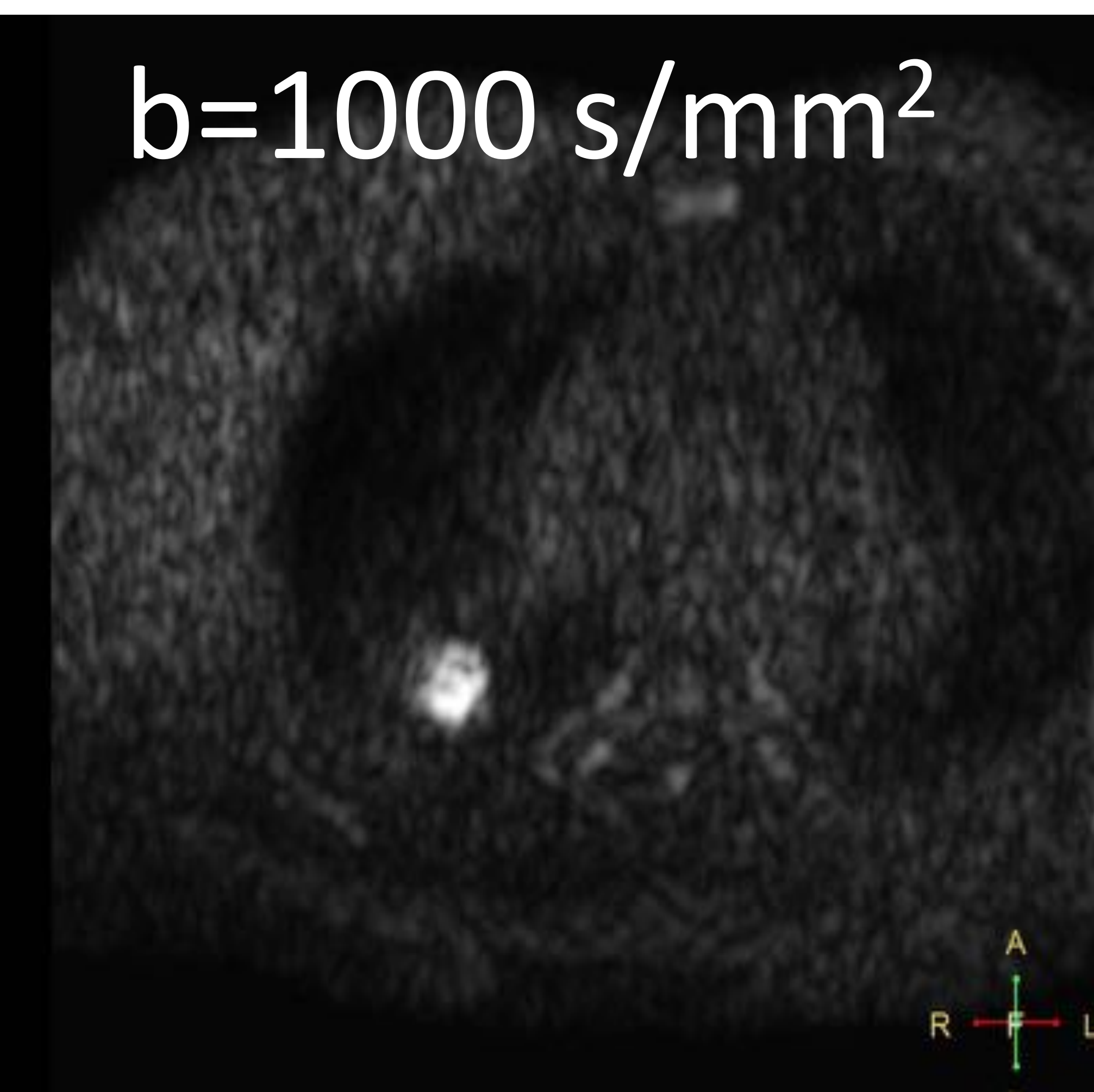


Modelo TC

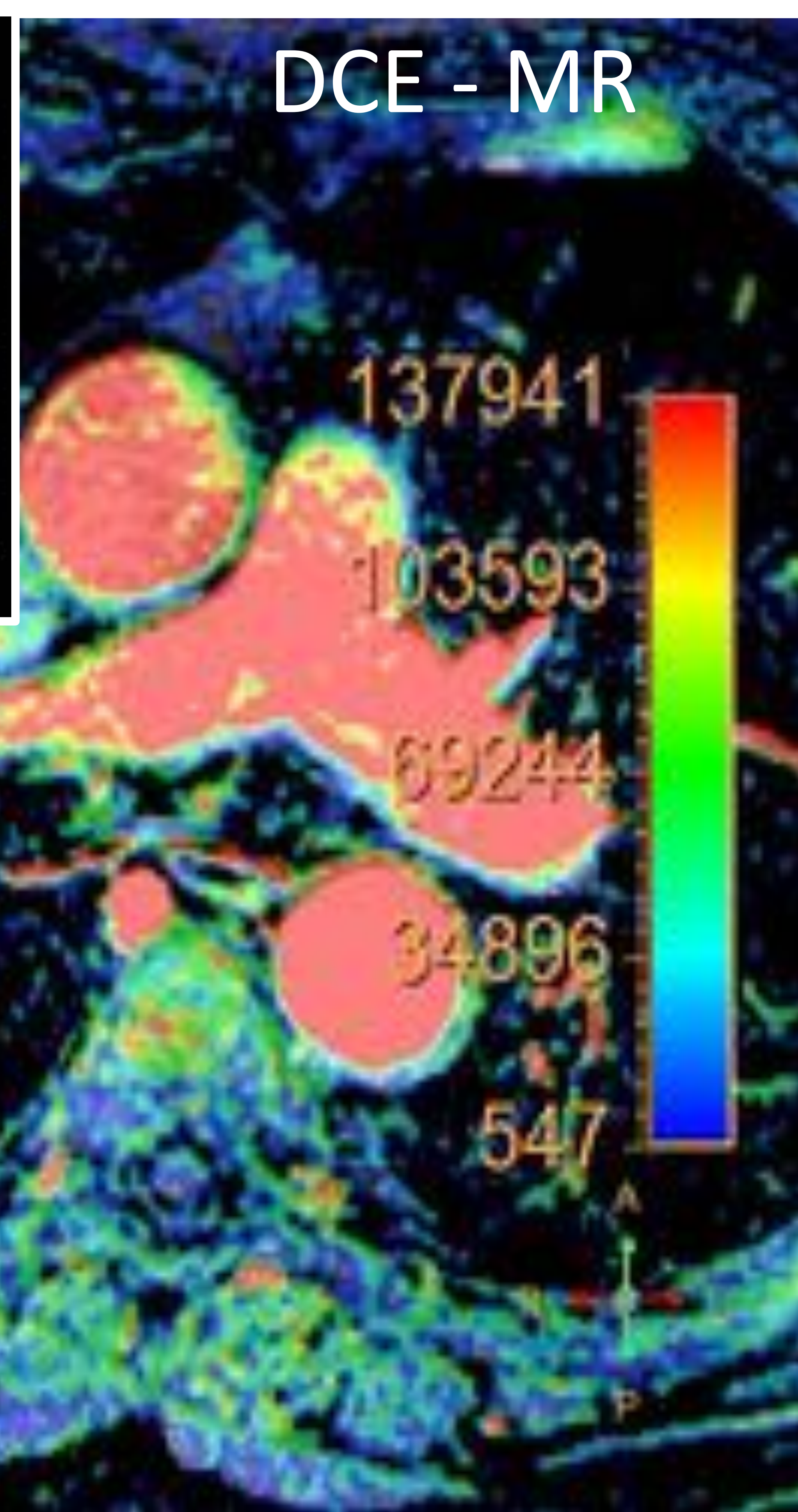
