



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA "IGNACIO CHAVEZ"

GRUPO CT SCANNER DE MEXICO

**USO DE LA ENERGÍA ESPECTRAL EN LA ANGIOTOMOGRAFÍA DE  
ARTERIAS PULMONARES COMO AUXILIAR DIAGNÓSTICO EN PACIENTES  
CON SOSPECHA DE TROMBOEMBOLISMO PULMONAR EN EL INSTITUTO  
NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TITULO DE ESPECIALISTA EN  
IMAGENOLÓGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPÉUTICA

PRESENTA

**DR. MARIO ALBERTO LIZAMA RUBIO**



Dirección de Enseñanza

**Dr. Carlos Rafael Sierra Fernández**

Director de Enseñanza  
Instituto Nacional de Cardiología  
Ignacio Chavez

**Dr. Sergio Andrés Criales Vera**

Profesor titular del curso de  
Imagenología Diagnóstica y Terapéutica  
Instituto Nacional de Cardiología Ignacio  
Chávez/ CT Scanner - UNAM

AMOR-SCIENTIA-OVE-INSERVIANI-CORDI



INSTITUTO NACIONAL DE  
CARDIOLOGÍA  
IGNACIO CHAVEZ

CIUDAD DE MÉXICO

2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DR. CARLOS RAFAEL SIERRA FERNÁNDEZ**

**DIRECTOR DE ENSEÑANZA  
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ**



Dirección de Enseñanza

**DR. SERGIO ANDRÉS CRIALES VERA**

**PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y TERAPEÚTICA  
INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ  
ASESOR DE TESIS**

**DR. MARIO ALBERTO LIZAMA RUBIO**

**ASPIRANTE AL GRADO DEL PROGRAMA DE IMAGENOLOGÍA DIAGNÓSTICA Y  
TERAPEÚTICA DEL INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ /  
GRUPO CT SCANNER - UNAM**

## **DEDICATORIA**

**A Dios, por todas las bendiciones.**

**A mi esposa Nicole, el amor de mi vida, por caminar a mi lado todo el trayecto, por su apoyo y cariño incondicional, por siempre creer en mí y ser mi máxima felicidad.**

**A mi papá por ser mi gran maestro, ejemplo y modelo a seguir, por siempre apostar todo por mí.**

**A mi mamá, mi gran pilar de amor y fortaleza, confidente, consejera, ejemplo de sacrificio y ganas de salir adelante.**

**A mis amigos, la familia elegida, el mejor equipo y apoyo incondicional durante esta etapa.**

## **AGRACEDIMIENTOS**

**Al Dr. Sergio Andrés Criales Vera, por el apoyo y orientación brindada durante la elaboración de esta tesis, así como por las enseñanzas y amistad a lo largo de la residencia.**

**Al Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" y al Grupo CT Scanner por ser mi hogar y brindarme esta oportunidad de formación académica y personal.**

**A todos mis pacientes, por depositar su confianza en mí.**

**A mi esposa y familia, sin ustedes esto no hubiese sido posible.**

## RESUMEN

**Objetivo:** Describir la utilidad del empleo de energía espectral como auxiliar diagnóstico en aquellos pacientes que se presentan dolor torácico, al área de urgencias, a los cuáles se les solicitó angiotomografía de arterias pulmonares para descartar específicamente tromboembolismo pulmonar.

**Materiales y Métodos:** Se realizó un estudio observacional, descriptivo, retrospectivo y de corte transversal, donde se evaluaron 52 estudios de angiotomografía de arterias pulmonares con energía espectral realizados durante junio y julio del 2022, en los cuales se valoró el desempeño de la energía espectral para realizar diagnóstico para tromboembolismo pulmonar en pacientes del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" que presentaron dolor torácico.

**Resultados:** De los (52) pacientes estudiados, 58 % fueron de sexo femenino y 42 % de sexo masculino. Del total de pacientes evaluados con energía espectral, el 36.5% mostraron hallazgos positivos para tromboembolia pulmonar, de este grupo el 31.5 % presentaron tromboembolismo pulmonar agudo y 68.5 % tromboembolismo pulmonar crónico. El 63.5% restante presentó estudios negativos para tromboembolia pulmonar.

**Conclusión:** Los hallazgos demostraron que mediante el uso de la energía espectral en la angiotomografía de arterias pulmonares se realizó el diagnóstico

de tromboembolismo pulmonar en 36.7% de la muestra de pacientes con dolor torácico.

## **TABLA DE CONTENIDO**

### **1 INTRODUCCIÓN.**

### **2. ANTECEDENTES CIENTIFICOS.**

2.1 EPIDEMIOLOGIA.

2.2 DEFINICIÓN.

### **2.3 ETIOLOGÍA.**

2.3.1 TROMBOEMBOLIA PULMONAR AGUDA.

2.3.2 TROMBOEMBOLIA PULMONAR CRÓNICA.

### **3. ENERGÍA ESPECTRAL**

### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **5. JUSTIFICACION.**

### **6. OBJETIVOS.**

6.1 OBJETIVO GENERAL

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

### **7. METODOLOGIA.**

7.1 TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

7.2 POBLACIÓN

7.3 CRITERIOS DE INCLUSIÓN, EXCLUSIÓN Y ELIMINACIÓN.

7.4 PROCEDIMIENTO.

### **8. RESULTADOS**

### **9. DISCUSIÓN.**

### **10. CONCLUSIONES**

### **11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**



## 1. INTRODUCCIÓN

La tromboembolia pulmonar (TEP) es una etiología que puede presentar un cuadro clínico variado y con alto potencial de mortalidad si no se realiza su diagnóstico o se instaura el tratamiento de manera oportuna.

Los signos y síntomas clínicos de la TEP aguda son inespecíficos. En la mayoría de casos, la TEP se sospecha en pacientes cursando con disnea, dolor torácico, síncope o hemoptisis<sup>1-3</sup>. La inestabilidad hemodinámica es una forma de presentación clínica rara pero importante, ya que indica TEP central o extensa con reserva hemodinámica gravemente reducida. Puede ocurrir síncope, y se asocia con una mayor prevalencia de inestabilidad hemodinámica y disfunción del ventrículo derecho.<sup>4</sup>

Actualmente, la tomografía computarizada multidetector (TCMD) es considerada la modalidad de imagen de elección para poder realizar el diagnóstico de TEP. Los avances técnicos en TCMD en la última década han permitido a los médicos obtener imágenes de mayor calidad, con exposición a niveles significativamente menores de radiación, que demuestran pequeños embolos a nivel subsegmentario de la arteria pulmonar.<sup>5-6</sup>

La tomografía computarizada de energía espectral (TCEE) puede proporcionar información morfológica como funcional del pulmón en una sola adquisición contrastada. Tiene las ventajas de la TCMD y utiliza rayos X con dos espectros de energía diferentes para detectar sustancias específicas de acuerdo con la teoría de descomposición de materiales.<sup>7-8</sup> Esto permite la visualización selectiva de los componentes de yodo en los tejidos. Se ha utilizado de manera más intensiva en

pacientes con TEP debido a la demostración simultánea de embolias pulmonares que ocluyen la arteria pulmonar y los defectos de perfusión resultantes en el parénquima pulmonar.<sup>9-11</sup>

Esto puede brindar más información sobre la carga trombótica ya que tanto las imágenes de perfusión como las angiográficas se obtienen sin aumentar la dosis de radiación.

El objetivo de este trabajo es demostrar las ventajas que la TCEE ofrece para incrementar la capacidad diagnóstica en los pacientes con sospecha de TEP.

## **2. ANTECEDENTES CIENTÍFICOS**

### **1. *Epidemiología***

La tromboembolia pulmonar, representa el tercer síndrome cardiovascular agudo más frecuente a nivel mundial, por detrás del infarto de agudo miocardio y el accidente cerebrovascular.<sup>1</sup> En estudios epidemiológicos, las tasas de incidencia anual de TEP oscilan entre 39 a 115 casos por 100 000 habitantes. Los datos transversales muestran que la incidencia de TEP es casi ocho veces mayor en personas de edad avanzada mayores de 80 años que en la quinta década de la vida.<sup>12</sup> Paralelamente los estudios longitudinales han revelado una tendencia creciente en la incidencia anual de TEP con el tiempo.<sup>13-16</sup>

Junto con los importantes gastos anuales indirectos, prevenibles y asociados a hospitales por TEP (un total estimado de hasta 8500 millones en la Unión

Europea),<sup>17</sup> estos datos demuestran la importancia de la TEP en el envejecimiento de la población en Europa y otras áreas del mundo. Además, sugieren que el TEP supondrá una carga cada vez mayor para los sistemas de salud de todo el mundo en los próximos años.

La TEP puede causar aproximadamente 300 000 muertes por año en los EE. UU, lo que la ubica entre las principales causas de mortalidad cardiovascular.<sup>13</sup> En seis países europeos con una población total de 454,4 millones, más de 370 000 muertes estuvieron relacionadas con TEV en 2004, según las estimaciones de la base de un modelo epidemiológico.<sup>14</sup>

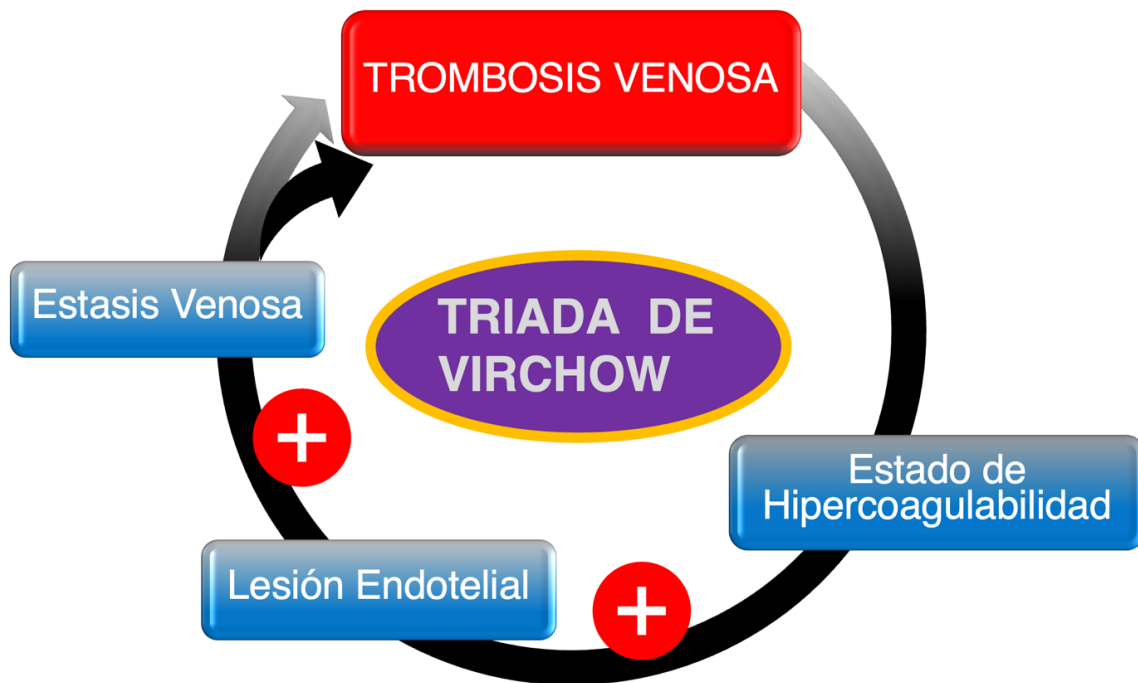
Los análisis de tendencias temporales en poblaciones europeas, asiáticas y norteamericanas sugieren que las tasas de letalidad de casos de TEP aguda están disminuyendo.<sup>13-16,20-21</sup> Mayor uso de terapias e intervenciones más efectivas y posiblemente una mejor adherencia a las guías,<sup>22-23</sup> probablemente ha ejercido un efecto positivo significativo en el pronóstico de la TEP en los últimos años. Sin embargo, también existe una tendencia hacia el sobrediagnóstico de TEP (subsegmentaria o incluso inexistente) en la era moderna,<sup>24</sup> y esto a su vez podría conducir a una caída falsa en las tasas de letalidad al inflar el denominador, es decir, el número total de casos de EP.

