

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE
MEDICINA



**SEGURIDAD Y EFICACIA DE LA TROMBOLISIS DIRIGIDA MEDIANTE
CATÉTER PIGTAIL EN PACIENTES CON TROMBOEMBOLISMO
PULMONAR: ANÁLISIS RETROSPPECTIVO**

Por

DR. RAFAEL PEDRAZA JIMÉNEZ

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN CARDIOLOGÍA**

DICIEMBRE, 2025

SEGURIDAD Y EFICACIA DE LA TROMBOLISIS DIRIGIDA MEDIANTE
CATÉTER PIGTAIL EN PACIENTES CON TROMBOEMBOLISMO PULMONAR:
ANÁLISIS RETROSPETIVO

Aprobación de la tesis:



Dr. Alejandro Ordaz Farias
Director de tesis

Jefe de enseñanza del Servicio de
Cardiología



Dr. Jorge Alberto Vitela Rodriguez
Codirector de tesis

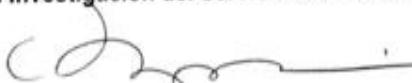
Profesor del servicio de Cardiología
Intervencionista

Dr. med. Ramiro Flores Ramírez

Jefe del Servicio de Cardiología



Dr. med. José Ramón Azpíri López
Coordinador de Investigación del Servicio de Cardiología



Dr. med. Felipe Arturo Morales Martínez
Subdirector de Estudios de Posgrado

DEDICATORIA Y/O AGRADECIMIENTOS

A mis padres, cuyo apoyo incondicional, guía moral y compromiso permanente hicieron posible la culminación de este trabajo. Su ejemplo de perseverancia, disciplina y responsabilidad constituyó un pilar fundamental a lo largo de toda la formación académica y personal.

A mis docentes y asesores que impartieron sus conocimientos con generosidad y rigor. Sus orientaciones metodológicas, su disposición para el diálogo académico y sus observaciones críticas contribuyeron de manera decisiva al desarrollo y consolidación de las capacidades necesarias para llevar a término esta investigación. Su labor docente y acompañamiento intelectual representan una influencia perdurable en la trayectoria profesional del autor.

A todas las personas que, directa o indirectamente, ofrecieron tiempo, apoyo o motivación durante el proceso de elaboración de esta tesis, se les manifiesta también un reconocimiento respetuoso y agradecido. Su participación, desde distintos ámbitos, enriqueció este proyecto y permitió su materialización.

Tabla de contenido

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE MEDICINA	1
DEDICATORIA Y/O AGRADECIMIENTOS.....	3
Índice de tablas.....	7
Índice de Figuras.....	8
Lista de abreviaturas.....	9
RESUMEN	11
Antecedentes	11
Objetivo.....	11
Métodos	11
Resultados.....	12
Conclusiones.....	12
Marco Teórico	13
Introducción	13
1. TEP de alto riesgo (riesgo elevado o masiva).	15
2. TEP de riesgo intermedio (submasiva).....	15
3. TEP de bajo riesgo (no masiva).....	16
Contraindicaciones de la trombólisis en pacientes con tromboembolia pulmonar de alto riesgo.....	16
1. Contraindicaciones absolutas	16
2. Contraindicaciones relativas.....	17
Trombólisis dirigida por catéter	17
Resultados clínicos y hemodinámicos	18
Seguridad y complicaciones	18
Costos asociados a la trombólisis in situ en tromboembolia pulmonar	18
Utilidad del cateter pig tail en trombolisis in situ.....	20
Técnicas de infusión, dosis y duración de la trombólisis in situ en tromboembolia pulmonar	21
Valoración ecocardiográfica de la tromboembolia pulmonar	23
Planteamiento del problema.....	27
Justificación	28
Hipótesis	29
Hipótesis de investigación	29
Hipótesis nula (H_0).....	29

Objetivos	30
Objetivo general.....	30
Objetivos específicos	30
Material y métodos.....	31
Universo del estudio.....	31
Muestra	32
Definición de unidades de observación.....	33
Definición de grupo control.....	33
Criterios de Inclusión.....	34
Criterios de exclusión.....	34
Criterios de eliminación.....	35
Definición de variables y unidades de medida	36
Selección de las fuentes, métodos, técnicas y procedimientos de recolección de la información.	39
Prueba piloto.....	39
Procedimientos para realizar para el procesamiento y tratamiento estadístico.....	40
Aspectos éticos.	41
Recursos materiales.....	42
Presupuesto.....	43
Financiamiento externo.....	43
Resultados	44
Población y características basales	44
Variables clínicas al ingreso	47
Evaluación ecocardiográfica inicial.....	48
Evolución a las 48 horas (hospitalización)	49
Evolución a 30 días.....	50
Eficacia cuantitativa del tratamiento trombolítico	55
Normalización de parámetros ecocardiográficos a 48 horas y 30 días.	57
Ánálisis de seguridad	59
Complicaciones menores.....	59
Complicaciones mayores	60
Mortalidad.....	60
Discusión.....	61
Mejoría temprana y sostenida de la función del ventrículo derecho.....	61

Normalización de parámetros ecocardiográficos	62
Relación entre parámetros ecocardiográficos y estado hemodinámico	62
Seguridad del procedimiento.....	63
Supervivencia.....	63
Limitaciones del estudio	63
Conclusiones.....	65
Bibliografía	66
Autobiografía	71

Índice de tablas

Tabla 1 Características basales de la población.....	46
Tabla 2 Variables clínicas medidas al ingreso.	48
Tabla 3 Diferencias en las mediciones ecocardiográficas en los tres momentos (Ingreso, 48 h y 30 días).....	51
Tabla 4 Tabla de eficacia cuantitativa.	56
Tabla 5 Tabla de normalización a 48h y 30 días.	57

Índice de Figuras.