Modelo TC + DWI

Correlación TC y DWI

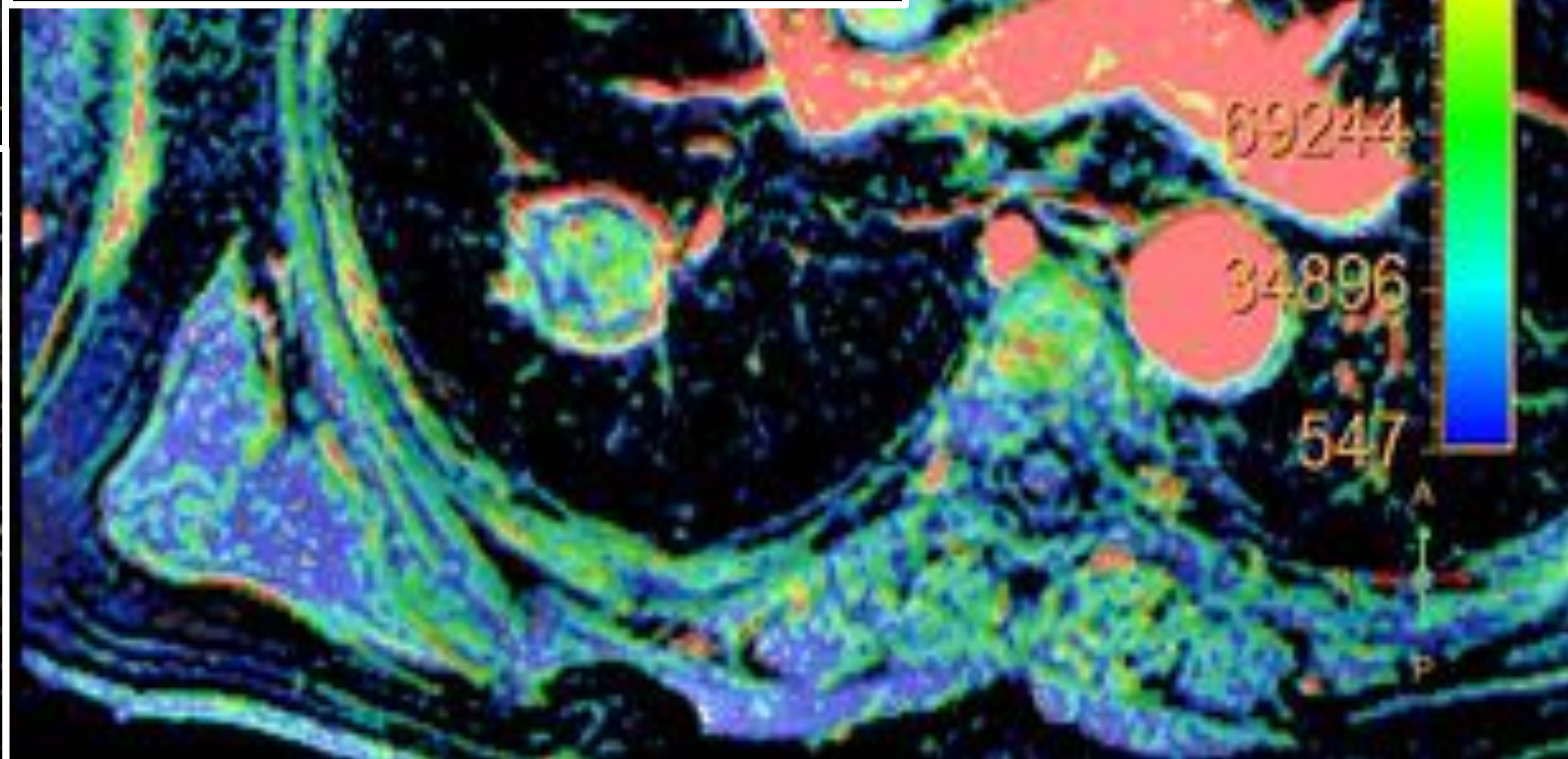