## 2.2 Definición

La tromboembolia venosa (TV) es una entidad que comprende un espectro conformado tanto por la trombosis venosa profunda (TVP) y el tromboembolismo pulmonar (TEP), estas entidades son capaces de ocasionar la muerte y generar discapacidad de origen vascular en pacientes de todo el mundo.

Cuando los trombos venosos profundos se esprenden del sitio en el que han sido formados se transforman en émbolos, que se disponen a viajar a la vena cava, a la aurícula derecha y al ventrículo derecho, para posteriormente alojarse en la circulación arterial pulmonar y así causar en ella el tromboembolismo pulmonar, lo que provocará importantes anomalías en el intercambio de oxígeno a nivel alveolar generando aumento del espacio muerto fisiológico y una disyuntiva en las unidades alveolo-capilares pulmonares.<sup>25</sup>

El inicio del proceso protrombótico es explicado mediante la tríada de Virchow, proceso que comprende tres apartados. **(Figura 1)**



**FIGURA 1.**

Todos estos procesos va a dar lugar al reclutamiento de plaquetas activadas que serán las encargadas de liberar micropartículas, estas micropartículas son de relevancia ya que contienen múltiples mediadores proinflamatorios que serán capaces de unirse de manera selectiva a los neutrófilos y los estimulan para que liberen su material nuclear. Se forman trombos venosos y se multiplican en el entorno de estasis, baja presión de oxígeno y mayor cantidad de genes proinflamatorios. En el TEP agudo se afectan tanto la circulación como el intercambio de gases.<sup>26</sup>

La primera causa de muerte por embolia de pulmón es debida al fracaso del ventrículo derecho por el aumento de presión en el mismo con desincronización de ambos ventrículos, lo que conlleva el fracaso del ventrículo izquierdo, una

disminución de la fracción de eyección y la inestabilidad hemodinámica. La hipoxemia es secundaria al desajuste en la relación ventilación/perfusión debido a que existen zonas bien ventiladas pero mal perfundidas generando dificultad respiratoria.<sup>27</sup>

La presentación clínica puede ser muy variable y presentarse desde un shock o hipotensión sostenida a disnea leve. Puede incluso ser asintomática y diagnosticarse mediante pruebas de imagen realizadas para otros fines. La gravedad de los síntomas depende principalmente de la magnitud del embolismo y la condición cardiorespiratoria previa. El síntoma más frecuente es la disnea, se manifiesta cuando el coágulo obstruye porciones proximales de la vasculatura pulmonar, puede manifestar irritación pleural y dolor tipo pleurítico hasta en 50% de los pacientes a veces acompañada de tos y hemoptisis.<sup>28</sup>

El diagnóstico de tromboembolia pulmonar requiere de un conjunto de apartados que nos ayudan a realizar el diagnóstico, ya que ninguna prueba que de manera aislada permita confirmar o descartar el TEP; los pilares necesarios para poder llevar a cabo el diagnóstico son varios: sospecha clínica, datos analíticos y prueba de imagen.

Ante la sospecha clínica de TEP, se pueden utilizar una serie de escalas clínicas desarrolladas recientemente (Wells o Ginebra), que han sido ampliamente validadas y estandarizadas como primeros auxiliares al intentar diagnosticar a una persona con TEP en los servicios de emergencias (**Tabla 1 y 2**).

**TABLA 1. CRITERIOS MODIFICADOS DE WELLS.**  
**Probabilidad de Tromboembolismo pulmonar.**

Criterios		Puntos
Síntoma y datos clínicos de TVP		3
Diagnóstico alternativo menos probable que TEP		3
Frecuencia cardiaca mayor a 100 latidos por minuto		1.5
Inmovilización prolongada		1.5
Antecedente quirúrgico en las últimas 4 semanas		1.5
TEP o TVP previo		1.5
Hemoptisis		1
Cáncer en tratamiento actual o menor a 6 meses		1
<b>RIESGO</b>		
	BAJO	MENOR A 4
	ALTO	MAYOR O IGUAL A 4

Fuente: J. Sandoval. Diagnóstico y Tratamiento del Tromboembolismo pulmonar. Revista colombiana de medicina. 2015: 26(3), pág 339

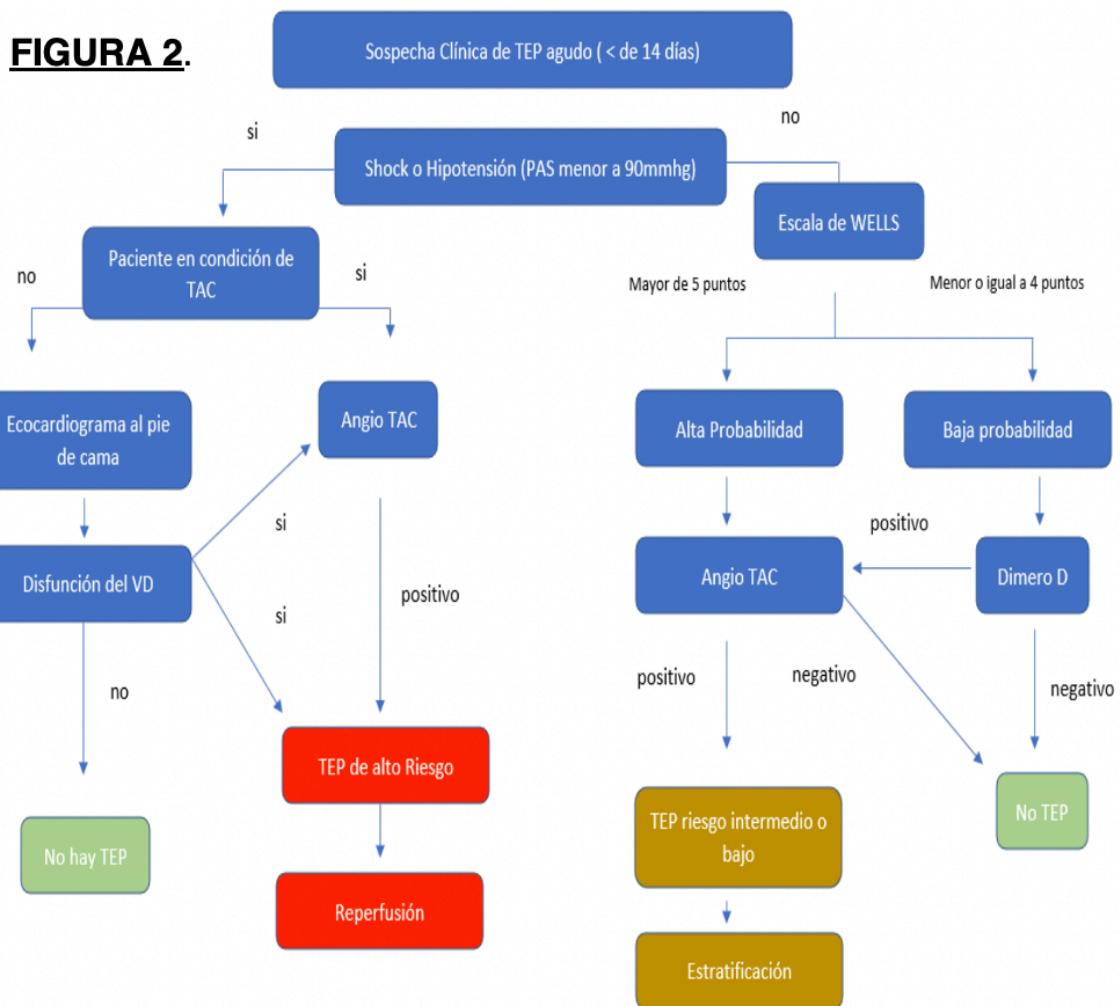
**TABLA 2. ESCALA DE GENEVA REVISADA.**  
**Predicción de tromboembolismo pulmonar**

CRITERIOS	PUNTAJE PARA TOMA DE DECISIONES CLÍNICAS	
	Versión Original	Versión Simplificada
TEP o TVP previo	3	1
Frecuencia cardiaca		
75-94 lpm	3	1
>95 lpm	5	2
Cirugía o fractura <1mes	2	1
Hemoptisis	2	
Cáncer	2	1
Dolor de extremidad inferior unilateral	3	1
Dolor a la palpación venosa profunda de extremidad inferior y edema unilateral	4	1
Edad mayor 65 años	1	1
<b>PROBABLIDAD CLÍNICA</b>		
BAJA	0-3	0-1
INTERMEDIA	4-10	2-4
ALTA	>11	>5

Fuente: J. Sandoval. Diagnóstico y Tratamiento del Tromboembolismo pulmonar. Revista colombiana de medicina. 2015: 26(3), pág 339

En caso que el valor de la escala de un valor de riesgo alto, se procede con la realización del dimero D, esto en el caso de que el paciente se encuentre hemodinamicamente estable.<sup>29</sup>

En la FIGURA 2, se plantea un esquema actualizado para la toma de decisiones ante un pacientes con sospecha de tromboembolismo pulmonar.



Fuente: A.Castuera. J. Fernandez. Trombo Embolismo Pulmonar, servicio Urgencias, Hospital Universitario Gregorio Marañón, Madrid España. 2015: 11 (88) pág 5245



En cuanto a los auxiliares diagnósticos por imagen, la angiotomografía, que se introdujo a fines de la década de 1980, reemplazó rápidamente a la gammagrafía como la modalidad de imagen de elección en la evaluación de pacientes con sospecha de TEP. Es un método de imagen mucho más preciso que la gammagrafía, mas rápido, no invasivo y fácilmente disponible.

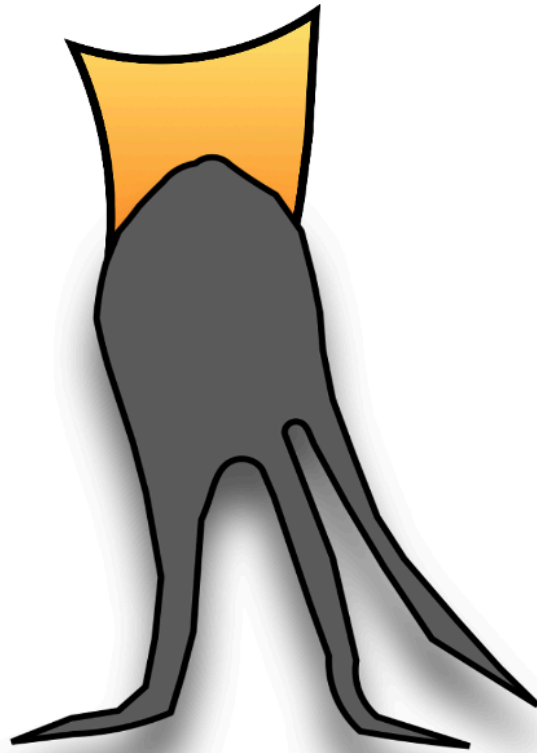
Mediante la aplicación de medio de contraste se puede demostrar directamente un coágulo intraluminal como un defecto de llenado . Además, en pacientes sin TEP, la TC helicoidal suele ofrecer diagnósticos alternativos.<sup>30</sup> Con la llegada de los tomógrafos de nueva generación con múltiples hileras de detectores, incluso es posible valorar defectos endoluminales a nivel de las ramas subsegmentarias de las arterias pulmonares.

## **2.3 ETIOLOGÍA.**

### **2.3.1 Tromboembolia pulmonar aguda**

En las angiografías pulmonares, el signo diagnóstico de TEP aguda es la obstrucción completa con un defecto de llenado cóncavo o “borde posterior” que debe verse dentro del material de contraste al nivel de la obstrucción.