Figura 1 Distribución del sexo de la población estudiada.....	44
Figura 2 Clasificación de riesgo de acuerdo a la ESC.....	46
Figura 3 Cociente VD/VI en los tres momentos de evaluación.....	51
Figura 4 TAPSE en los tres momentos de evaluación.....	52
Figura 5 S'VD en los tres momentos de evaluación.....	52
Figura 6 FACVD en los 3 momentos de evaluación.....	53
Figura 7 ITMAX en los 3 momentos de evaluación.....	53
Figura 8 PSAP en los 3 momentos de evaluación.....	54
Figura 9 FEVI en los 3 momentos de evaluación.....	54
Figura 10 Acoplamiento V/A en los tres momentos de evaluación.....	55
Figura 11 Normalización de parámetros ecocardiográficos.....	58
Figura 12 Distribución de complicaciones menores	59
Figura 13 Curva de supervivencia tipo Kaplan-Meier a 30 días.....	60

Lista de abreviaturas

AP – Arteria pulmonar

DE – Desviación estándar

ECG – Electrocardiograma

ECO – Ecocardiografía

ESC – European Society of Cardiology

FACVD – Fracción de área del ventrículo derecho

FC – Frecuencia cardiaca

FEVI – Fracción de eyección del ventrículo izquierdo

FR – Frecuencia respiratoria

IT – Insuficiencia tricuspídea

ITMAX – Velocidad máxima del jet de insuficiencia tricuspídea

KM – Kaplan-Meier

PA – Presión arterial

PAD – Presión arterial diastólica

PAM – Presión arterial media

PAS – Presión arterial sistólica

PAP – Presión de la arteria pulmonar

PE – Pulmonary embolism (tromboembolia pulmonar)

PEITHO – Pulmonary Embolism Thrombolysis study

PERFECT – Pulmonary Embolism Response to Fragmentation, Embolectomy, and Catheter Thrombolysis

PSAP – Presión sistólica de la arteria pulmonar

RV – Right ventricle (ventrículo derecho)

S' VD – Velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (S-prime del ventrículo derecho)

SaO₂ – Saturación arterial de oxígeno

TEP – Tromboembolia pulmonar

TAPSE – Excursión sistólica del plano anular tricuspídeo

TIC – Tiempo de infusión del catéter

TS – Trombólisis sistémica

TDC – Trombólisis dirigida por catéter

VD – Ventrículo derecho

VD/VI – Relación de diámetros ventrículo derecho/ventrículo izquierdo

V/A – Acoplamiento ventrículo-arterial

VI – Ventrículo izquierdo

VTE – Tromboembolismo venoso

RESUMEN

Antecedentes

La tromboembolia pulmonar (TEP) de riesgo intermedio-alto y alto representa una causa frecuente de morbilidad y mortalidad, especialmente cuando existe disfunción del ventrículo derecho (VD) y compromiso hemodinámico. En pacientes con contraindicación para la trombólisis sistémica, las opciones terapéuticas se reducen considerablemente. La trombólisis dirigida con catéter ha emergido como una alternativa que permite administrar fibrinolíticos a dosis bajas directamente sobre el trombo, logrando reperfusión rápida con menor riesgo hemorrágico. Sin embargo, persiste la necesidad de caracterizar su eficacia y seguridad en escenarios clínicos reales.

Objetivo

Evaluar la eficacia y seguridad de la trombólisis dirigida con catéter empleando pigtail en pacientes con TEP de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica, mediante análisis de evolución ecocardiográfica seriada, parámetros hemodinámicos y desenlaces clínicos a 30 días.

Métodos

Se realizó un estudio retrospectivo, observacional, unicéntrico que incluyó 15 pacientes consecutivos con TEP de riesgo intermedio-alto o alto tratados con trombólisis dirigida. Se recolectaron variables clínicas, hemodinámicas, bioquímicas y ecocardiográficas al ingreso, 48 horas y 30 días. Se analizaron los cambios absolutos y relativos de los parámetros de función del VD (TAPSE, S' VD, FACVD, VD/VI, PSAP y acoplamiento V/A). Se aplicó la prueba de Friedman para comparación de medidas repetidas y se construyó una curva de supervivencia Kaplan-Meier. Se documentaron eventos adversos y complicaciones hemorrágicas.

Resultados

La media de edad fue de 54.9 ± 14.1 años, con predominio femenino (66.7 %) y elevada prevalencia de comorbilidades, incluyendo diabetes (66.7 %), hipertensión (60% %) y antecedente de neoplasia (26.6 %). Todos los pacientes presentaron contraindicación para trombólisis sistémica.

Se observó una mejoría significativa de la función del VD desde las primeras 48 horas: el TAPSE aumentó 90.5 %, la FACVD mejoró 73.3 %, la S' VD incrementó 77.5 %, y la relación VD/VI disminuyó 23.7 %. A los 30 días, la recuperación fue aún más notable, alcanzando valores dentro de la normalidad en la mayoría de los pacientes (100 % para TAPSE, 100 % para S' VD, 90.9 % para FACVD y 100 % para VD/VI). La PSAP disminuyó más del 50 % al mes y el acoplamiento V/A se normalizó en 90.9 %.

El análisis de Friedman mostró mejoría estadísticamente significativa en todos los parámetros ecocardiográficos ($p < 0.01$). La supervivencia a 30 días fue del 93.3 %, sin mortalidad cardiovascular. Solo se documentaron dos complicaciones menores (hematoma local y sangrado leve), sin eventos hemorrágicos mayores ni recurrencia de TEP.

Conclusiones

La trombólisis dirigida con catéter empleando pigtail se asoció con una mejoría rápida, marcada y sostenida de la función del ventrículo derecho, así como una reducción significativa de la presión pulmonar en pacientes con TEP de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica. El perfil de seguridad fue excelente, sin hemorragias mayores y con supervivencia elevada. Estos hallazgos respaldaron el uso de la trombólisis dirigida como una alternativa terapéutica eficaz y segura en pacientes seleccionados, aunque se requieren estudios prospectivos con mayor tamaño muestral para confirmar los predictores de respuesta y los beneficios a largo plazo.

Marco Teórico

Introducción

La tromboembolia pulmonar (TEP) constituye una emergencia médica potencialmente mortal que forma parte del espectro clínico de la enfermedad tromboembólica venosa (ETEV), junto con la trombosis venosa profunda (TVP). Se produce por la obstrucción parcial o total del flujo sanguíneo en la circulación pulmonar, secundario a la migración de émbolos, habitualmente de origen venoso profundo en los miembros inferiores, hacia las arterias pulmonares. Esta condición representa una de las principales causas de muerte cardiovascular en todo el mundo, solo superada por el infarto agudo de miocardio y el accidente cerebrovascular¹.

La incidencia anual a nivel mundial de TEP varía entre 39 a 115 casos por cada 100,000 habitantes en la población general, con un aumento significativo en personas mayores de 70 años². En cuanto a la prevalencia, estudios post mortem sugieren que la TEP puede estar presente de manera subclínica en hasta un 60 % de los pacientes hospitalizados con condiciones médicas graves suponiendo un gran porcentaje de pacientes sub diagnosticados³.