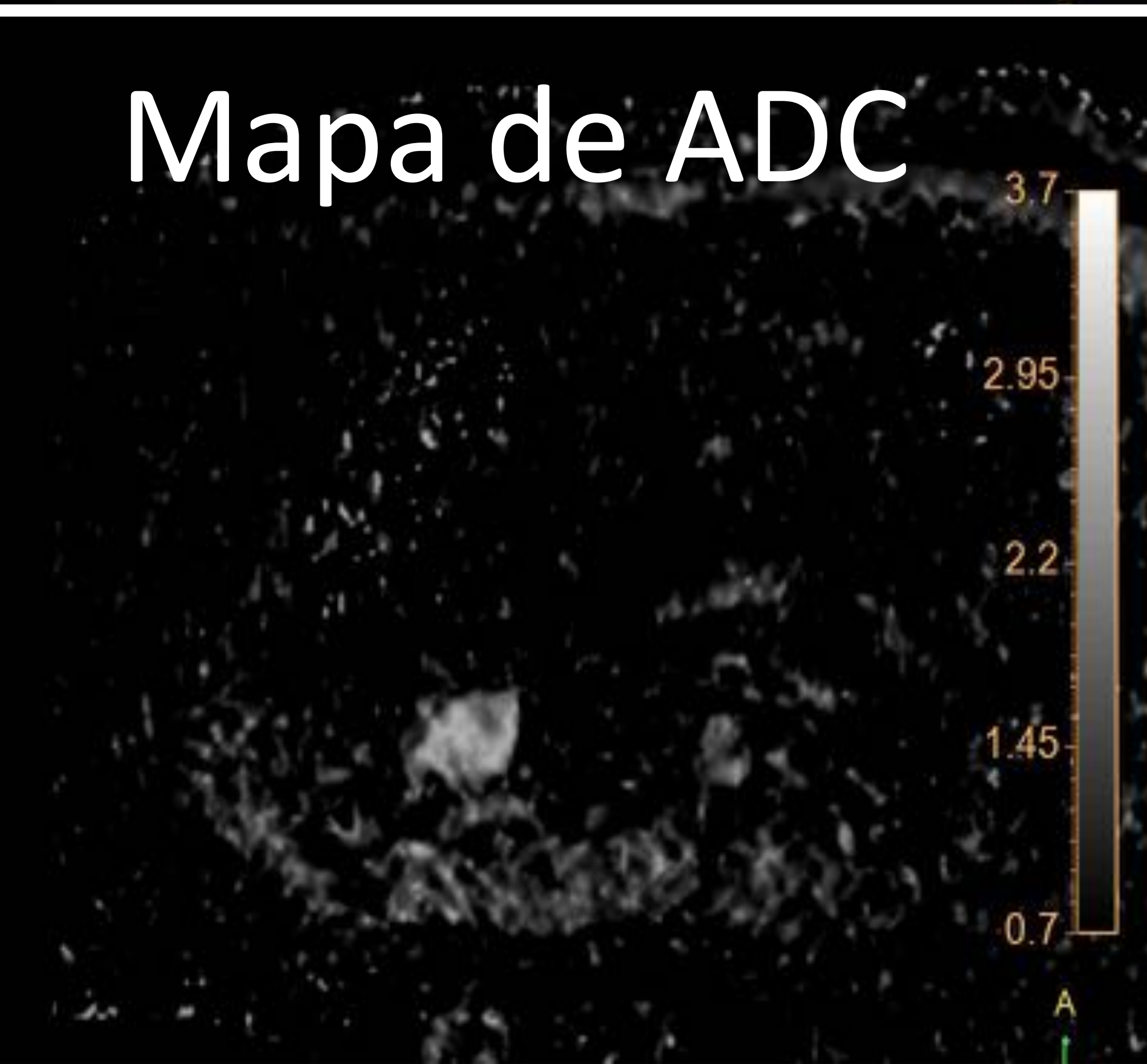
$b=1000 \text{ s/mm}^2$