En el sitio del trombo, el diámetro de la arteria pulmonar puede aumentar debido a la impactación del trombo por el flujo pulsátil. **(Figura 3)**



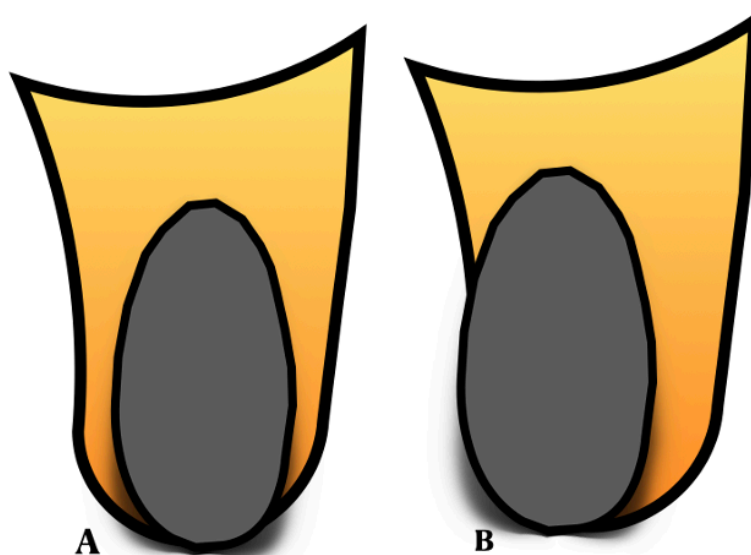
**FIG. 3** Ilustración de TC reformateada coronal de una TEP aguda con expansión del diámetro del vaso afectado distal al punto de obstrucción.

Un defecto de llenado no obstructivo puede tener una ubicación central o excéntrica.

El defecto de llenado central no obstructivo no puede flotar dentro del centro de la luz sin tocar físicamente la pared del vaso, por lo que esta pared se unirá a un defecto de llenado excéntrico no obstructivo o al trombo de obstrucción completa.

**(Figura 4).**

En la TEP aguda, un defecto de llenado excéntrico no obstructivo forma ángulos agudos con respecto a la pared del vaso cuando se observa en la angiotomografía.

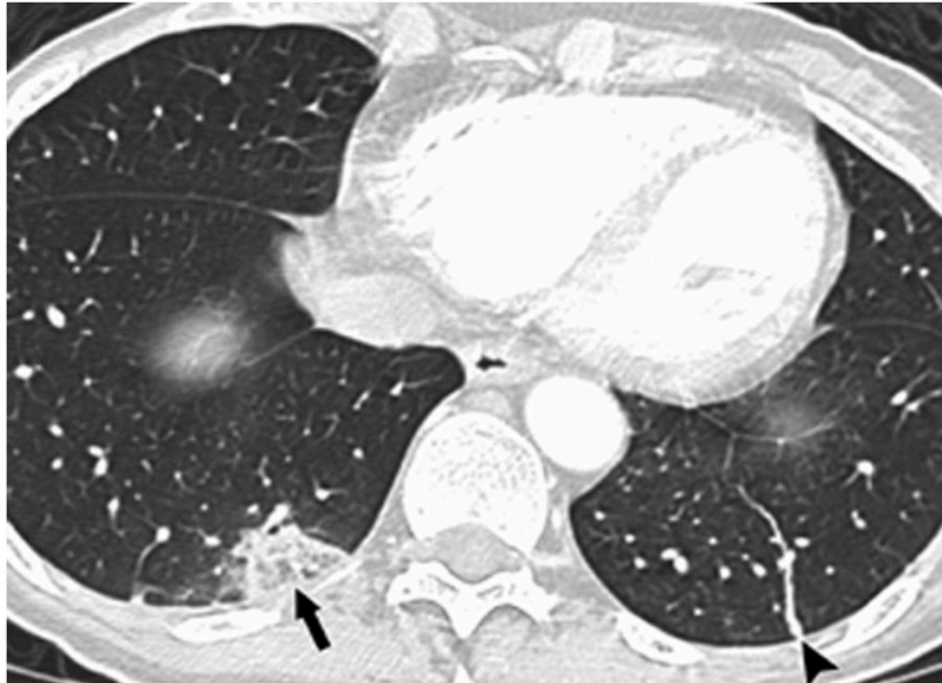


**FIG 4.** Ilustración muestra **A)** defecto de llenado central de TEP agudo en una imagen de TC vista en el eje longitudinal del trombo. El material de contraste se puede ver a ambos lados del trombo bien definido. **B)** El trombo agudo excéntrico forma ángulos agudos con la pared del vaso.

Entre los signos indirectos de TEP aguda se encuentra la oligemia, o una disminución en la tasa de flujo, que a menudo se identifica como una perfusión arterial no uniforme, que por medio de la tomografía se identificará como un patrón de atenuación en mosaico de atenuación.

Se ha demostrado que las áreas periféricas de hiperatenuación en forma de cuña pueden representar infartos y que junto con las bandas lineales, son hallazgos auxiliares estadísticamente significativos asociados con la embolia pulmonar

aguda. Sin embargo, estas características radiológicas no son específicas de la tromboembolia pulmonar. **(Figura 5)**



**FIG 5.** La TC muestra un área periférica de hiperatenuación en forma de cuña en el pulmón (flecha), un hallazgo que puede representar un infarto, así como una banda lineal (punta de flecha)

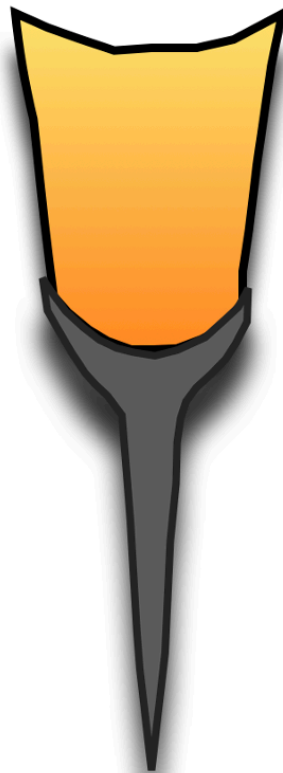
Después de experimentar un evento embólico inicial, un paciente puede estar en riesgo de colapso circulatorio secundario a insuficiencia cardíaca derecha, y una embolia subsiguiente puede ser fatal.

Algunas anomalías morfológicas que sugieren la insuficiencia ventricular derecha se puede cuantificar con angiotomografía de arterias pulmonares. Estos hallazgos en la TC incluyen dilatación del ventrículo derecho (la cavidad del ventrículo derecho es de mayor amplitud que la cavidad del ventrículo izquierdo en el eje corto), eflujo del material de contraste hacia las venas suprahepáticas, rectificación

y desviación del septum interventricular hacia el ventrículo izquierdo y un índice de embolismo pulmonar superior al 60%.

### 2.3.2 Tromboembolia pulmonar crónica

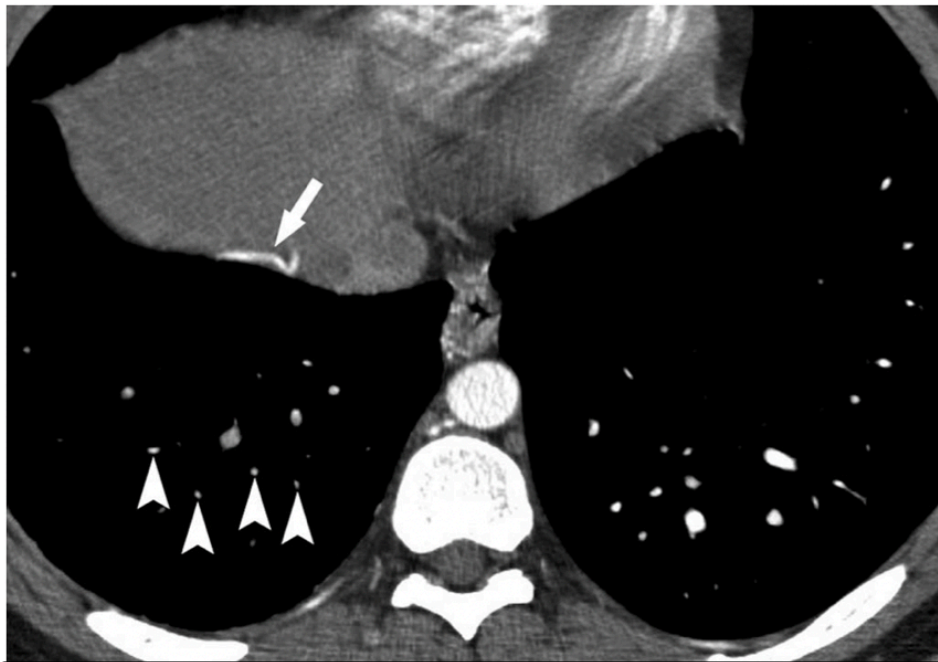
El defecto completo en el vaso debido a una embolia crónica tiene un margen convexo con respecto al material de contraste y ha sido descrito como un defecto de “bolsa”. (**Figura 6**)



**FIG 6.** Ilustración de obstrucción completa en TEP crónica que muestra un trombo contraído distal al defecto de bolsa.

Esto difiere de la apariencia típica observada en una obstrucción completa como en el caso de una tromboembolia pulmonar aguda, en la que se puede ver una concavidad dentro del material de contraste debido al borde posterior del trombo.

En la tomografía, otro hallazgo que se observa de manera adicional en la tromboembolia pulmonar crónica es una importante disminución en el calibre del vaso distal al sitio de obstrucción completa. Esta reducción permanente en el diámetro del vaso se debe a la contracción del trombo en la TEP crónica. **(Figura 7)**



**FIG 7.** TC muestra oclusión completa de los vasos en el pulmón derecho (puntas de flecha) que son más pequeños que los vasos permeables adyacentes. Obsérvese el riego sanguíneo colateral de una rama de la arteria hemidiafragmática derecha (flecha).

El trombo organizado de la tromboembolia pulmonar crónica puede causar irregularidades de la íntima, bandas, webs y estrechamiento abrupto de los vasos; cualquiera de estos puede conducir a una estenosis de la arteria pulmonar.

Las irregularidades de la íntima son anomalías marginales, uniformes y de base amplia que condicionan la formación de ángulos obtusos con la pared del vaso. Esto puede suceder de manera unilateral o bilateral.

Una banda se define como una delicada estructura similar a una cinta, que se ancla a la pared del vaso en dos extremos, con una parte media libre, no unida. Una banda generalmente tiene dimensiones variables de entre 0,3 a 2 cm de largo y de menos de 0,1 a 0,3 cm de ancho. Estas suelen orientarse en la dirección del flujo sanguíneo a lo largo del eje longitudinal del vaso.

Una web es un término que se usa para describir algunas bandas que tienen ramificaciones y forman redes de diversa complejidad. Las bandas y las redes se ven como líneas delgadas rodeadas de material de contraste en la angiotomografía.

La dilatación postestenótica o el aneurisma ocurren comúnmente como una manifestación de la enfermedad tromboembólica crónica.

Los vasos pulmonares tortuosos son un signo radiológico que también se observa en aquellos pacientes con hipertensión arterial pulmonar secundaria a enfermedad tromboembólica crónica.

Los hallazgos auxiliares en la tromboembolia pulmonar crónica pueden incluir cambios en la TC causados por hipertensión arterial pulmonar: un diámetro de la arteria pulmonar mayor de 33 mm y derrame pericárdico

### **3. ENERGÍA ESPECTRAL**

Durante la década de 1970 se originó el concepto de tomografía computarizada de energía espectral (TCEE), sin embargo, la implementación clínica a gran escala de esta técnica se vio limitada debido a la resolución temporal y las capacidades computacionales de la tecnología de TC disponible en ese momento.

En la tomografía computarizada, los materiales con composiciones elementales diferentes pueden representarse con los mismos números, lo que condiciona la dificultad para poder diferenciar y clasificar distintos tipos de tejido. Esto se debe a que el número de TC medido, de un voxel, se relaciona con su coeficiente de atenuación lineal  $\mu(E)$ , que no es único para un material dado sino que se halla en función de la composición del material, la densidad de su masa y su interacción con los fotones de energía.<sup>30</sup>

Los escáneres de TCEE actualmente disponibles permiten la adquisición simultánea de datos mediante la aplicación de diferentes voltajes de tubo para



imágenes de energía espectral, lo que permite el análisis de diversos materiales y componentes de tejido dentro de los vóxeles de una imagen de tomografía.

Las generaciones recientes de sistemas de TC aprovechan el ancho de banda espectral de la emisión de rayos X para mejorar la detección y la caracterización más específica de varios procesos patológicos.

La generación de datos espectrales de CT se puede lograr mediante una variedad de métodos técnicos.