En México es una causa importante de morbimortalidad, evidenciada principalmente por estudios post mortem realizados en instituciones hospitalarias. En un análisis de 1,685 necropsias realizadas en el Hospital General del Centro Médico Nacional del IMSS, se documentó que el 15 % correspondía a casos de TEP, cifra que reflejó un impacto considerable de esta patología sobre la mortalidad hospitalaria⁴. De esta misma base de datos, se observó que la TEP fue la causa directa del 28 % de las muertes, contribuyó de manera indirecta en el 62 % y fue identificada como hallazgo incidental en el 10 % de los casos⁴.

En el Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”, durante el periodo de 1985 a 1994, se realizaron 1,032 necropsias de 3,751 fallecimientos, de las cuales 231 (21 %) correspondieron a TEP. No obstante, este diagnóstico solo se sospechó clínicamente en el 18 % de los casos, evidenciando una brecha significativa entre la presentación clínica y

el diagnóstico definitivo, confirmando el hecho de un importante sub diagnóstico en nuestro entorno medico⁴.

En cuanto a la incidencia en pacientes hospitalizados, diversas fuentes estiman que la tasa de TEP puede ser del 15 % en dichos grupos, afectando por igual a hombres y mujeres⁵. Los datos muestran que esta incidencia, calculada en contextos específicos, refleja la relevancia de la TEP dentro de los diagnósticos hospitalarios.

En el ámbito de cirugía, se ha estimado que la prevalencia de TEP en pacientes quirúrgicos puede oscilar entre el 5 % al 25 %, lo que indica un riesgo elevado en este tipo de pacientes⁶.

Además, el Manual de Medicina Interna (Access Medicina) reporta que en estudios post mortem en México, la TEP estuvo presente en el 15 % de los casos y fue la causa del 28 % de las muertes, cifra que concuerda con reportes anteriores ³⁴.

En cuanto a datos generales de la ETV que incluye la TEP, el IMSS menciona en sus guías que la incidencia anual estimada en México es de 29 a 78 casos de TEP por cada 100,000 personas, mientras que para TVP los números oscilan entre 45 y 117 casos por 100,000 personas por año⁷

Desde el punto de vista fisiopatológico, la TEP genera un aumento súbito de la poscarga del ventrículo derecho, pudiendo ocasionar disfunción ventricular derecha aguda, colapso hemodinámico y muerte súbita⁸. La magnitud de la obstrucción y la respuesta hemodinámica del paciente determinan la clasificación del riesgo, que actualmente se categoriza en TEP de riesgo alto, intermedio alto, intermedio bajo y bajo riesgo, de acuerdo con la probabilidad de mortalidad a corto plazo ¹.

El diagnóstico oportuno y el tratamiento adecuado son fundamentales para reducir la morbilidad asociada. En este sentido, las guías clínicas actuales recomiendan el uso de algoritmos diagnósticos estructurados basados en la probabilidad clínica pretest como el uso de dímero-D, y estudios de imagen como la angiotomografía pulmonar (CTPA) o la gammagrafía ventilación-perfusión (V/Q) ⁹.

En cuanto al tratamiento, el manejo inicial se basa en la anticoagulación con heparinas de bajo peso molecular o anticoagulantes orales directos. Sin embargo, en pacientes con TEP de alto riesgo o intermedio-alto con deterioro hemodinámico, pueden considerarse terapias de reperfusión como la trombólisis sistémica, la trombólisis dirigida por catéter o la embolectomía quirúrgica ¹⁰⁻¹¹.

A pesar de los avances diagnósticos y terapéuticos, la TEP continúa representando un desafío clínico, particularmente en escenarios de inestabilidad hemodinámica, comorbilidades múltiples o contraindicaciones para la anticoagulación. Por ello, se mantiene como un área prioritaria de investigación clínica y de mejora continua en los sistemas de salud.

La estratificación del riesgo en pacientes con TEP es un componente esencial para la toma de decisiones clínicas, ya que permite identificar aquellos pacientes con mayor probabilidad de complicaciones hemodinámicas y muerte a corto plazo. Las guías internacionales recomiendan una clasificación basada en la presencia o ausencia de inestabilidad hemodinámica, así como en parámetros clínicos, bioquímicos, de imagen y escalas de riesgo predeterminadas ^{1,12}.

1. TEP de alto riesgo (riesgo elevado o masiva).

Se define como aquella TEP asociada a inestabilidad hemodinámica, la cual incluye presión arterial sistólica <90 mmHg, necesidad de vasopresores, síncope o paro cardíaco. Este grupo representa aproximadamente el 5 % de todos los casos de TEP y se asocia con tasas de mortalidad intrahospitalaria superiores al 25 % si no se administra tratamiento de reperfusión inmediato ^{1,8}. El tratamiento estándar es la trombólisis sistémica.

2. TEP de riesgo intermedio (submasiva)

Este grupo se caracteriza por estabilidad hemodinámica, pero con evidencia de disfunción ventricular derecha (DVD) en estudios de imagen (ecocardiografía o angiotomografía computada) y/o elevación de biomarcadores cardiacos como troponinas o péptido natriurético tipo B (BNP o NT-proBNP) ¹³.

A su vez, se subdivide en:

- Riesgo intermedio-alto: presencia de DVD y elevación de biomarcadores, más un puntaje elevado en el índice de severidad pulmonar (PESI) o sPESI ≥ 1 . Este subgrupo tiene una mortalidad de 3–15 % y puede beneficiarse de una estrategia individualizada de reperfusión si se desarrolla deterioro hemodinámico.
- Intermedio-bajo riesgo: evidencia de DVD o elevación de biomarcadores, pero no ambos. Generalmente se maneja con anticoagulación sola bajo vigilancia hospitalaria.

3. TEP de bajo riesgo (no masiva)

Corresponde a pacientes clínicamente estables, sin signos de disfunción ventricular derecha ni elevación de biomarcadores, y con un puntaje bajo en las escalas pronósticas (PESI clase I-II o sPESI 0). Este grupo presenta una mortalidad hospitalaria menor al 1 %, por lo que algunos pacientes pueden ser tratados de forma ambulatoria ^{14,30}.

Contraindicaciones de la trombólisis en pacientes con tromboembolia pulmonar de alto riesgo

La trombólisis sistémica con activadores del plasminógeno tisular (tPA) es el tratamiento de elección en pacientes con TEP de alto riesgo o “masiva”. Este tratamiento ha demostrado reducir la mortalidad en estos pacientes al restablecer rápidamente el flujo en las arterias pulmonares ^{10,1}. No obstante, conlleva un riesgo significativo de complicaciones hemorrágicas, particularmente hemorragia intracraneal, por lo que es indispensable evaluar las contraindicaciones antes de su administración.