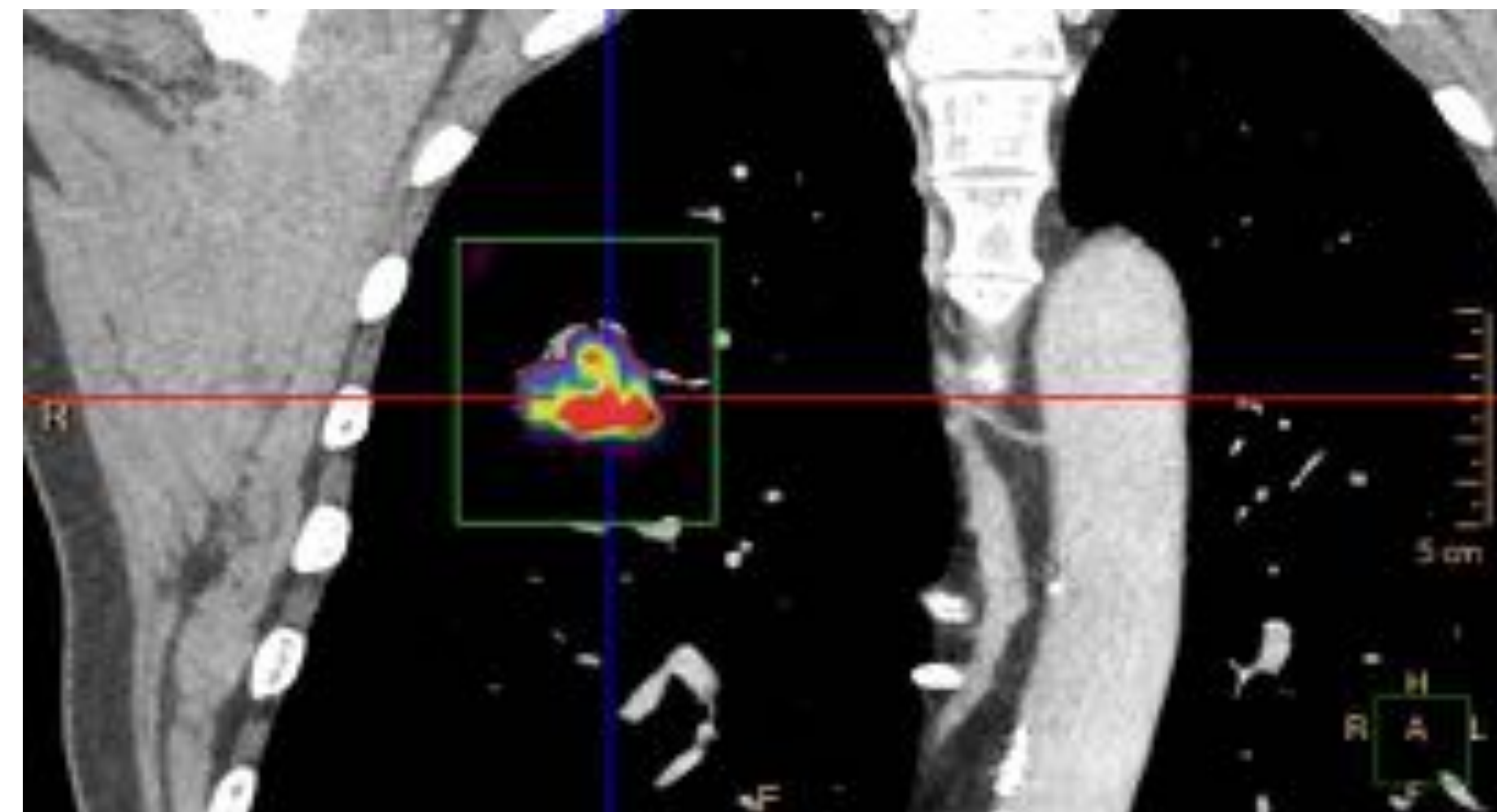
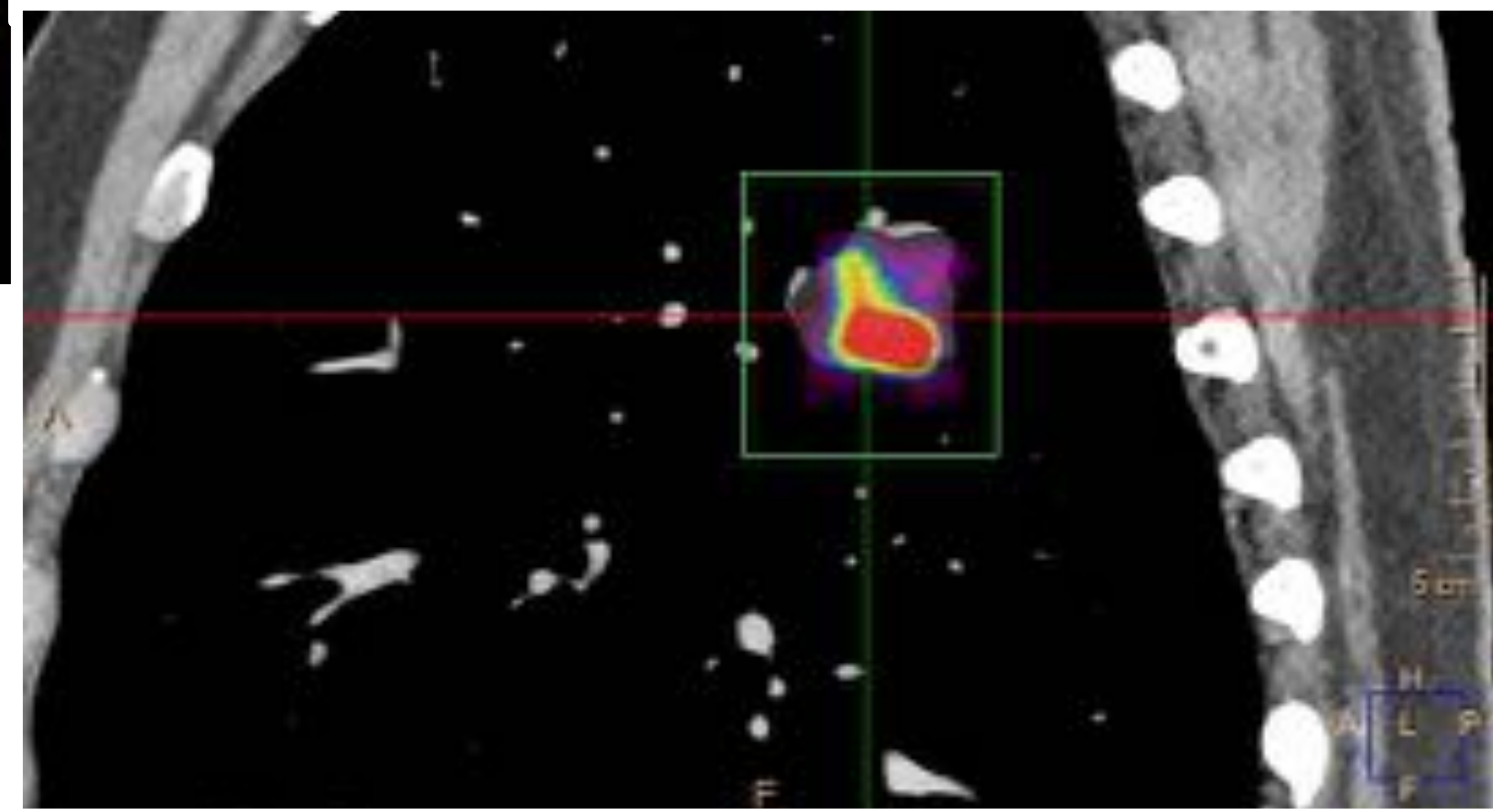