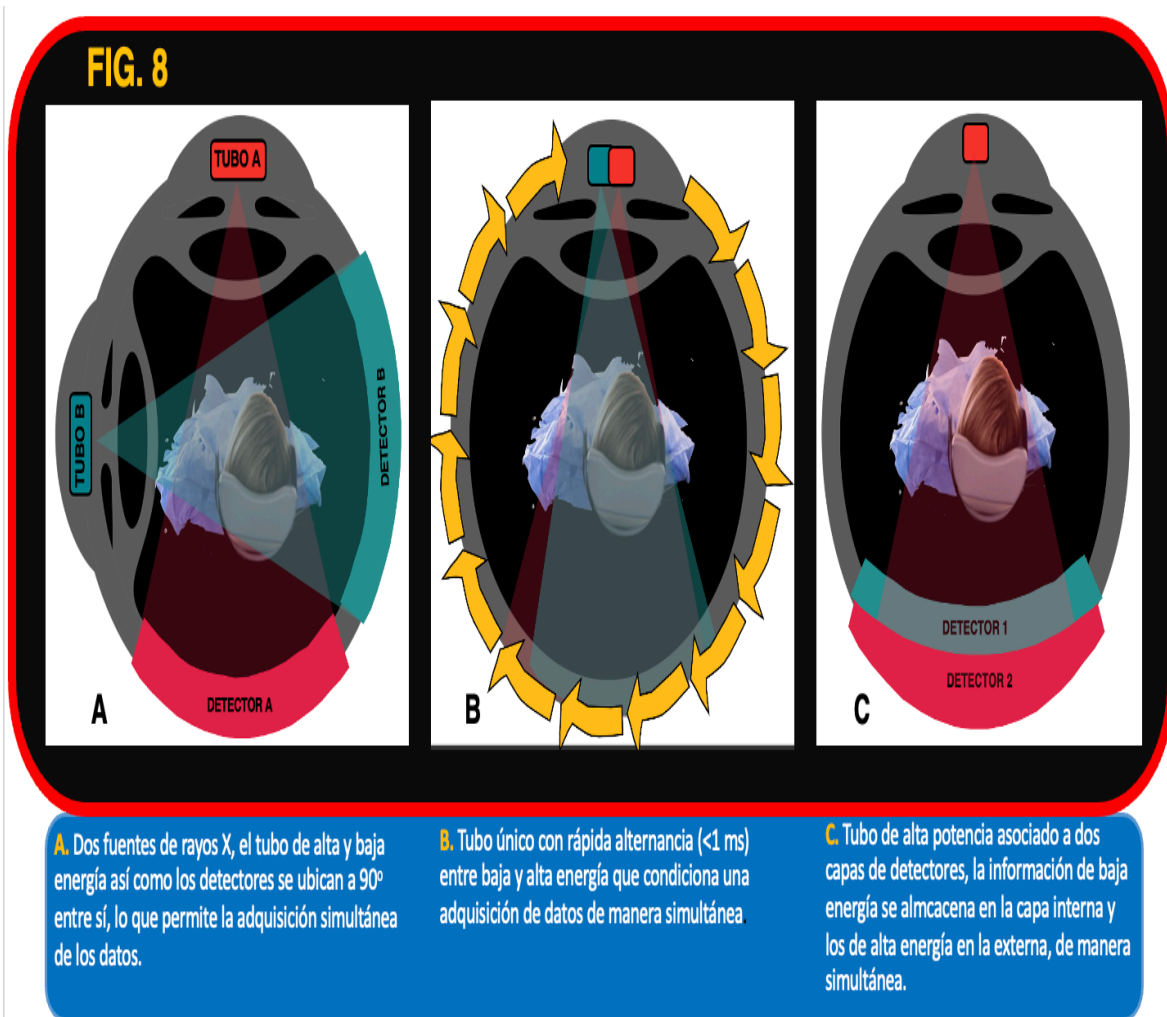
Uno consiste en el registro simultáneo de espectros de rayos X de alta y baja energía en un sistema de TC de doble fuente (Somatom, Siemens Healthcare).

Los dos sistemas de adquisición están montados en el pórtico giratorio con un desplazamiento angular de 90° o 95°. Para adquisiciones TCEE, el voltaje del tubo se establece en alta energía a 140 kVp para un tubo y en energía más baja de 80 o 100 kVp para el otro tubo. Los tubos giran simultáneamente en una posición fija entre sí.

Otro sistema opera mediante la alterancia ultrarrápida del kilovoltaje en una plataforma CT de una sola fuente (Discovery, GE Healthcare). Un generador alterna rápidamente las energías del tubo de baja energía (80 kVp) a alta energía (140 kVp) para adquirir datos TCEE con diferencias temporales muy pequeñas.

Por último, los fotones de rayos X detectados se pueden compartimentar en contenedores de energía mediante los detectores en capas de una plataforma de TC de una sola fuente que funciona con ajustes constantes de voltaje y corriente del tubo (Philips Healthcare). (La capa superior absorbe los fotones de menor energía y una capa inferior que registra las emisiones restantes de mayor energía;

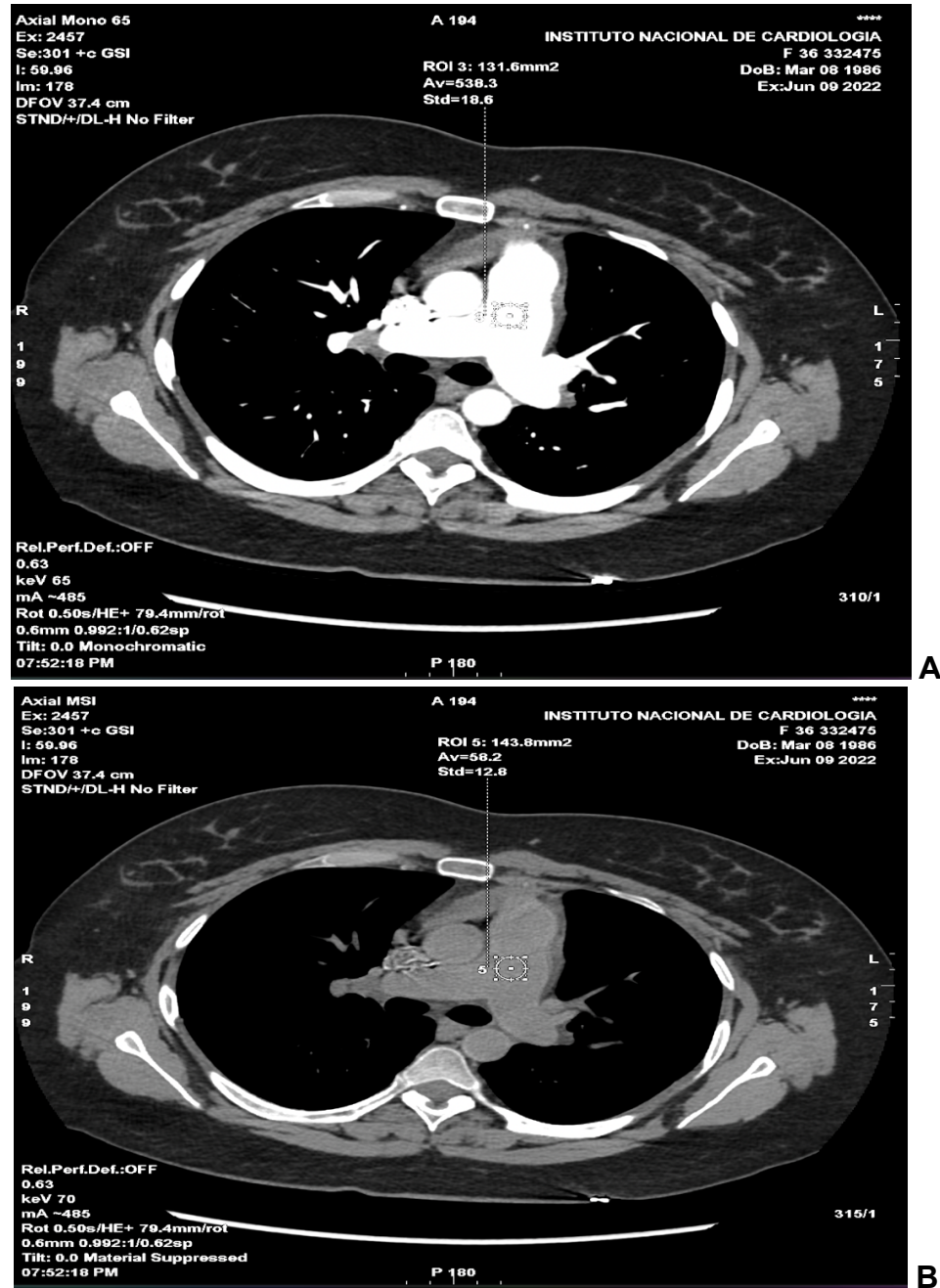
a partir de estos dos conjuntos de datos, se reconstruyen y analizan dos series de imágenes separadas. (Figura 8).



Las imágenes obtenidas con el uso de energía espectral pueden ser<sup>30</sup>:

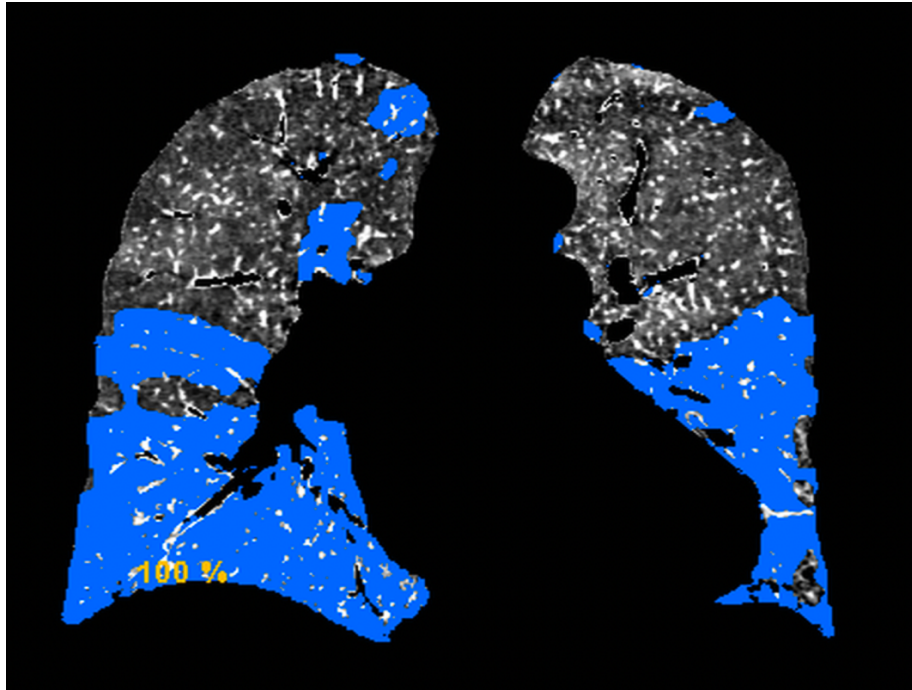
- **Imagen simple virtual (ISV):** mediante este post-proceso se pueden remover los pixeles que contienen yodo de las imágenes crudas contrastadas, lo que permite obtener imágenes que emulan una verdadera adquisición simple.(Figura 9)