Las guías de práctica clínica de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC) y del American College of Chest Physicians (CHEST) clasifican las contraindicaciones de la trombólisis en absolutas y relativas, en función del riesgo de sangrado grave.

1. Contraindicaciones absolutas

La presencia de cualquiera de las siguientes condiciones representa un riesgo inaceptable de sangrado mayor y contraindica la administración de trombolíticos:

- Hemorragia activa o sangrado significativo no controlado.
- Hemorragia intracranal previa (excepto si se documenta como traumática benigna).
- Neoplasia cerebral maligna conocida, aneurisma cerebral o malformación arteriovenosa.
- Cirugía mayor reciente (incluyendo neurocirugía o cirugía ocular) en las últimas 3 semanas.
- Traumatismo craneoencefálico grave reciente (≤ 3 semanas).
- Historia de accidente cerebrovascular isquémico en los últimos 3 meses (excepto si es menor de 4.5 h para manejo simultáneo con TEP aguda).
- Patología hematológica conocida, trombocitopenia severa o coagulopatía no corregida.
- Sospecha de disección aórtica ^{1,12}

2. Contraindicaciones relativas

En algunos casos, el beneficio potencial de la trombólisis puede superar el riesgo hemorrágico, por lo que estas condiciones deben individualizarse:

- Accidente cerebrovascular isquémico remoto (> 3 meses).
- Hipertensión arterial severa no controlada ($> 180/110$ mmHg).
- Cirugía mayor o punción arterial en sitio no compresible en los últimos 10 días.
- Úlcera péptica activa.
- Enfermedad hepática avanzada con coagulopatía.
- Embarazo o posparto reciente (< 2 semanas).
- Retinopatía diabética proliferativa.
- Anticoagulación en curso con INR > 1.7 o TTP prolongado ^{13,8}

Trombólisis dirigida por catéter

En situaciones de TEP de alto riesgo con contraindicación absoluta para trombólisis, se puede considerar embolectomía quirúrgica o trombólisis dirigida por catéter (CDT), esta última asociada a menores tasas de sangrado grave al utilizar dosis reducidas de fibrinolíticos de forma localizada ¹⁵.

La trombólisis in situ, conocida como trombólisis dirigida por catéter (CDT), constituye una estrategia terapéutica mínimamente invasiva que permite la administración localizada de agentes fibrinolíticos directamente en el sitio de la oclusión vascular. Esta técnica busca maximizar la efectividad en la disolución del trombo mientras se minimizan los riesgos hemorrágicos sistémicos ¹⁶ .

Resultados clínicos y hemodinámicos

Un metaanálisis reciente reveló que el CDT se asocia con menor mortalidad y menos eventos hemorrágicos mayores en comparación con la trombólisis sistémica, aunque la certeza de la evidencia fue calificada como moderada .

En un estudio observacional, la combinación de trombólisis in situ con embolectomía demostró una eficacia superior (91.2 % de éxito) en comparación con otras estrategias que no incluían trombólisis localizada (82.8 %) .

En pacientes con insuficiencia respiratoria grave secundaria a COVID-19, la perfusión pulmonar, evaluada mediante angiografía y la técnica iFlow, mejoró significativamente tras la aplicación de trombolíticos tPA mediante CDT: el índice $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ aumentó durante las primeras 48 horas post-procedimiento de forma estadísticamente significativa ($p = 0.001$ y $p = 0.005$, respectivamente) ¹⁷ .

Seguridad y complicaciones

Un meta-análisis en cirugía mayor reveló que, en pacientes sometidos a trombólisis in situ, la tasa de complicaciones hemorrágicas menores fue del 16.2 %, frente al 19.4 % del grupo que recibió trombólisis sistémica, sugiriendo una ventaja en términos de seguridad ³⁸.

Costos asociados a la trombólisis in situ en tromboembolia pulmonar

Diversos estudios han comparado los costos directos de la trombólisis in situ con otras modalidades, incluyendo la anticoagulación estándar y técnicas de trombectomía mecánica. En un análisis económico de atención en los primeros 30 días posteriores al evento, se estimó que el costo promedio por episodio para CDT asistida por ultrasonido

(USAT) fue de aproximadamente 19,146 dólares, mientras que la trombectomía mecánica con aspiración continua (CAMT) y con aspiración por volumen (VAMT) representaron costos de 20,938 y 17,290 dólares, respectivamente. En todos los casos, el principal determinante del gasto fue el dispositivo utilizado, seguido por los costos hospitalarios y de cuidados intensivos¹⁸.

Desde una perspectiva de costo-efectividad, un modelo de decisión que comparó la trombólisis in situ con la anticoagulación sola en pacientes con TEP de riesgo intermedio encontró que la CDT tuvo un costo estimado de 22,353 dólares, con una tasa de sobrevida al primer mes del 98.4 %, frente a 25,060 dólares y 95.8 % de sobrevida con anticoagulación. Estos resultados implicaron una reducción de la relación de costo-efectividad negativa, lo que indica que la CDT no solo fue más efectiva, sino también más económica bajo el escenario planteado¹⁹.

Sin embargo, no todas las modalidades de CDT ofrecen el mismo perfil económico. Una comparación entre CDT convencional y el sistema EKOS (ultrasound-accelerated thrombolysis) demostró que el uso de este último se asoció con un incremento significativo en los costos hospitalarios. El costo promedio de hospitalización con EKOS fue de 28,909 dólares, en comparación con 18,791 dólares en el grupo tratado con CDT convencional, con una diferencia media de más de 10,000 dólares por paciente. Asimismo, el costo diario promedio fue también mayor con el sistema EKOS (4,415 frente a 3,381 dólares)²⁰.

En el contexto de salud pública mexicana, un estudio de costo-efectividad comparó tres estrategias terapéuticas para TEP: trombectomía con el sistema STR AngioJet, trombólisis in situ con alteplasa, y tromboembolectomía quirúrgica. Desde la perspectiva del sistema nacional de salud, el sistema AngioJet fue la opción más costo-efectiva, con un costo estimado de 7,910 dólares y una efectividad del 1.11 %, mientras que la combinación de CDT con alteplasa ascendió a 12,389 dólares, con una efectividad del 7.8 %. La razón incremental de costo-efectividad fue negativa en ambas comparaciones, lo que indica que el sistema STR fue dominante en términos económicos. De hecho, se estimó que, si se implementara de forma sistemática en lugar de la CDT o cirugía, se reduciría el presupuesto nacional destinado a esta patología en un 1.09 % a lo largo de cinco años²¹.