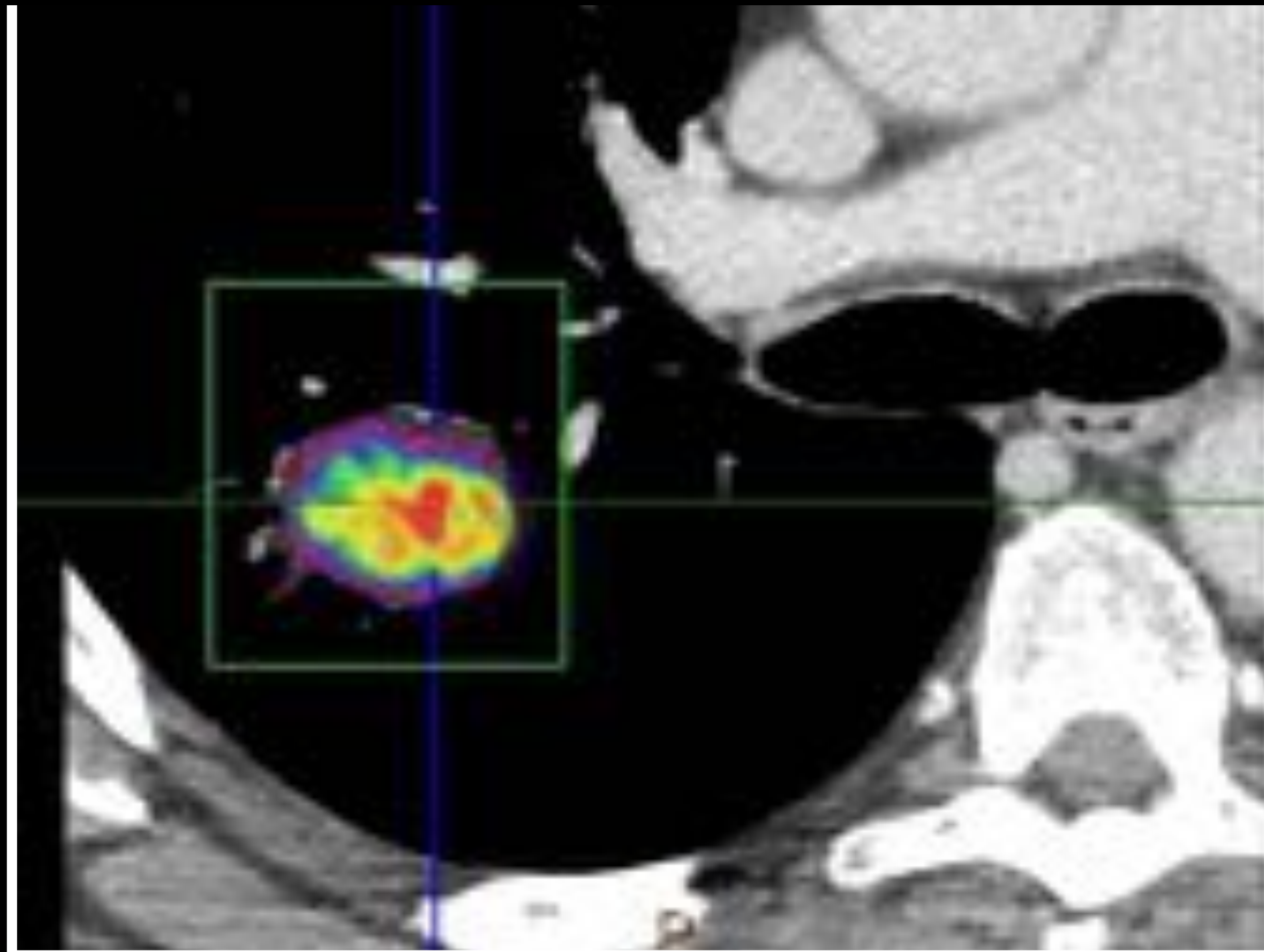
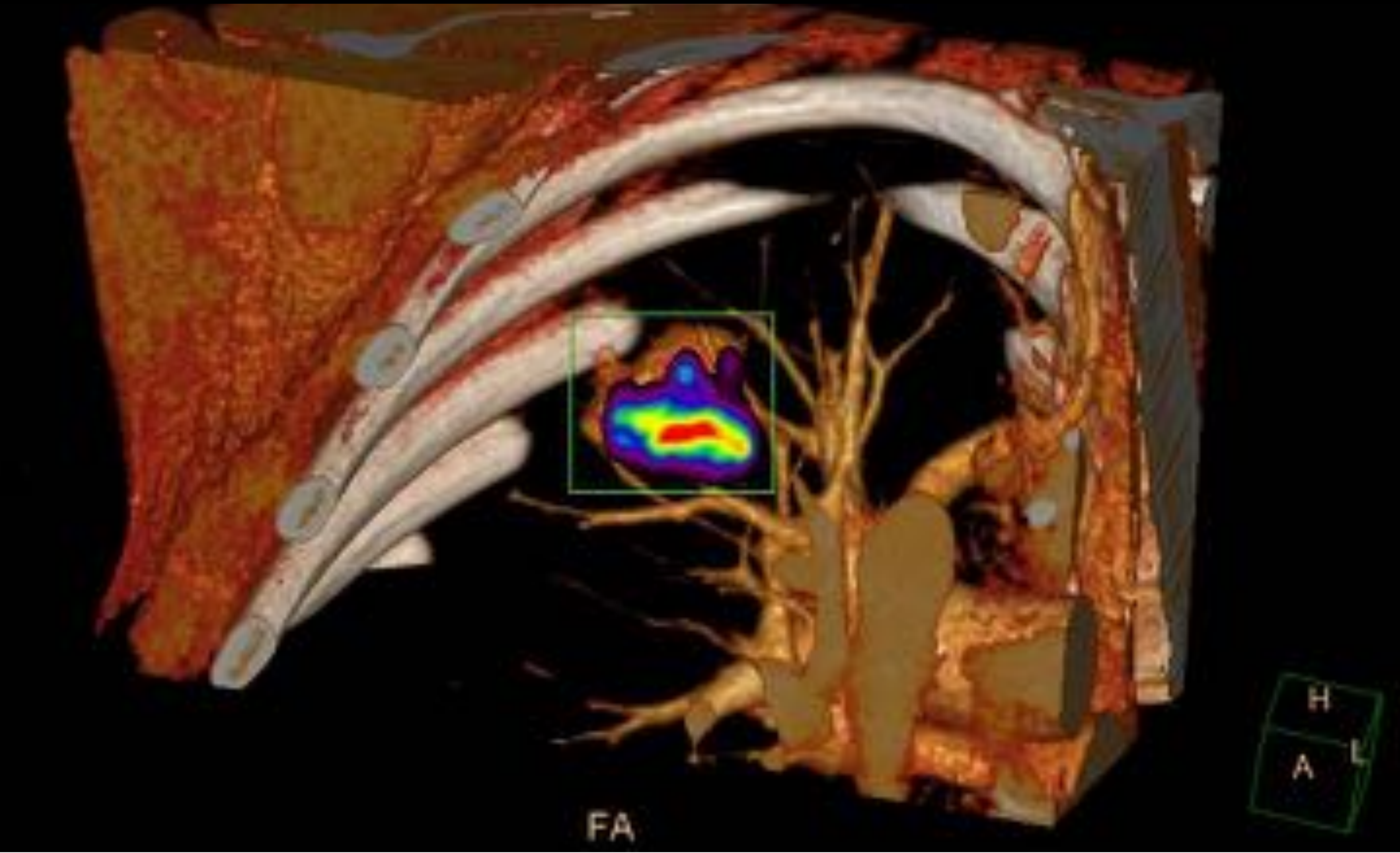
DCE - MR