FIG.9 Corte axiales A) fase contrastada 100KVP y B) Fase simple virtual



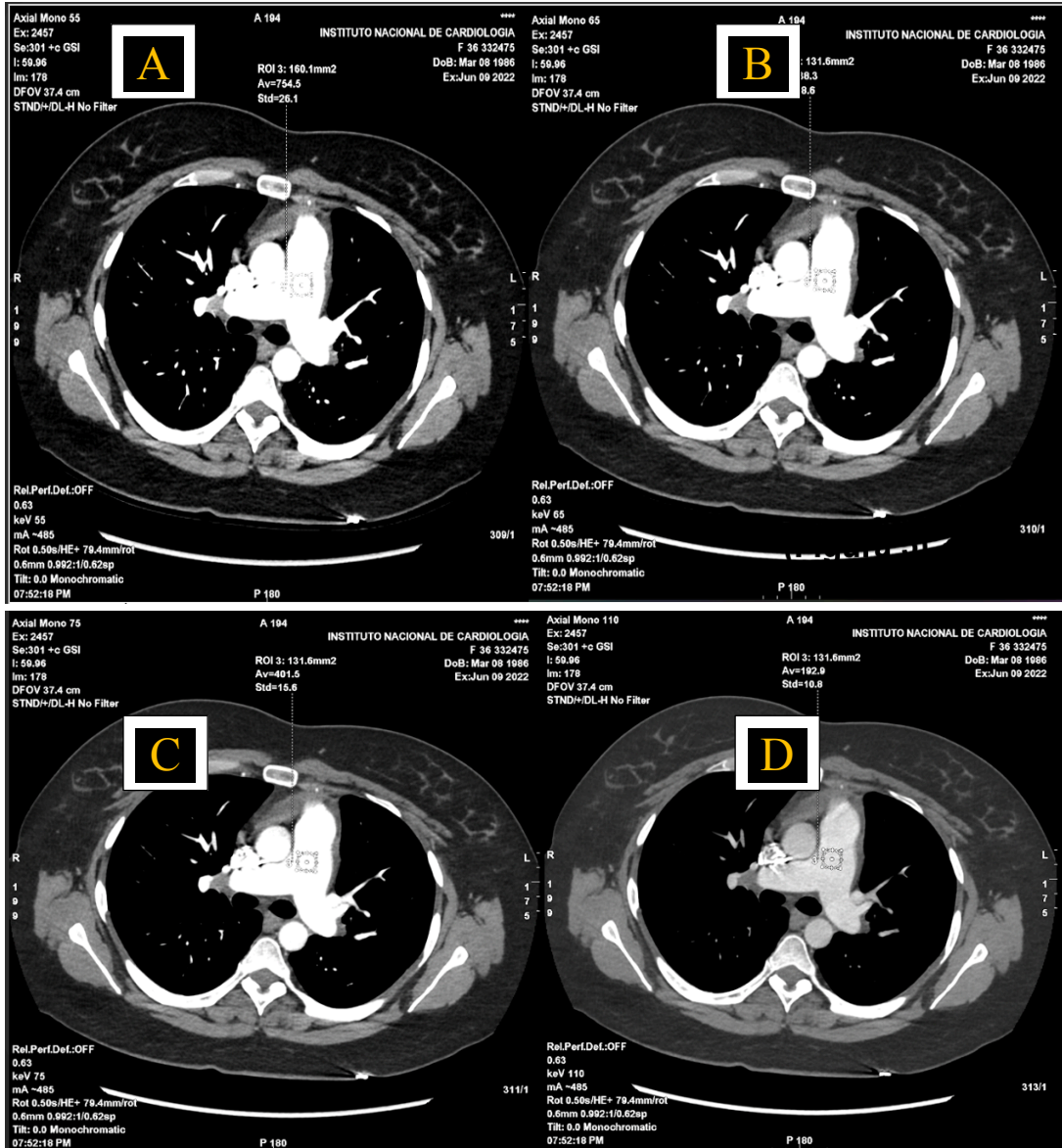
- **Mapa de yodo:** los pixeles en los que se identifica yodo tienen valores asignados iguales a la concentración de yodo en cada pixel, expresados en mg/ml. Los pixeles que no contienen yodo serán visualizados como áreas

en azul. Las imágenes de yodo sólo permiten la cuantificación del yodo dentro de los vasos o en los órganos. **(Figura 10)**



**FIG. 10**

- **Imagen de yodo/no agua:** Se identifican los tejidos con densidad similar al agua y son suprimidos.
- **Imagen virtual monoenergética:** mediante este procesamiento se pueden generar imágenes que simulan aquellas obtenidas de la aplicación de un rayo monoenergético a un solo nivel de keV con un intervalo de 40-200 keV. Con valores bajos de monoenergía se logra incrementa el contraste vascular; con valores altos monoenergéticos se busca reducir los artefactos **(Figura 11)**



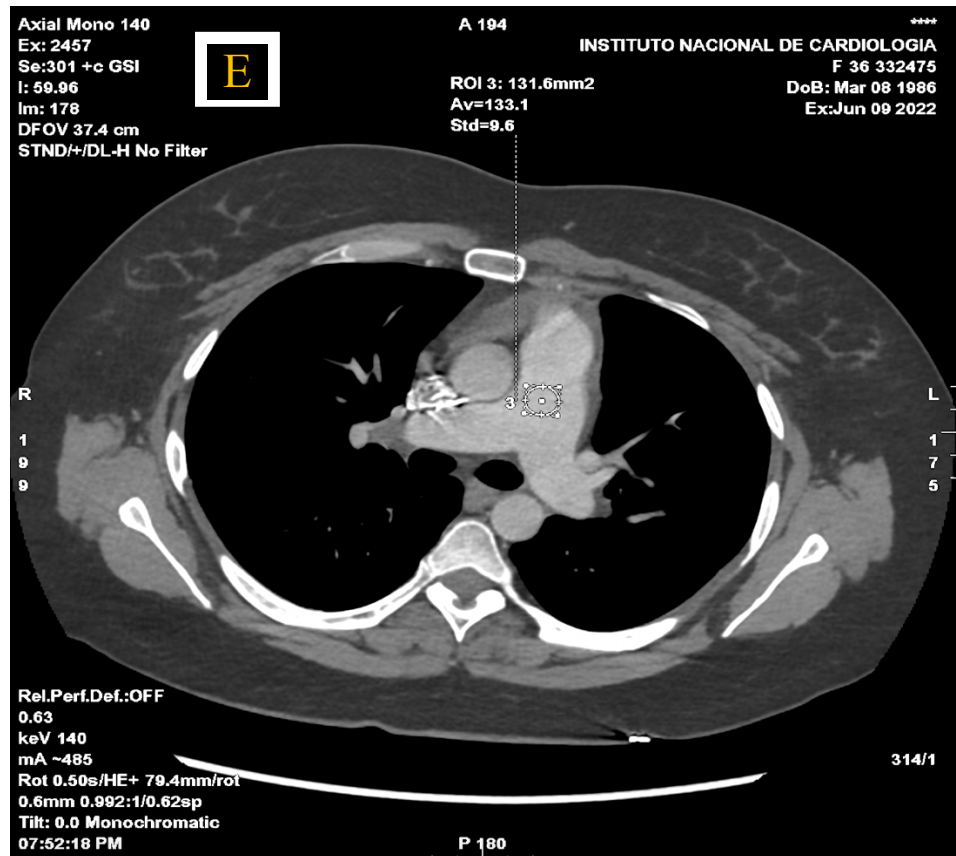


FIG. 11. A) 55 KeV, B) 65 KeV, C) 75 KeV, D) 110 KeV y E) 140 KeV

- Imagen Z-efectiva:** está imagen se codifica en color con base en el número atómico efectivo de los tejidos. El número atómico efectivo proporciona mayor nivel de discriminación que la atenuación en unidades Hounsfield, ya que representa el material del que está compuesto cada pixel.(Figura 12)

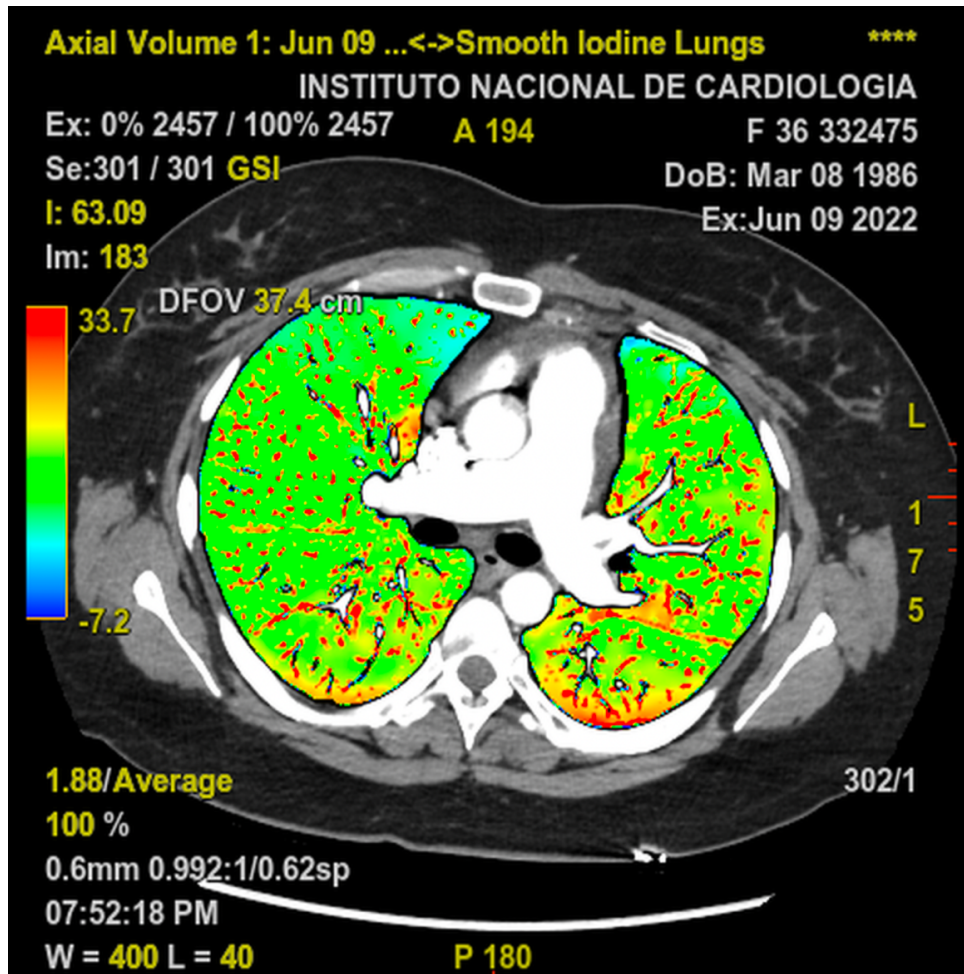
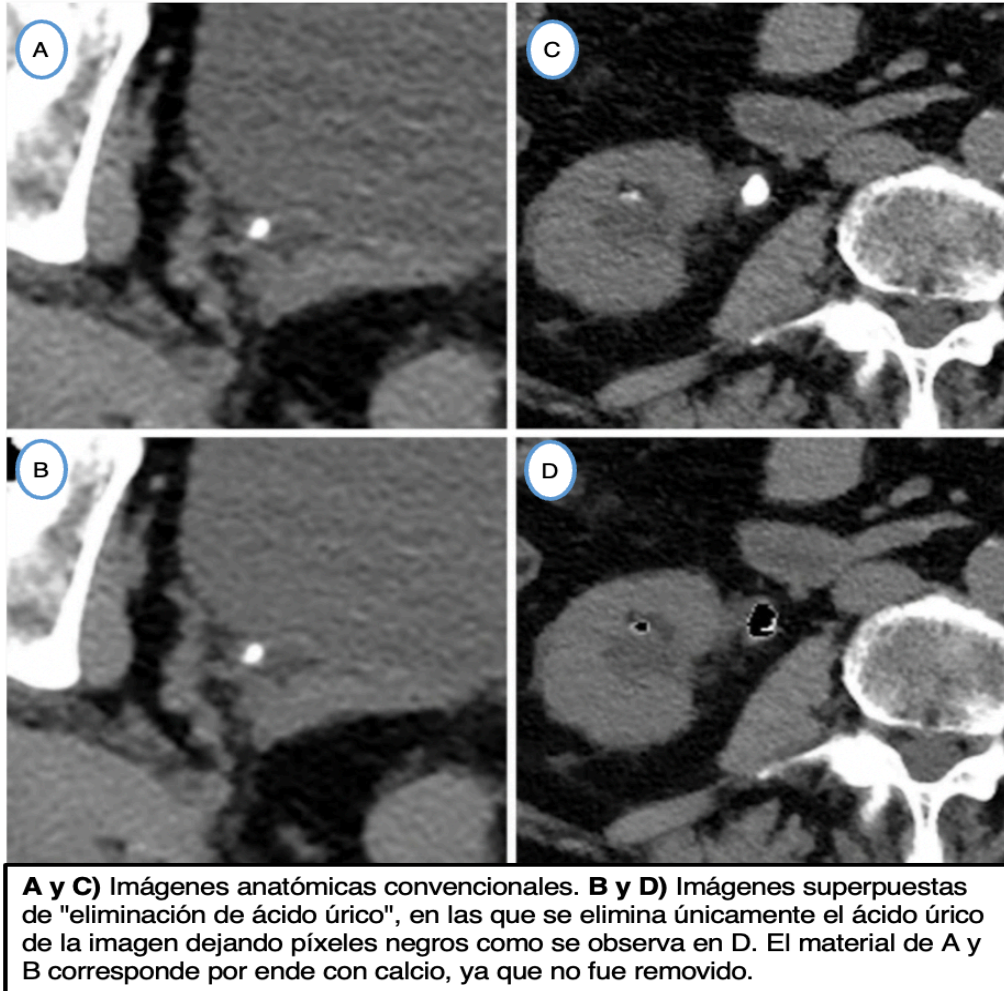


FIG.12

- **Imagen de sustracción de ácido úrico:** al remover el ácido úrico se muestran únicamente los píxeles de ácido úrico como espacios oscuros. Se usan para evaluar la composición de litos urinarios y en la gota. **(Figura 12)**



**FIG.13**

Los protocolos de exploración recomendados para exploraciones de perfusión pulmonar basadas en TCEE con un tomógrafo de doble fuente o cambio rápido de kilovoltaje tienen como objetivo evaluar tanto las arterias pulmonares como la perfusión pulmonar a partir de una sola adquisición de TC con contraste.