Utilidad del catéter pig tail en trombolisis in situ

La aplicación de trombólisis in situ mediante catéter pigtail ha sido empleada como una estrategia terapéutica en casos de TEP grave, especialmente masiva o de alto riesgo. Esta técnica combina la fragmentación mecánica del émbolo con administración local de fibrinolíticos, todo ello utilizando un catéter giratorio de tipo pigtail.

En un estudio multicéntrico realizado por Schmitz-Rode y colaboradores, se evaluó la eficacia y seguridad de la fragmentación mecánica de émbolos pulmonares masivos mediante un catéter pigtail rotacional. De los 10 pacientes incluidos (edad promedio 53.8 ± 9.5 años), la fragmentación fue exitosa en siete. En estos, se logró una recanalización parcial de aproximadamente el 29.2 % (±14.0 %) y del 36.0 % (±10.0 %) solo en los casos con éxito. El índice de choque disminuyó significativamente (de 1.52 a 1.22 post-procedimiento y a 0.81 a las 48 h; $p < 0.001$), mientras que la presión arterial pulmonar media cayó de manera significativa en el seguimiento (de 31 a 21 mm Hg; $p < 0.001$). La mortalidad global fue del 20 %, sin complicaciones procedimentales reportadas. Este hallazgo subraya la factibilidad y seguridad inicial de la intervención con catéter pigtail en escenarios críticos ²².

Por su parte, Bishav Mohan y colaboradores reportaron la experiencia de un solo centro con 50 pacientes con TEP de alto riesgo. En todos los casos, se realizó fragmentación mecánica del trombo mediante catéter pigtail, seguida de trombolisis intrapulmonar con uroquinasa (un bolo inicial seguido de infusión continua durante 24 h). Los parámetros hemodinámicos mostraron mejoras notables: la presión arterial pulmonar y el índice de choque disminuyeron de forma significativa ($p < 0.0001$). En cuanto a seguridad, solo 2 pacientes presentaron hemorragia mayor y 4 hemorragias menores; no hubo casos de hemorragia intracranal ni lesiones en arterias pulmonares o ventrículo derecho. La reperfusión inmediata y a mediano plazo fue excelente, con una tasa de éxito clínico del 96 % ²³.

Una guía de costos hospitalarios (en contexto general de procedimientos radiológicos) asigna un valor aproximado de USD 11 por unidad para catéteres pigtail de 6 French, mientras que catéteres de 5.2 French tienen un costo registrado de USD 18. Estas cifras

corresponden a tarifas internas de archivos de costos institucionales y reflejan, por lo tanto, un valor de referencia para fines contables, más que el precio de adquisición ³⁶.

En términos de adquisición comercial al por menor, un paquete de 10 unidades de catéteres pigtail cardiacos de tipo Performa 5Fr x 110 cm tiene un precio listado de USD 299, equivalentes a aproximadamente USD 29.90 por pieza. Este tipo de catéter se utiliza para procedimientos vasculares intermedios, aunque su precio puede variar sustancialmente dependiendo del país, marca, condiciones de compra y volumen ³⁷.

Dependiendo del país y el proveedor, y el volumen de compra el costo unitario de un catéter pigtail oscila entre USD 8 y USD 30. En hospitales latinoamericanos, su valor promedio institucional se encuentra entre USD 10–18, en contraste con dispositivos como EKOS, cuyo sistema puede superar los USD 10,000 por paciente ²⁰.

Técnicas de infusión, dosis y duración de la trombólisis in situ en tromboembolia pulmonar

La trombólisis in situ o dirigida por catéter ha emergido como una estrategia terapéutica que permite administrar agentes fibrinolíticos directamente sobre el trombo ubicado en la circulación pulmonar, evitando así las concentraciones sistémicas elevadas que caracterizan a la trombólisis intravenosa y que incrementan significativamente el riesgo de hemorragia intracranal y otros eventos adversos mayores³⁵.

Esta modalidad se fundamenta en el principio de lograr una concentración local elevada del fármaco en la matriz trombótica, optimizando su acción fibrinolítica, al tiempo que se utiliza una dosis total significativamente menor que la requerida en la administración sistémica ^{1,8}.

La técnica de infusión implica el posicionamiento de un catéter multiperforado directamente dentro de la arteria pulmonar, en la zona donde se visualiza la oclusión trombótica. En centros con recursos limitados, el catéter tipo pigtail ha demostrado ser una herramienta eficaz tanto para la fragmentación mecánica rotacional del trombo como para la administración controlada del fibrinolítico. En esta estrategia, el catéter se hace rotar

manualmente dentro del trombo para desestructurarlo mecánicamente, favoreciendo la penetración del agente trombolítico. Posteriormente, a través del mismo catéter se inicia la infusión continua del fármaco. Esta técnica, simple en su ejecución y de bajo costo, ha sido reportada en diversas series de casos como una alternativa efectiva y segura frente a dispositivos más complejos como el EKOS, el cual emplea ultrasonido para facilitar la lisis del coágulo pero cuyo alto costo limita su disponibilidad en muchos hospitales ^{22,23}.

Los fármacos más utilizados en trombólisis dirigida por catéter son la alteplasa (rtPA), la uroquinasa y, en menor medida actualmente, la estreptoquinasa. En el caso de la alteplasa, la dosis total administrada por vía intrapulmonar suele ser de entre 10 y 24 mg, dividida en infusión continua a razón de 0.5 a 2 mg por hora, dependiendo de si se utiliza uno o dos catéteres de forma simultánea. En los protocolos más difundidos, se administra una infusión de 1 mg por hora por catéter durante 12 a 24 horas. Algunos centros aplican además un bolo intraarterial de 2 a 4 mg al inicio del procedimiento en pacientes con compromiso hemodinámico severo, aunque esta práctica no es universal ¹.

En cuanto a la uroquinasa, la dosis inicial habitual es de 100,000 a 250,000 UI como bolo, seguida de una infusión continua de 4,000 a 5,000 UI por minuto durante un periodo que puede extenderse hasta 24 horas. En el estudio publicado por Mohan et al. (2014), se utilizó un esquema de 4,400 UI/kg como bolo, seguido de 2,200 UI/kg/h en infusión continua durante 24 horas, logrando tasas de éxito clínico del 96 % sin eventos de hemorragia intracranal. La estreptoquinasa, aunque efectiva, ha caído en desuso debido a su perfil antigénico y riesgo elevado de reacciones adversas sistémicas.