Mapa de ADC



FUSIÓN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA + DWI ($b=1000 \text{ s/mm}^2$)

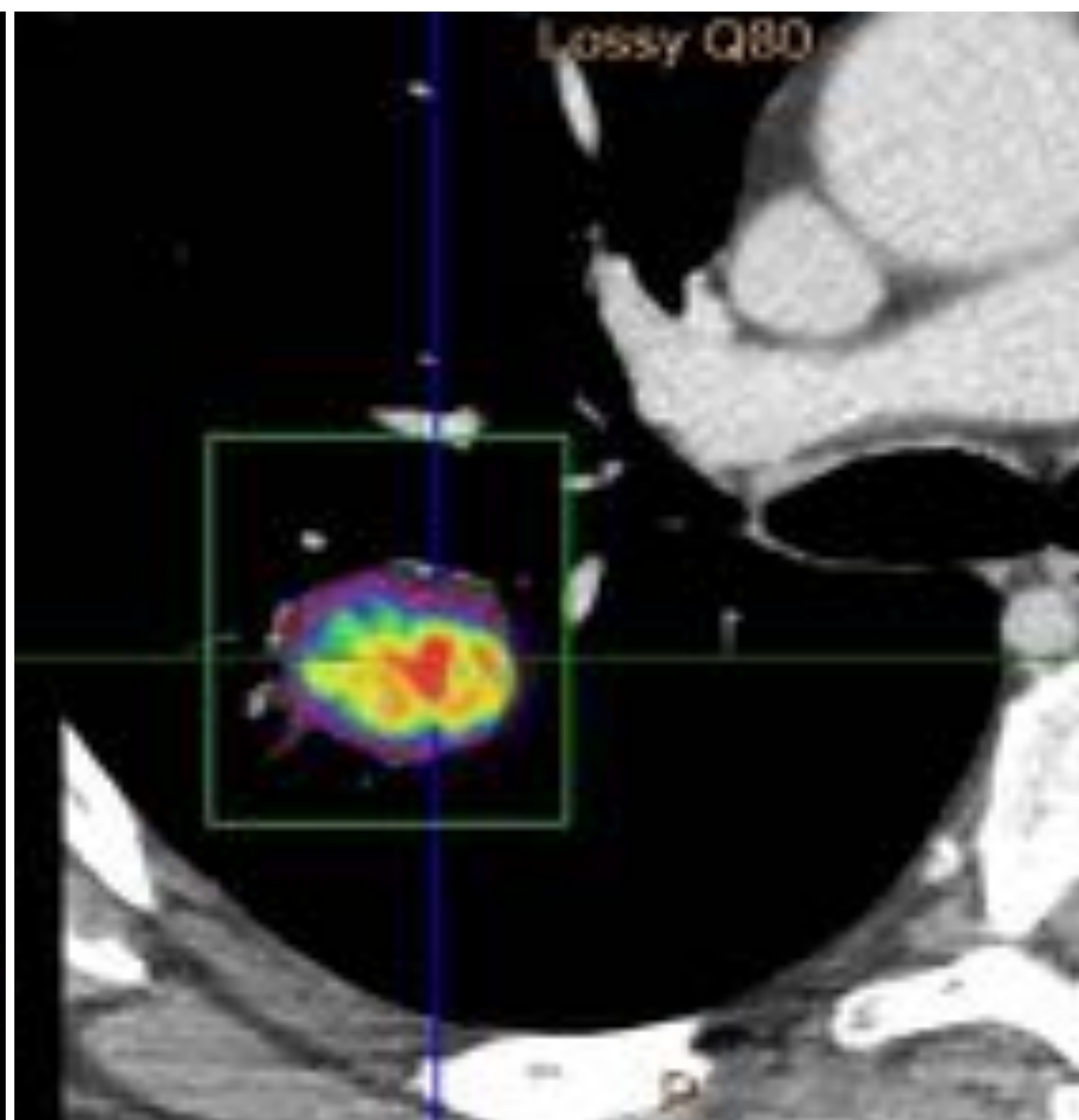
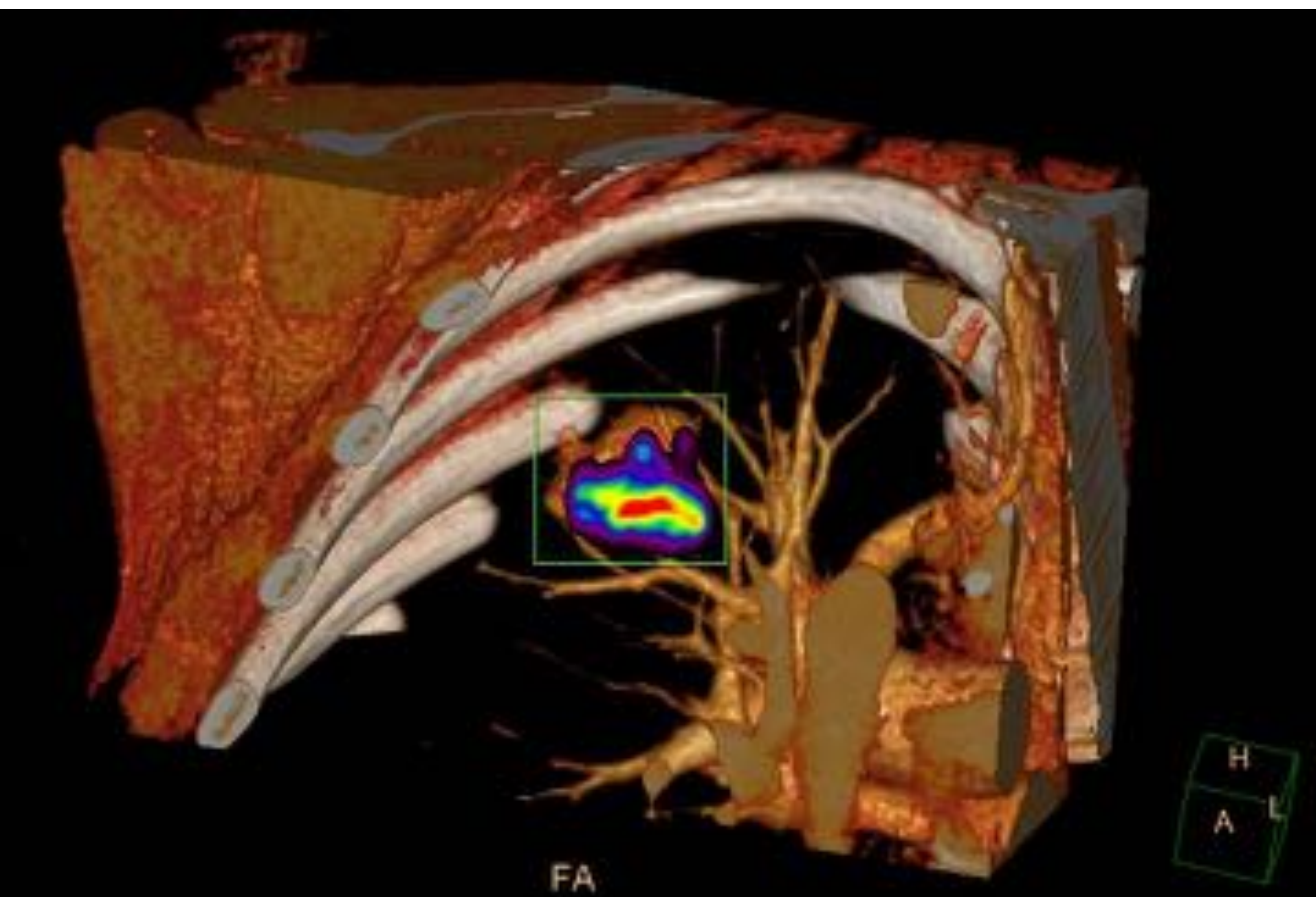


Paciente varón de 75 años con metástasis pulmonar de origen intestinal (antecedentes de neoplasia de colon).