La optimización de los parámetros de inyección del medio de contraste, incluido el uso de un bolo de solución salina como empuje, puede reducir los artefactos, mejorar la calidad de la imagen y aumentar la confianza en el diagnóstico.

Se recomienda emplear material de contraste con base en yodo de alta concentración (> 300 mg I/mL) para los estudios TCEE a fin de mejorar la



diferenciación del yodo con el uso de los algoritmos de posprocesamiento de energía dual.

Para evaluar tanto las arterias pulmonares como la perfusión pulmonar, se debe implementar un retraso mas extenso en la exploración, de 4 a 7 segundos, en relación a los exámenes regulares de angiotomografía de arterias pulmonares para permitir que el material de contraste se distribuya de manera homogénea por todo el parénquima pulmonar.

La TC puede generar imágenes de angiotomografía de arterias pulmonares monocromáticas para el análisis morfológico de la EP e imágenes de descomposición de materiales para el análisis cuantitativo del flujo sanguíneo pulmonar y los defectos de perfusión.

En comparación con otros métodos de imagen, la angiotomografía de arterias pulmonares con TCEE y las imágenes fusionadas derivadas de un solo estudio TCEE con contraste proporcionaron una mayor precisión diagnóstica para detectar TEP que la gammagrafía de perfusión. Las sensibilidades de las imágenes del flujo sanguíneo, la angiotomografía de arterias pulmonares y las imágenes fusionadas fueron del 100 % en comparación con el 68 % de la gammagrafía de perfusión.

Se debe dar instrucciones precisas a los pacientes para que durante la adquisición de imágenes contengan la respiración a un nivel inspiratorio poco profundo, para de esta manera evitar una entrada excesiva de sangre sin contraste de la vena cava inferior mediante la maniobra de Valsalva asociada con la inspiración profunda.

Las exploraciones TCEE torácicas deben adquirirse en dirección caudocraneal de modo que el bolo del perseguidor de solución salina llegue a la parte superior del tórax en el momento en que se adquiera esta área para evitar artefactos del material de contraste altamente concentrado en la vena subclavia o en la vena cava superior.

La TCEE puede generar imágenes de angiotomografía de arterias pulmonares monocromáticas para el análisis morfológico de la EP e imágenes de descomposición de materiales para el análisis cuantitativo del flujo sanguíneo pulmonar y los defectos de perfusión.

Las técnicas más nuevas incluyen el uso de datos espectrales de CT para derivar reconstrucciones monoenergéticas virtuales, que simulan los números de CT que se obtendrían de un haz monocromático de rayos X. Las reconstrucciones monoenergéticas virtuales obtenidas con 40 a 70 keV son beneficiosas para mejorar la relación contraste-ruido en la tomografía de tórax.<sup>31</sup>

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una de las principales causas de solicitud de una angiotomografía de arterias pulmonares, tanto en el medio público como en el medio privado, es el dolor precordial no traumático, que generalmente va asociado de disnea, desaturación

de oxígeno, hipotensión arterial, tos y en ocasiones hemoptisis, hallazgos clínicos que inician de manera súbita, siendo la tromboembolia pulmonar aguda una de las primeras causa que el médico tratante debe poder descartar.

En la literatura es muy raro que un paciente sin comorbilidades, patologías de base, antecedentes quirúrgicos recientes o de postración prolongada, desarrolle una tromboembolia pulmonar aguda. La TEP es de las patologías que presenta un cuadro clínico tan variado que puede pasar completamente desapercibida por la carencia de signos y síntomas o manifestarse en la forma clásica. Los síntomas por lo general se presentan de forma aguda ocasionando que el enfermo busque atención médica

La mayoría de los pacientes que acuden a realizarse una angiotomografía de arterias pulmonares por sospecha de tromboembolia pulmonar tienen espectro de múltiples hallazgos por imagen que si no son bien conocidas por el radiólogo pueden causar confusión o la omisión diagnóstica.

Anualmente se diagnostica TEP solo a 40-53 de cada 100 000 personas, la incidencia anual en los Estados Unidos de Norteamérica se ha estimado en 600 000 casos al año. Los datos epidemiológicos en España estiman la incidencia de la enfermedad tromboembólica en 124 casos por cada 100 000 habitantes, lo que representa alrededor de 55 000 nuevos casos y 30 000 ingresos anuales. En México se ha encontrado una incidencia muy variable siendo de aproximadamente

47 casos por cada 100,000 personas, por lo que constituye una de las principales causas de consulta en urgencias junto con el infarto agudo al miocardio y el síndrome aórtico agudo.

La trombolisis constituye el tratamiento de primera elección en pacientes con TEP e inestabilidad hemodinámica definido por la presencia de falla del ventrículo derecho o hipotensión arterial persistente (presión arterial media menor a 65 mmHg) no causada por una arritmia de comienzo reciente, hipovolemia o sepsis.

El tratamiento endocascular está indicado en TEP de alto riesgo con contraindicación absoluta o relativa a la trombolisis sistémica, o en pacientes que fueron sometidos a trombolisis sistémica pero no se logró recuperar el estatus hemodinámico ni ventilatorio. El objetivo de la intervención percutánea es remover o fragmentar el trombo obstructivo de la arteria pulmonar principal y así disminuir la resistencia vascular pulmonar (la postcarga del ventrículo derecho) y recuperar la función ventilatoria y el gasto cardíaco

Es por esto la relevancia del presente estudio ya que permite observar la utilidad del angiotomografía de arterias pulmonares con la aplicación de la energía espectral durante el abordaje diagnóstico de los pacientes con dolor torácico que son referidos por los clínicos para descartar tromboembolismo pulmonar.

## **5. JUSTIFICACIÓN**

El alto porcentaje de pacientes que acuden al área de urgencia del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" con un cuadro clínico de alta sospecha para tromboembolismo pulmonar que requieren de un método de estudio rápido y altamente sensible como la angiotomografía de arterias pulmonares, que permite descartar o confirmar este diagnóstico y aunado a la aplicación de nuevas tecnologías como la energía espectral y los software que permiten realizar un post-procesamiento de las imágenes adquiridas, nos permitan incrementar su sensibilidad y especificidad diagnóstica y de esta manera ofrecer al paciente un manejo más oportuno y con mejoría significativa de su pronóstico.

La base de datos recopilada en éste trabajo servirá para incentivar el uso y demostrar el beneficio de la aplicación de la energía espectral en pacientes con sospecha de TEP y poder extender el uso de la misma para la valoración de otras patologías con alta incidencia en la población mundial.

## **6. OBJETIVOS**

### **6.1 Objetivo General**

Demostrar la sensibilidad diagnóstica en un grupo de 52 pacientes que acuden al servicio de urgencias del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" con dolor precordial y disnea, a los que se les solicitó una angiotomografía de arterias pulmonares con aplicación de energía espectral para descartar específicamente tromboembolia pulmonar.

## **6.2 Obejtivos Específicos**

- Conocer el perfil demográfico de la población estudiada (distribución por género y grupos de edad).
- Determinar el porcentaje de estudios reportados con tromboembolia pulmonar, distribuidos por género y grupo de edad.
- Determinar el porcentaje de estudios reportados como tromboembolia pulmonar aguda y por tromboembolia pulmonar crónica, por género y grupo de edad.

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1 Tipo y diseño de estudio**

- Tipo de estudio: Observacional, descriptivo, retrospectivo y de corte transversal.
- Diseño: Se evaluaron 52 estudios de angiotomografía de arterias pulmonares con aplicación de energía espectral, cuyo motivo de estudio era descartar tromboembolia pulmonar realizados durante Junio 2022 a Julio del 2022; en los cuales se valoró el número de pacientes con diagnóstico de tromboembolia pulmonar y se subclasificaron en tromboembolia pulmonar aguda y tromboembolia pulmonar crónica.

## **7.2 Población**

Total de pacientes con angiotomografía de arterias pulmonares, con diagnóstico de envío descartar tromboembolia pulmonar, al Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", realizado por médicos radiólogos, en el periodo de Junio 2022 a Julio del 2022.

## **7.3 Criterios de inclusión, exclusión y eliminación**

-Inclusión:

Pacientes sometidos a angiotomografía de arterias pulmonares con diagnóstico de envío: Descartar tromboembolia pulmonar, realizado en el Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez" en el periodo de Junio 2022 a Julio del 2022.  
por un médico radiólogo.

-Exclusión:

Pacientes con motivo de estudio diferente a probable tromboembolia pulmonar.

Pacientes con angiotomografía de arterias pulmonares sin la aplicación de energía espectral en el protocolo de adquisición.

Pacientes con con angiotomografía de arterias pulmonares en los cuales se obtieron niveles de atenuación subóptima en el tronco de la arteria pulmonar(<250 UH).

## **7.4 Procedimiento**

Previa autorización de las autoridades y del Jefe de Servicio del Departamento de Radiología e Imagen del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", se

realizó una revisión de 52 angiotomografías de arterias pulmonares así como sus reportes oficiales, realizados con un equipo de tomografía computarizada de alta gama Revolution™ 512 cortes con GSI Xtream de General Electric (GE)®, en pacientes con dolor precordial, con diagnóstico de envío: Descartar tromboembolia pulmonar, en los archivos digitales ELEKTRA (RIS-IC) y del Centricity GE Picture Archiving and Communication System (PACS)

Con la finalidad de identificar la frecuencia de tromboembolia pulmonar en éstos pacientes. Se elaboró una ficha digital en el programa de cómputo Microsoft Excel® v16.55 para la recolección de los datos.

## **8. RESULTADOS**

Se encontraron un total de 52 pacientes del Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez", con solicitud de angiotomografía de arterias pulmonares, para descartar tromboembolia pulmonar como motivo de envío. Los datos se recogieron del periodo de Junio 2022 a Julio del 2022.

Del total de la muestra, se observó predominio del sexo femenino con un 58% con respecto al masculino 42%. Los pacientes presentaron una edad media de 55.3 años.