La duración del tratamiento varía entre 6 y 24 horas, y debe ajustarse con base en la evolución clínica del paciente, la respuesta hemodinámica, la mejoría de los parámetros ecocardiográficos y el monitoreo de laboratorio. Algunos autores recomiendan evaluar de forma seriada la presión arterial pulmonar media y el índice de choque, así como repetir estudios de imagen si se dispone de ellos. También se ha sugerido interrumpir la trombólisis en caso de mejoría rápida del cuadro clínico o aparición de efectos adversos mayores. En todo caso, el monitoreo de parámetros de coagulación (especialmente el tiempo de tromboplastina parcial activado y los niveles de fibrinógeno) debe realizarse cada 4 a 6 horas durante la infusión, junto con vigilancia estrecha de signos de sangrado.

Diversos estudios han respaldado la eficacia de esta modalidad terapéutica. En la serie de Schmitz-Rode et al. ²², se utilizó un catéter pigtail para fragmentación seguida de infusión de alteplasa en 10 pacientes con TEP masiva, logrando una disminución significativa en la presión arterial pulmonar media, así como en el índice de choque, sin complicaciones hemorrágicas mayores. Por su parte, Mohan et al. ²³ reportaron resultados favorables en una cohorte de 50 pacientes con TEP de alto riesgo tratados con catéter pigtail y uroquinasa, con una mortalidad hospitalaria baja, excelente tolerancia al tratamiento y buena recuperación funcional.

En conjunto, la trombólisis in situ mediante catéter pigtail constituye una técnica accesible, efectiva y con perfil de seguridad adecuado para centros que no disponen de tecnología avanzada o cirugía cardiovascular de urgencia a un costo considerablemente menor, con materiales al alcance de centros de segundo o terce nivel de atención.

La selección adecuada de la dosis y la duración del tratamiento, así como el monitoreo clínico estrecho, son elementos fundamentales para maximizar los beneficios de esta intervención.

Valoración ecocardiográfica de la tromboembolia pulmonar

La ecocardiografía transtorácica (ETT) representa una herramienta diagnóstica fundamental en el abordaje de la TEP, particularmente en pacientes con inestabilidad hemodinámica o cuando la angiotomografía pulmonar con contraste no está disponible o está contraindicada. Aunque su sensibilidad para la detección directa del trombo en la arteria pulmonar es limitada, su utilidad radica en la identificación de los efectos hemodinámicos agudos que la TEP genera sobre el ventrículo derecho (VD), permitiendo establecer una clasificación pronóstica, guiar la terapia y, en ocasiones, incluso confirmar el diagnóstico de forma indirecta ^{1,8}.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la TEP masiva o de riesgo intermedio-alto produce una elevación súbita de la poscarga del VD, lo cual desencadena su dilatación, disfunción sistólica y alteración del acoplamiento ventrículo-arterial. En este contexto, el ecocardiograma puede evidenciar una serie de hallazgos que reflejan dichas alteraciones.

Uno de los parámetros más frecuentemente evaluados es la relación entre el diámetro del ventrículo derecho y el ventrículo izquierdo (VD/VI) en la vista apical de cuatro cámaras. Una relación $VD/VI \geq 0.9$ se asocia con disfunción del VD y se considera un marcador ecocardiográfico de mal pronóstico ²⁴.

Asimismo, la hipocinesia del VD, la paradoja del movimiento del septum interventricular, y la presencia de regurgitación tricuspídea moderada o severa son signos indirectos de sobrecarga ventricular derecha. La presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) puede estimarse mediante el gradiente de la insuficiencia tricuspídea, utilizando la ecuación de Bernoulli modificada. Valores de PSAP > 40 mmHg apoyan el diagnóstico de hipertensión pulmonar aguda.

Un hallazgo clásico descrito en el contexto de TEP es el signo de McConnell, definido como una acinesia de la pared libre del VD con contractilidad preservada en el ápex del mismo. Aunque inicialmente se consideró altamente específico para TEP aguda, estudios posteriores han demostrado que este signo también puede encontrarse en otras formas de disfunción ventricular derecha, como en el infarto de miocardio del ventrículo derecho o en miocardiopatías avanzadas, lo cual limita su valor diagnóstico aislado ²⁵.

La fracción de acortamiento del VD (TAPSE) constituye una medida cuantitativa del desplazamiento longitudinal del anillo tricuspídeo. Un valor de $TAPSE < 16$ mm se asocia con disfunción sistólica del VD y con mayor riesgo de eventos adversos en el contexto de TEP aguda ²⁶.

En pacientes con TEP masiva, el ecocardiograma puede revelar colapso del VI secundario a desplazamiento del septum por la presión del VD. Esta situación es indicativa de compromiso hemodinámico severo y requiere intervención inmediata.

La utilidad pronóstica del ecocardiograma ha sido ampliamente respaldada por la literatura. Diversos estudios han demostrado que la disfunción del VD detectada ecocardiográficamente se asocia con una mortalidad significativamente mayor, incluso en pacientes normotensos. Por ello, las guías clínicas europeas recomiendan incluir la

evaluación ecocardiográfica como parte integral del algoritmo de estratificación de riesgo en pacientes con TEP ¹.

En resumen, la ecocardiografía no solo aporta información crítica en situaciones de urgencia, sino que también orienta la toma de decisiones terapéuticas en cuanto al uso de fibrinolíticos, estrategias de reperfusión percutánea o quirúrgica, y manejo en unidades de cuidados intensivos. Su accesibilidad, rapidez y capacidad de evaluación hemodinámica la consolidan como una herramienta indispensable en el abordaje integral de la tromboembolia pulmonar, ademas de ser una herramienta fundamental en el seguimiento a los pacientes de una forma no invasiva y accesible.

Según las guías de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC 2019), se recomienda realizar un ecocardiograma transtorácico de control dentro de las primeras 24–48 horas tras la finalización de la trombólisis, con el objetivo de identificar signos de mejoría en la función ventricular derecha y disminución de la presión arterial pulmonar ¹. Parámetros como la reducción del diámetro del ventrículo derecho, normalización de la relación VD/VI (<1), aumento del TAPSE (>16 mm), y disminución de la presión sistólica pulmonar (PSAP <50–60 mmHg) son indicadores favorables de respuesta al tratamiento ²⁷.

El seguimiento clínico y ecocardiográfico posterior a un evento de TEP agudo es fundamental para evaluar la recuperación funcional del ventrículo derecho (VD), la resolución del tromboembolismo y la detección temprana de complicaciones como la hipertensión pulmonar tromboembólica crónica. De acuerdo con las guías de la Sociedad Europea de Cardiología (ESC), se recomienda realizar un seguimiento sistemático a partir de la semana 3 hasta el mes 6 posterior al evento agudo, dependiendo del riesgo basal y la evolución clínica del paciente ¹.