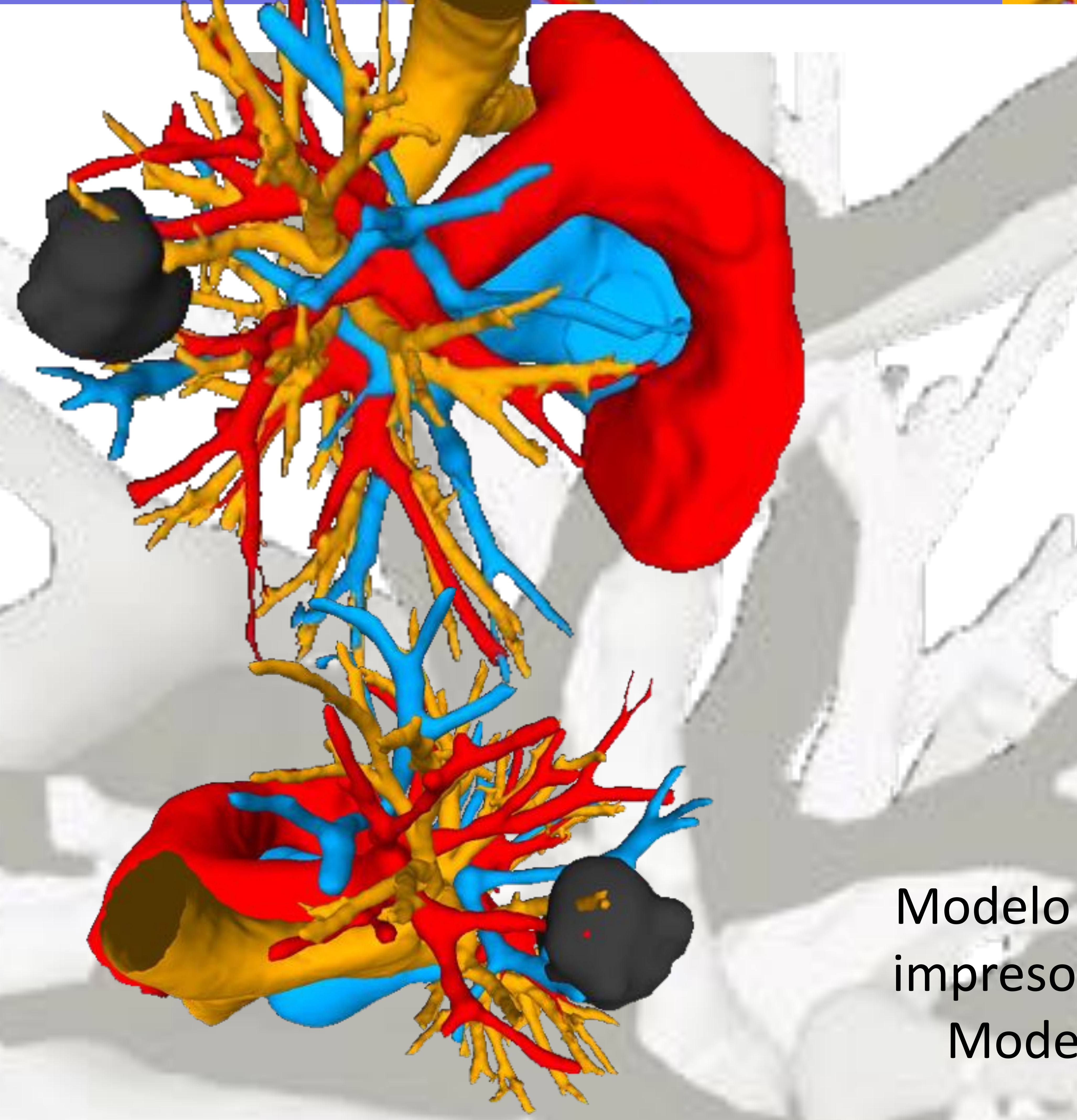
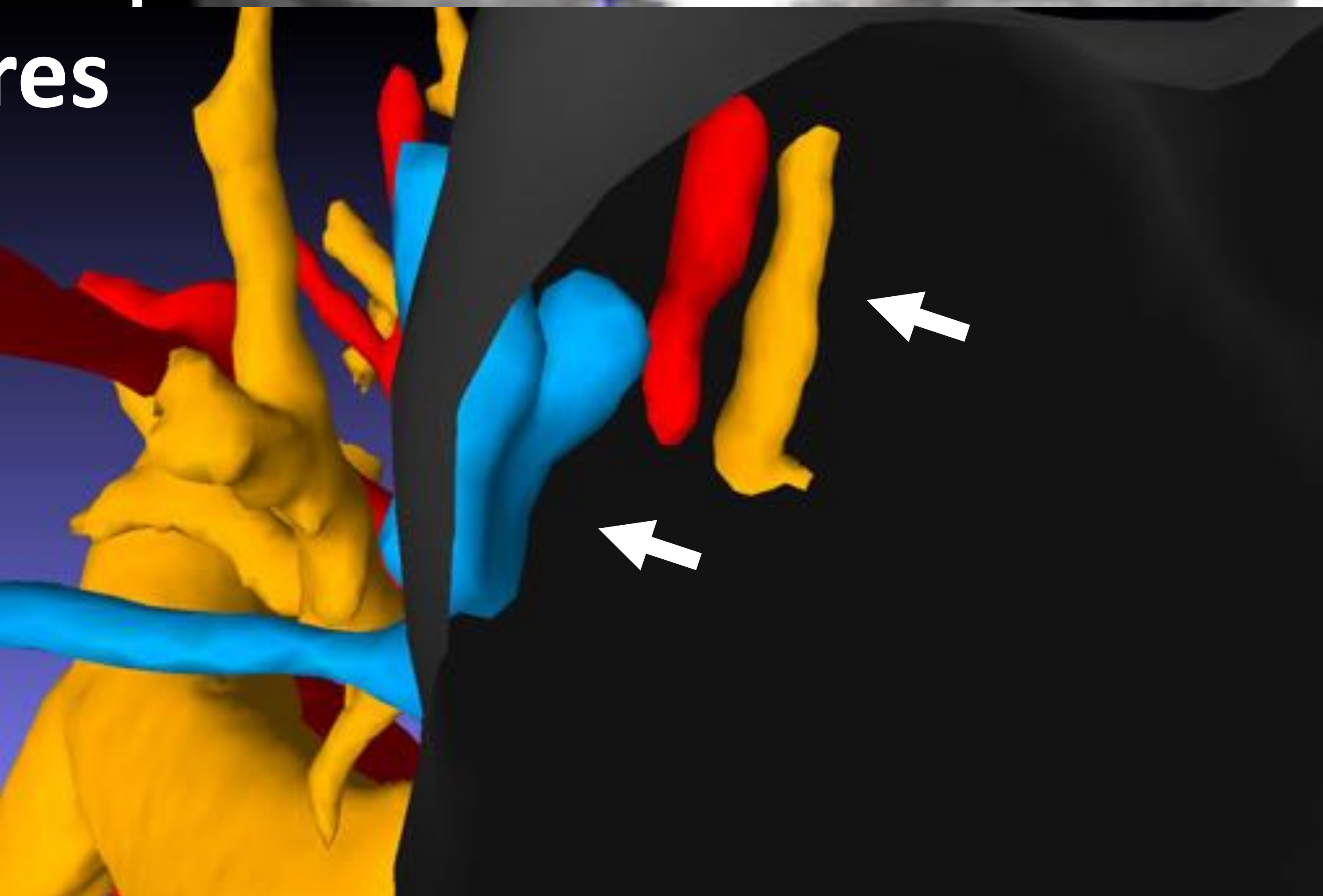
Masa pulmonar de 35 x 30 mm en lóbulo superior derecho, localmente infiltrante.