Después de revisar los los estudios de imagen y los expedientes clínicos se halló que 19 pacientes (36.5%) obtuvieron hallazgos positivos para troboembolia pulmonar; éste grupo presenta una edad media de 54.4 años, además existió



mayor afección en el grupo de sexo femenino (58%) con menor afección del sexo masculino (42%). (Tabla 3 y 4)

**Tabla 3**

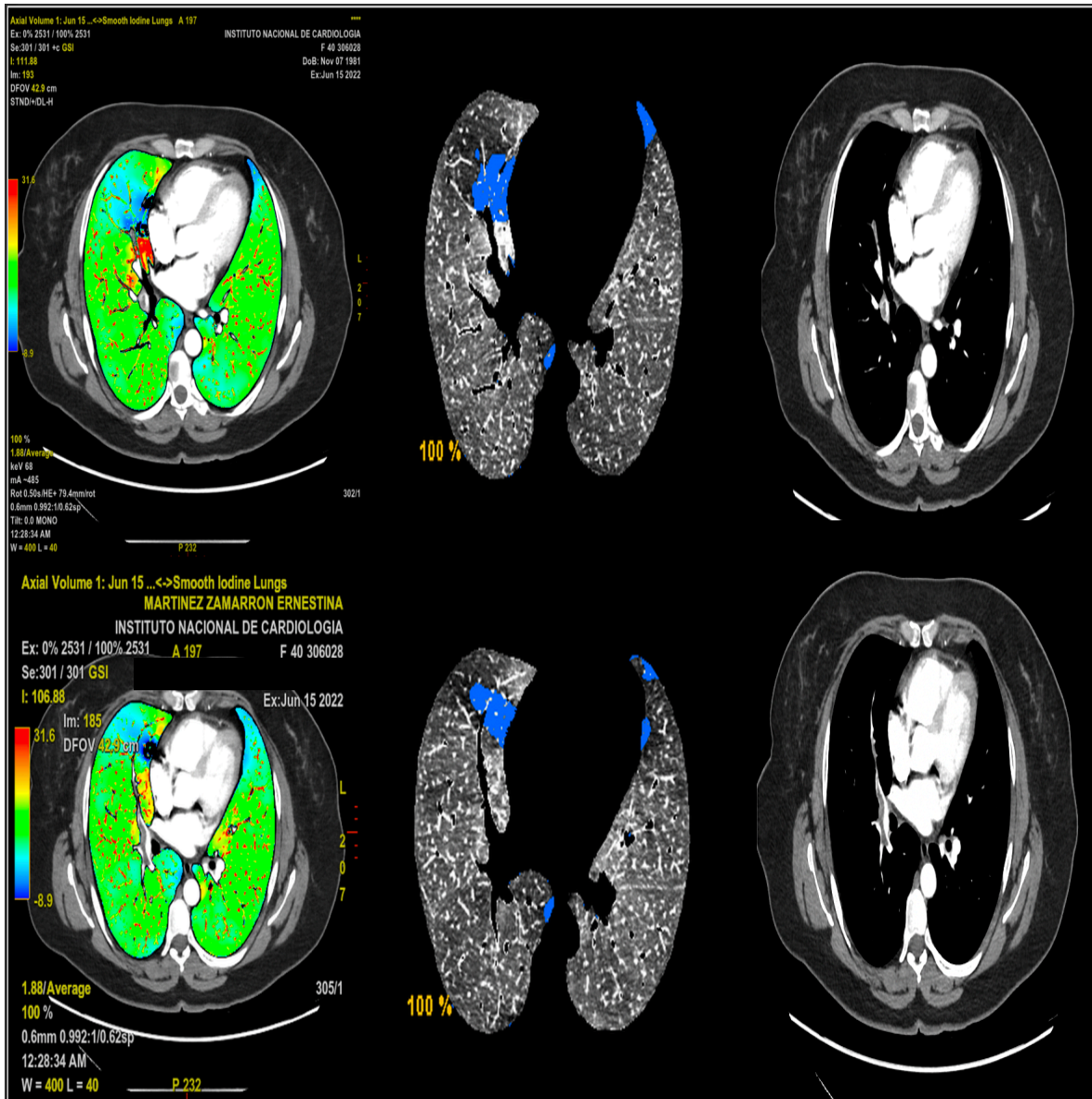
VARIABLES	Pacientes n=49
Hombres	22 (42%)
Mujeres	30 (58%)
Diagnóstico de TEP	19 (36.5%)
Negativo a TEP	32 (63.5%)

**Tabla 4**

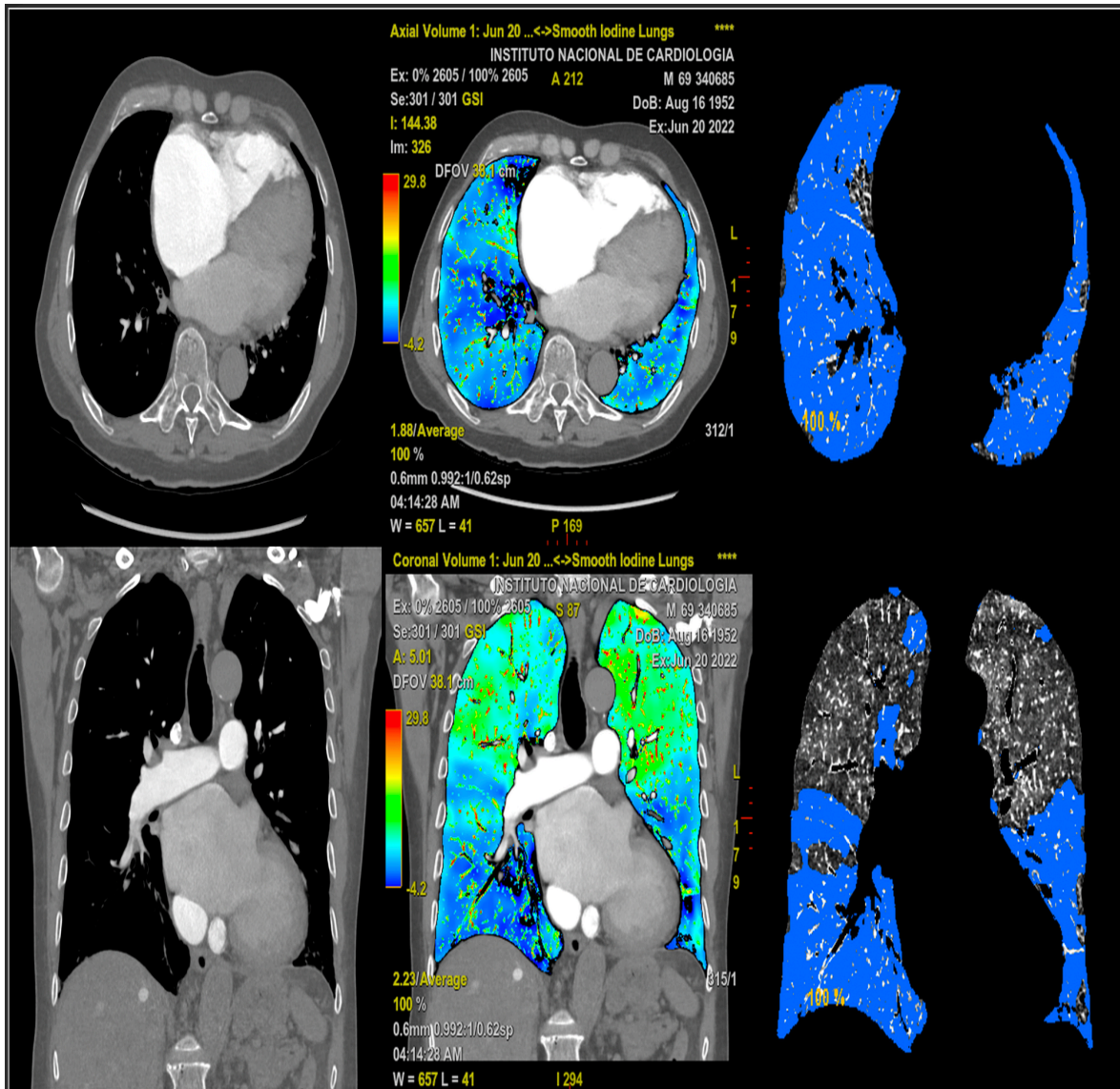
SEXO	Tromboembolia pulmonar Pacientes n=18
Mujeres	52.6% (10)
Hombres	57.4% (9)

Nota: Porcentaje y número de pacientes correspondientes entre paréntesis

De los 19 pacientes positivos para tromboembolia pulmonar, 6 de ellos mostraron datos sugestivos de tromboembolismo pulmonar agudo (31.5%) (Figura 13), mientras que los otros 13 pacientes restantes (68.5%) (Figura 14) se catalogaron como tromboembolismo pulmonar crónico. (Tabla 5)

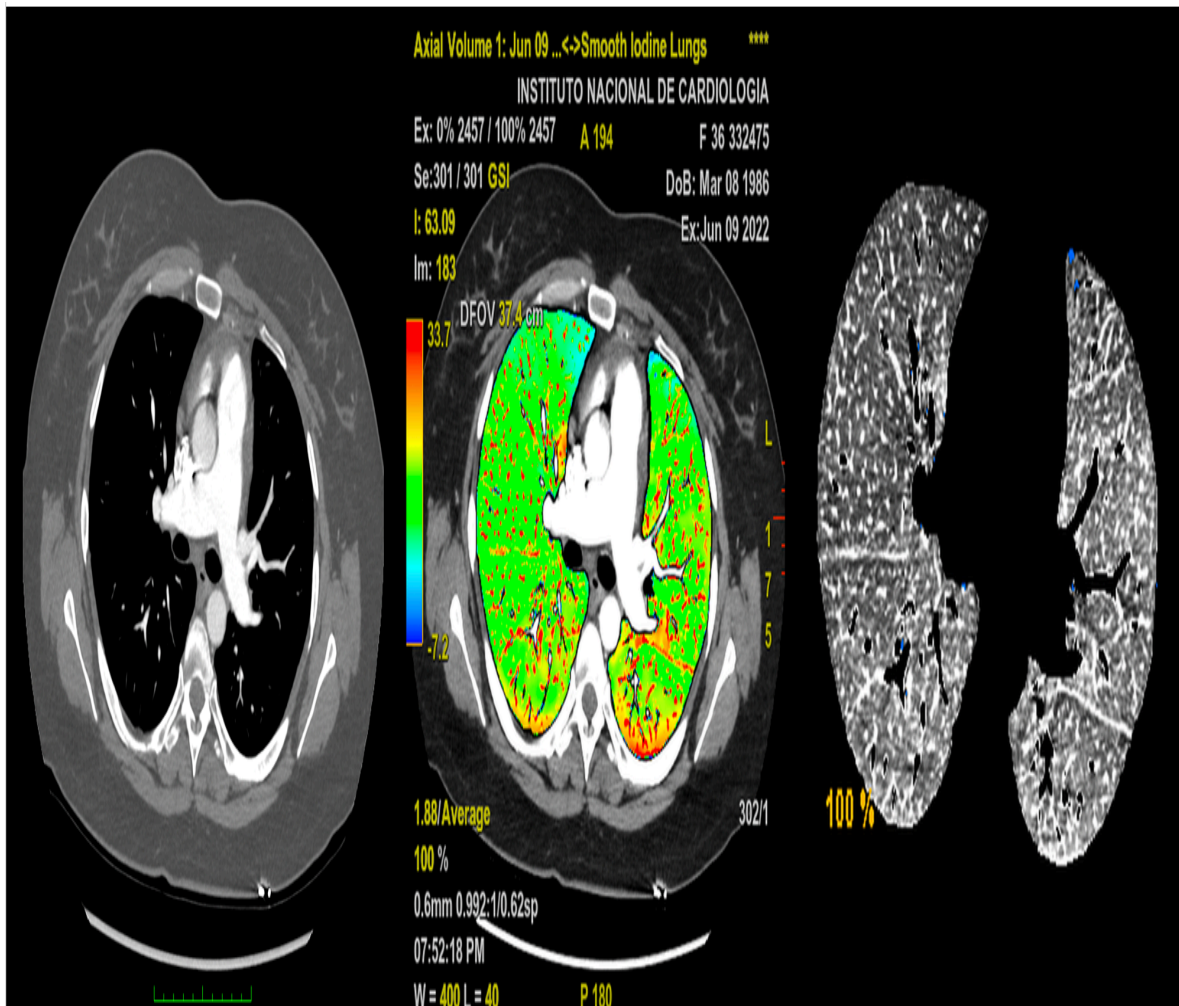


**FIG. 13.** Mapas de perfusión, mapa de yodo y angiotomografía de arterias pulmonares en cortes axiales a dos diferentes niveles con hallazgos positivos para tromboembolia pulmonar aguda en segmento medial del lóbulo medio con hipoperfusión en mapa de color y en mapa de yodo.