En pacientes con TEP de riesgo alto o intermedio, particularmente aquellos que presentaron disfunción significativa del VD o requerimiento de terapia trombolítica, se sugiere una reevaluación ecocardiográfica inicial entre los 21 y 30 días tras el evento. Este estudio permite valorar la regresión de la sobrecarga de presión en el VD, así como descartar datos sugestivos de hipertensión pulmonar (como PSAP persistentemente elevada, VD dilatado o disfunción residual) ^{28,32,33}.

Posteriormente, se recomienda una reevaluación clínica y ecocardiográfica a los 3 y 6 meses, especialmente si persisten síntomas como disnea, fatiga o intolerancia al ejercicio

9,31.

Planteamiento del problema

El tromboembolismo pulmonar (TEP) es una de las principales emergencias cardiovasculares y representa una causa relevante de morbimortalidad a nivel mundial. Su impacto es mayor en pacientes con estratificación de riesgo intermedio-alto y alto, en quienes la sobrecarga del ventrículo derecho y la inestabilidad hemodinámica condicionan una evolución clínica desfavorable. En estos casos, la trombólisis sistémica constituye el tratamiento de elección; sin embargo, un número considerable de pacientes presenta contraindicaciones absolutas o relativas para su uso, lo que limita de manera significativa las opciones terapéuticas disponibles y deja a una población vulnerable con alternativas reducidas.

En este contexto, han surgido técnicas de reperfusión dirigidas, entre ellas la trombólisis in situ mediante catéter pigtail, que permite administrar el fibrinolítico directamente en el sitio del trombo, utilizando dosis reducidas y con un potencial perfil de seguridad más favorable. No obstante, la evidencia científica sobre la eficacia y seguridad de esta técnica aún es limitada, especialmente en pacientes con contraindicación para la trombólisis sistémica, y existe escasa información proveniente de estudios en nuestro medio.

Ante esta situación, resulta necesario evaluar de manera sistemática la seguridad y eficacia de la trombólisis in situ con catéter pigtail en pacientes con TEP de riesgo intermedio-alto y alto, a través del análisis retrospectivo de variables clínicas, hemodinámicas, ecocardiográficas y de seguridad. Este conocimiento contribuye a generar evidencia que respalde la toma de decisiones médicas, optimice los recursos hospitalarios y amplíe las opciones terapéuticas disponibles para una población de alto riesgo.

Justificación

El TEP de riesgo intermedio-alto y alto constituye una condición clínica grave, asociada con elevada morbimortalidad y con frecuencia requiere intervenciones terapéuticas urgentes para evitar desenlaces fatales. La trombólisis sistémica es el tratamiento de elección en estos escenarios; sin embargo, un número importante de pacientes presenta contraindicaciones absolutas o relativas para su aplicación, lo que limita de manera significativa las opciones disponibles.

En este contexto, la trombólisis in situ mediante catéter pigtail se ha planteado como una alternativa prometedora, al permitir la administración dirigida de dosis reducidas de fibrinolítico directamente sobre el trombo, con potencial de eficacia y un perfil de seguridad más favorable. No obstante, la evidencia científica en torno a esta técnica aún es limitada y heterogénea, especialmente en pacientes con contraindicación para trombólisis sistémica, lo que genera incertidumbre respecto a su impacto real en la práctica clínica.

Realizar un estudio retrospectivo que evalúe las características clínicas, hemodinámicas, ecocardiográficas y los eventos adversos en pacientes tratados con trombólisis in situ permitirá aportar datos valiosos que contribuyan a llenar este vacío de conocimiento. Los hallazgos de esta investigación no solo ofrecerán un beneficio académico y científico, sino que también podrán influir en la elaboración de protocolos locales, optimizar la toma de decisiones médicas y favorecer un uso más eficiente de los recursos hospitalarios. En última instancia, este trabajo busca impactar positivamente en la calidad de vida de los pacientes y en la sostenibilidad de los sistemas de salud.

Hipótesis

Hipótesis de investigación

La trombólisis in situ mediante catéter pigtail en pacientes con tromboembolismo pulmonar de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica se asocia con mejoría clínica, hemodinámica y ecocardiográfica temprana, con un perfil de seguridad adecuado y baja incidencia de complicaciones mayores.

Hipótesis nula (H_0)

La trombólisis in situ mediante catéter pigtail en pacientes con tromboembolismo pulmonar de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica no produce mejoría clínica, hemodinámica ni ecocardiográfica significativa, ni presenta un perfil de seguridad diferente respecto a la evolución natural de la enfermedad.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la seguridad y la eficacia de la trombólisis in situ mediante catéter pigtail en pacientes con tromboembolismo pulmonar de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica, a través del análisis retrospectivo de variables clínicas, hemodinámicas, ecocardiográficas y eventos adversos.

Objetivos específicos

1. Describir las características clínicas y hemodinámicas de los pacientes incluidos en el estudio al momento del ingreso.
2. Analizar los cambios en los parámetros ecocardiográficos y hemodinámicos al ingreso, a las 48 horas y a los 30 días posteriores al procedimiento.
3. Evaluar la seguridad del procedimiento mediante la identificación y clasificación de los eventos adversos y complicaciones relacionadas con la trombólisis in situ.
4. Determinar la evolución clínica de los pacientes durante la hospitalización y al seguimiento de 30 días, considerando estabilidad hemodinámica, recuperación funcional y sobrevida.

Material y métodos.

1.1. Tipo de investigación según objetivos.

- Investigación clínica.

1.2. Tipo de investigación según metodología.

- Descriptivo, analítico y retrospectivo.

1.3. Área de investigación.

- Clínica.

1.4. Disciplinas o especialidades comprendidas en la investigación.

- Cardiología.
- Ecocardiografía.
- Cardiología intervencionista.

1.5. Tipo y clasificación del estudio.

- Descriptivo, analítico y retrospectivo

Universo del estudio.

Se incluyeron todos los pacientes adultos con TEP confirmado por angiotomografía pulmonar o gammagrafía de ventilación/perfusión, que presentaron contraindicación absoluta o relativa para trombólisis sistémica y que fueron tratados mediante trombólisis in situ con catéter pigtail. Para su inclusión, fue requisito contar con ecocardiograma transtorácico realizado al ingreso, a las 48 horas y a los 30 días posteriores al procedimiento. Se excluyeron aquellos pacientes con expedientes clínicos incompletos o con seguimiento ecocardiográfico insuficiente.