DCE-MR con curva de captación tipo B.

Restricción en difusión ($ADC_{\text{medio}}: 0,82 \pm 0,32 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$) indicando hiper celularidad.



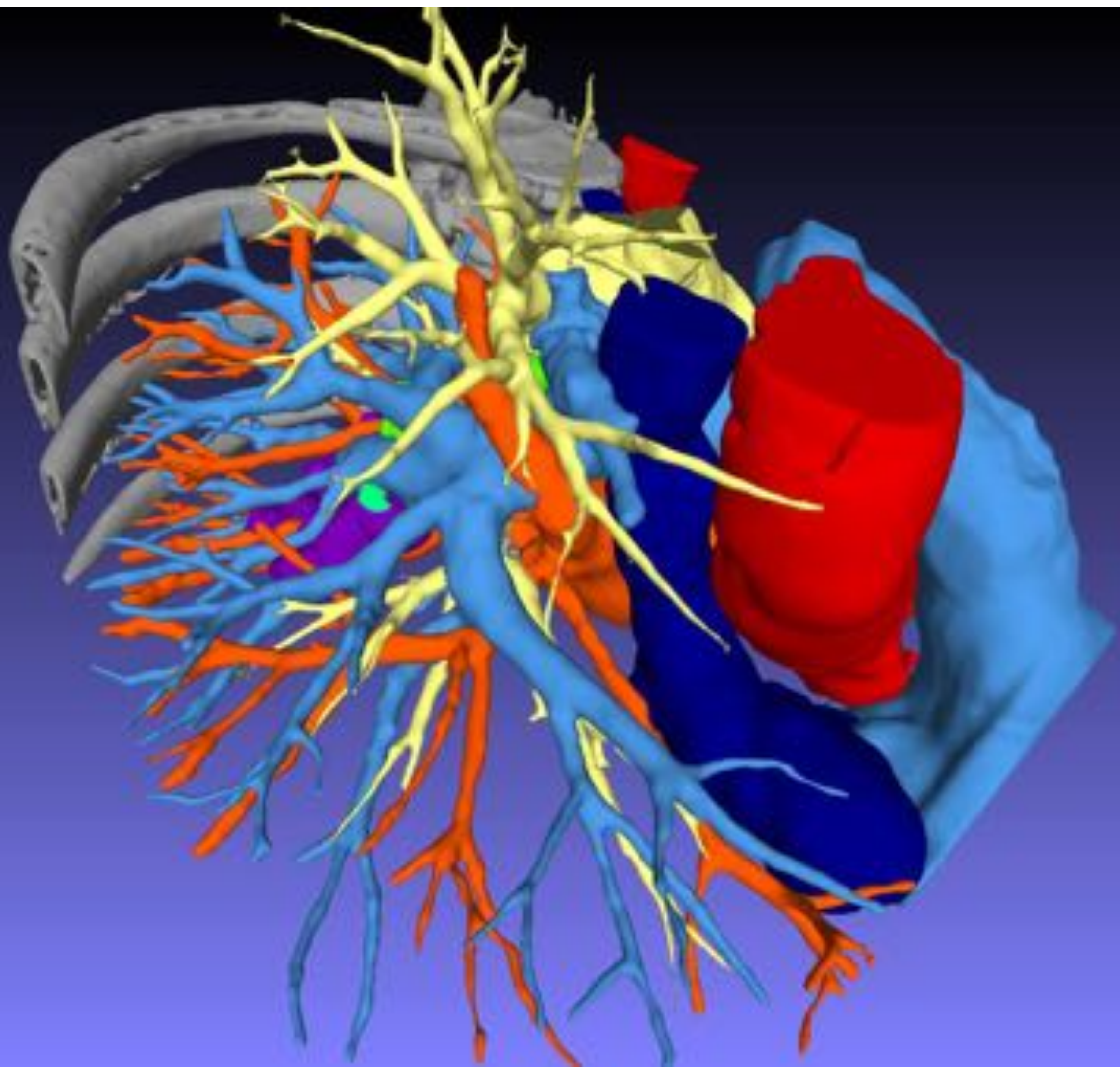
Infiltración estructuras broncovasculares subsegmentarias (flechas blancas)



Modelo obtenido con Binder Jetting en impresora ProJet 660 pro (3D systems).
Modelo monomaterial (composite) y policromático.

7 Conclusiones

Take home message



- *La impresión 3D constituye un método novedoso y potencialmente útil para la planificación del tratamiento quirúrgico y para la mejora del aprendizaje.*
- *A pesar de que el impacto clínico precisa ser comprobado, esta técnica potencialmente puede mejorar la planificación quirúrgica, especialmente en intervenciones complejas.*