**FIG. 14.** Cortes axiales y coronales de angiotomografía de arterias pulmonares, mapas de perfusión y mapas de yodo con hallazgos positivos para tromboembolia pulmonar crónica con hipoperfusión marcada hacia las bases.

Los 33 pacientes restantes de la población (63.5%) fueron negativos para tromboembolia pulmonar al momento de la angiotomografía de arterias pulmonares.



**FIG. 15.** Angiotomografía de arterias pulmonares con mapa de perfusión y mapa de yodo con hallazgos negativos para tromboembolia pulmonar y patrón de perfusión normal.

**Tabla 5**

<b>TROMBOEMBOLISMO PULMONAR</b>	<b>Pacientes (18) n=104</b>
Tromboembolia pulmonar aguda	6 (31.5%)
Tromboembolia pulmonar crónica	13 (68.5%)

Nota: Porcentaje y número de pacientes correspondientes entre paréntesis

Definición de variables.

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICIÓN OPERATIVA</b>	<b>TIPO DE VARIABLE</b>	<b>INDICADOR</b>
<i>Edad del paciente</i>	Tiempo transcurrido entre la fecha de nacimiento de la persona y la del momento en que ocurre o se registra el hecho vital.	Cuantitativa Discreta	Edad registrada en años.
<i>Sexo del paciente</i>	Característica biológica que distingue a las personas en hombres y mujeres.	Cualitativa Dicotómica	Masculino Femenino
<i>Indicación del estudio</i>	Motivo por el cual se envía el paciente a estudio de imagen en busca de una patología o su seguimiento.	Cualitativa Nominal	Nombre de la patología

## 9. DISCUSIÓN

El dolor precordial no traumático asociado a otros datos clínicos es uno de los motivos mas comunes por lo que se solicitan estudios de imagen tanto en el medio público como privado, con el fin principal de descartar tromboembolia pulmonar.

La angiotomografía de arterias coronarias, es el estudio de imagen de primera elección, por su disponibilidad, costo, rapidez y por su alta sensibilidad y especificidad para el diagnóstico de tromboembolismo pulmonar.

Al igual que la literatura encontrada, observamos que el porcentaje de estudios positivos para tromboembolia pulmonar, en este medio hospitalario público es relativamente frecuente, ya que en nuestra estadística correspondió al 36.5%. De este porcentaje la tromboembolia pulmonar aguda corresponde al 31.5% de los casos y la tromboembolia pulmonar crónica al 68.5% restante.

La media de edad de los pacientes con tromboembolia pulmonar fue de 54.4 años, sin identificar predominio entre la población masculina y la femenina.

El 63.5 % de los pacientes evaluados no presentaron hallazgos sugestivos de tromboembolismo pulmonar agudo ni crónico al momento del estudio.

## **10. CONCLUSIONES**

La presencia de dolor precordial agudo, así como disneas, tos y otros datos clínicos condicionan una alta sospecha para tromboembolia pulmonar y es uno de los motivos por los que solicitan angiotomografías de arterias pulmonares con mayor frecuencia a los servicios de imagen públicos y privados. Para el clínico es importante descartar esta patología debido a su alta tasa de morbilidad-mortalidad

y a la importancia de normar el manejo, que en gran parte de los casos amerita un procedimiento quirúrgico

Es de suma importancia que el radiólogo sepa reconocer los hallazgos de la angiotomografía para tromboembolia pulmonar aguda y crónica, así como aprender a utilizar los beneficios de la energía espectral en el post-procesamiento para obtener más información y de esta manera incrementar la sensibilidad diagnóstica, sin embargo, en los casos en que esta entidad se descarte, también sea capaz de reconocer otros diagnósticos que expliquen el origen del dolor del paciente.

Tanto en lo demostrado con la estadística del presente estudio, como en lo referido en la literatura, el porcentaje de pacientes con sospecha clínica de tromboembolia pulmonar y con un angiotomografía de arterias pulmonares es relativamente alto. Sin embargo, en una proporción importante de estos pacientes puede ser encontrada la causa por este método, por lo que el conocimiento y reconocimiento tomográfico de causas de dolor precordial son de vital importancia para el médico radiólogo.

La angiotomografía de arterias pulmonares con aplicación de energía espectral es un método diagnóstico que permite realizar con certeza el diagnóstico de tromboembolia pulmonar aguda o crónica, pero de ser descartadas también favorece la detección de otras patologías que puedan explicar clínicamente el dolor referido por el paciente.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pollack CV, Schreiber D, Goldhaber SZ, Slattery D, Fanikos J, O'Neil BJ, Thompson JR, Hiestand B, Briese BA, Pendleton RC, Miller CD, Kline JA. Clinical characteristics, management, and outcomes of patients diagnosed with acute pulmonary embolism in the emergency department: initial report of EMPEROR (Multicenter Emergency Medicine Pulmonary Embolism in the Real World Registry). *J Am Coll Cardiol* 2011; 57:700-706.
2. Miniati M, Prediletto R, Formichi B, Marini C, Di Ricco G, Tonelli L, Allesscia G, Pistolesi M. Accuracy of clinical assessment in the diagnosis of pulmonary embolism. *Am J Respir Crit Care Med* 1999;159:864-871.
3. Wells PS, Ginsberg JS, Anderson DR, Kearon C, Gent M, Turpie AG, Bormanis J, Weitz J, Chamberlain M, Bowie D, Barnes D, Hirsh J. Use of a clinical model for safe management of patients with suspected pulmonary embolism. *Ann Intern Med* 1998;129:997-1005.
4. Barco S, Ende-Verhaar YM, Becattini C, Jimenez D, Lankeit M, Huisman MV, Konstantinides SV, Klok FA. Differential impact of syncope on the prognosis of patients with acute pulmonary embolism: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 2018;39:4186-4195
5. Konstantinides SV, Meyer G, Becattini C, Bueno H, Geersing GJ, Harjola VP, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *Eur Heart J* 2020;41:543-603
6. Ghaye B, Szapiro D, Mastora I, Delannoy V, Duhamel A, Remy J, et al. Peripheral pulmonary arteries: how far in the lung does multi-detector row spiral CT allow analysis? *Radiology* 2001;219:629-636
7. Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol* 2007;17:1510-1517
8. Goo HW, Goo JM. Dual-energy CT: new horizon in medical imaging. *Korean J Radiol* 2017;18:555-569
9. Danad I, Fayad ZA, Willeminck MJ, Min JK. New applications of cardiac computed tomography: dual-energy, spectral, and molecular CT imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2015;8:710-723
10. Rassouli N, Etesami M, Dhanantwari A, Rajiah P. Detector-based spectral CT with a novel dual-layer technology: principles and applications. *Insights Imaging* 2017;8:589-598



11. Thieme SF, Johnson TR, Lee C, McWilliams J, Becker CR, Reiser MF, et al. Dual-energy CT for the assessment of contrast material distribution in the pulmonary parenchyma. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:144-149
12. Raskob GE, Angchaisuksiri P, Blanco AN, Buller H, Gallus A, Hunt BJ, Hylek EM, Kakkar A, Konstantinides SV, McCumber M, Ozaki Y, Wendelboe A, Weitz JI. Thrombosis: a major contributor to global disease burden. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2014;34:2363-2371.
13. Wendelboe AM, Raskob GE. Global burden of thrombosis: epidemiologic aspects. *Circ Res* 2016;118:1340-1347.
14. Keller K, Hobohm L, Ebner M, Kresoja KP, Munzel T, Konstantinides SV, Lankeit M. Trends in thrombolytic treatment and outcomes of acute pulmonary embolism in Germany. *Eur Heart J* 2020;41:522-529.
15. de Miguel-Diez J, Jimenez-Garcia R, Jimenez D, Monreal M, Guijarro R, Otero R, Hernandez-Barrera V, Trujillo-Santos J, Lopez de Andres A, Carrasco-Garrido P. Trends in hospital admissions for pulmonary embolism in Spain from 2002 to 2011. *Eur Respir J* 2014;44:942-950.
16. Dentali F, Ageno W, Pomero F, Fenoglio L, Squizzato A, Bonzini M. Time trends and case fatality rate of in-hospital treated pulmonary embolism during 11 years of observation in Northwestern Italy. *Thromb Haemost* 2016;115: 399-405.
17. Lehnert P, Lange T, Moller CH, Olsen PS, Carlsen J. Acute pulmonary embolism in a national Danish cohort: increasing incidence and decreasing mortality. *Thromb Haemost* 2018;118:539-546.
18. Barco S, Woerschling AL, Spyropoulos AC, Piovella F, Mahan CE. European Union-28: an annualised cost-of-illness model for venous thromboembolism. *Thromb Haemost* 2016;115:800-808.
19. Cohen AT, Agnelli G, Anderson FA, Arcelus JI, Bergqvist D, Brecht JG, Greer IA, Heit JA, Hutchinson JL, Kakkar AK, Mottier D, Oger E, Samama MM, Spannagl M; VTE Impact Assessment Group in Europe (VITAE). Venous thromboembolism (VTE) in Europe. The number of VTE events and associated morbidity and mortality. *Thromb Haemost* 2007;98:756-764.
20. Jimenez D, de Miguel-Diez J, Guijarro R, Trujillo-Santos J, Otero R, Barba R, Muriel A, Meyer G, Yusen RD, Monreal M; RIETE Investigators. Trends in the management and outcomes of acute pulmonary embolism: analysis from RIETE registry. *J Am Coll Cardiol* 2016;67:162-170.
21. Agarwal S, Clark D III, Sud K, Jaber WA, Cho L, Menon V. Gender disparities in outcomes and resource utilization for acute pulmonary embolism hospitalizations in the United States. *Am J Cardiol* 2015;116:1270-1276.
22. Roy PM, Meyer G, Vielle B, Le Gall C, Verschuren F, Carpentier F, Leveau P, Furber A; EMDEPU Study Group. Appropriateness of diagnostic

management and outcomes of suspected pulmonary embolism. *Ann Intern Med*. 2006;144:157-164.

23. Jimenez D, Bikdeli B, Barrios D, Morillo R, Nieto R, Guerassimova I, Muriel A, Jara-Palomares L, Moores L, Tapson V, Yusef RD, Monreal M; RIETE Investigators. Management appropriateness and outcomes of patients with acute pulmonary embolism. *Eur Respir J* 2018;51:1800445.
24. Wiener RS, Schwartz LM, Woloshin S. Time trends in pulmonary embolism in the United States: evidence of overdiagnosis. *Arch Intern Med*. 2011;171:831-837.
25. Piñar Sancho, G., Abarca Zúñiga, V., & Moya Corea, S. (2021). Diagnóstico y manejo actualizado del tromboembolismo pulmonar agudo. *Revista Medica Sinergia*, 6(1), e633.
26. Kucher et al. Randomized, Controlled Trial of Ultrasound Assisted Catheter-Directed Thrombolysis for Acute Intermediate Risk Pulmonary Embolism. *Circulation*. 2014;129: páginas 479-486
27. Piazza et al. A Prospective, Single-Arm, Multicenter Trial of Ultrasound Facilitated, Catheter-Directed, Low-Dose Fibrinolysis for Acute Massive and Submassive Pulmonary Embolism. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2015;8:238292.
28. Tapson et al. A Randomized Trial of the Optimum Duration of Acoustic Pulse Thrombolysis Procedure in Acute Intermediate Risk Pulmonary Embolism. *J Am Coll Cardiol Interv*. 2018;11: páginas 1401-1410.
29. Wells PS, Forgie MA, Rodger MA. Treatment of Venous Thromboembolism. *JAMA* 2014, 311:717-728.
30. Aplicación de TC espectral en la evaluación de la respuesta al tratamiento del CHC después de tratamiento intraarterial. Lara-García, Eunice A., Ciales-Vera, Sergio A. et al. *Anales de Radiología México*. 2021;20:288-297.
31. What the Baby Formula and Medical Contrast Material Shortages Have in Common: Insights and Recommendations for Managing the Iodinated Contrast Media Shortage. Lakshmi Ananthkrishnan, Fernando U. Kay, Eric A. Zeikus, Eugene S. Chu, Joseph Chang, John D. Barr, Neil M. Rofsky, and Suhny Abbara. *Radiology: Cardiothoracic Imaging* 2022 4:3