Muestra

El muestreo se realizó de manera no probabilística, por conveniencia, incluyendo a todos los pacientes consecutivos atendidos en el servicio de urgencias y hospitalización que cumplieron con los criterios diagnósticos de tromboembolia pulmonar (TEP) de riesgo intermedio-alto o alto, de acuerdo con las guías de la European Society of Cardiology (ESC), y que fueron tratados con trombólisis dirigida mediante catéter pigtail durante el periodo de estudio.

Debido a la naturaleza retrospectiva y observacional del diseño, se identificaron todos los casos registrados en el archivo institucional entre las fechas establecidas (2023–2025). Se revisaron expedientes clínicos, reportes de tomografía computarizada, estudios ecocardiográficos y registros hemodinámicos para confirmar el cumplimiento de los criterios de inclusión. No se empleó muestreo aleatorio ni se realizó cálculo de tamaño de muestra, ya que se buscó analizar la totalidad de los pacientes que recibieron esta modalidad terapéutica en el periodo especificado.

En total, se incluyeron 15 pacientes consecutivos, todos ellos con contraindicación absoluta o relativa para la trombólisis sistémica y con documentación completa de las variables clínicas, hemodinámicas y ecocardiográficas necesarias para el análisis. Los pacientes con estudios incompletos, diagnóstico alternativo o manejo distinto al protocolo institucional fueron excluidos.

Este tipo de muestreo permitió obtener una cohorte homogénea y representativa de la práctica clínica real del centro, aunque, como se discute en las limitaciones, no permitió extrapoluar los resultados a poblaciones más amplias ni establecer inferencias causales.

Definición de unidades de observación.

Las unidades de observación del presente estudio estuvieron constituidas por los pacientes adultos con diagnóstico confirmado de TEP de riesgo intermedio-alto y alto, que durante el periodo de los últimos tres años recibieron tratamiento mediante trombólisis in situ con catéter pigtail en el servicio de cardiología intervencionista.

El análisis se realizó con base en estas variables obtenidas de los expedientes clínicos y estudios complementarios, garantizando la confidencialidad mediante codificación y anonimización de cada unidad de observación.

Definición de grupo control.

No se utilizó grupo control.

Criterios de Inclusión.

1. Pacientes adultos (≥ 18 años) con diagnóstico confirmado de tromboembolismo pulmonar de riesgo intermedio-alto o alto, establecido mediante angiotomografía pulmonar o gammagrafía de ventilación/perfusión.
2. Pacientes tratados mediante trombólisis in situ con catéter pigtail durante el periodo comprendido en los últimos tres años.
3. Presencia de contraindicación absoluta o relativa para la administración de trombólisis sistémica.
4. Disponibilidad de ecocardiograma transtorácico realizado en tres momentos: al ingreso, a las 48 horas posteriores al procedimiento y al seguimiento de 30 días.
5. Expediente clínico completo que permita la recuperación de datos clínicos, hemodinámicos, ecocardiográficos y evolutivos necesarios para el análisis.

Criterios de exclusión.

1. Pacientes con diagnóstico presuntivo de TEP no confirmado por métodos de imagen.
2. Casos en los que no se haya utilizado catéter pigtail como estrategia de trombólisis dirigida.
3. Expedientes clínicos incompletos o con ausencia de registros ecocardiográficos en cualquiera de los tres momentos de evaluación establecidos.
4. Pacientes con enfermedades concomitantes graves que imposibiliten valorar adecuadamente la repercusión hemodinámica o ecocardiográfica del procedimiento.
5. Defunciones ocurridas antes de las 48 horas del procedimiento, en quienes no sea posible documentar los parámetros de evolución ecocardiográfica.

Criterios de eliminación.

1. Pacientes que inicialmente cumplieron con los criterios de inclusión pero en quienes, durante la revisión de los expedientes, se identifique información incompleta o inconsistente que impida el análisis adecuado de las variables clínicas, hemodinámicas o ecocardiográficas.
2. Casos en los que el seguimiento ecocardiográfico a 48 horas o a 30 días no se haya realizado, aun cuando se disponga del estudio basal.
3. Pacientes en los que no sea posible corroborar de manera fidedigna la técnica de trombólisis aplicada, por ausencia de reporte operatorio o registro hemodinámico.
4. Aquellos que, pese a haber recibido tratamiento con catéter pigtail, presenten pérdida de seguimiento hospitalario antes del alta sin contar con datos suficientes para evaluar su evolución.

Definición de variables y unidades de medida.

Objetivo específico	Variable	Definición operativa	Escala de medición	Ánalysis estadístico
1. Caracterizar perfil clínico y hemodinámico	Edad	Años cumplidos al ingreso	Cuantitativa continua	Media ± DE
	Sexo	Masculino / femenino	Cualitativa dicotómica	Frecuencias y porcentajes
	Comorbilidades	HTA, DM, Neoplasia	Cualitativa nominal dicotómica.	Frecuencias y porcentajes
	Contraindicación trombólisis sistémica	Sí / no, tipo de contraindicación	Cualitativa dicotómica	Frecuencias y porcentajes
	Presión arterial Sistólica al ingreso	En mmHg	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Presión arterial Diastólica al ingreso	En mmHg	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Presión arterial Media al ingreso	En mmHg	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Frecuencia cardíaca al ingreso	Latidos por minuto	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Frecuencia respiratoria al ingreso	Respiraciones por minuto	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Saturación de oxígeno al ingreso	En porcentaje	Cuantitativa continua	Media ± DE o mediana
	Troponina HS al ingreso	En ng/dL	Cuantitativa continua	Frecuencias y porcentajes
	Riesgo ESC al ingreso	Bajo, intermedio bajo, intermedio alto y alto según variables	Cualitativa	Frecuencias y porcentajes

	Riesgo PESI al ingreso	Escala I-V según variables.	Cualitativa	Frecuencias y porcentajes
2. Evaluar cambios ecocardiográficos	Relación VD/VI	Cociente de diámetros VD y VI	Cuantitativa continua	t apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	TAPSE	Excursión sistólica del anillo tricuspídeo (mm)	Cuantitativa continua	t apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	PSAP	Presión sistólica de la arteria pulmonar (mmHg)	Cuantitativa continua	t apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	Onda S del VD	Velocidad sistólica del anillo tricuspídeo mediante Doppler Tisular (cm/s)	Cuantitativa continua	t apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	Fracción de acortamiento del VD.	Cambio relativo en el área del VD entre la diástole y la sístole (%)	Cuantitativa continua	T apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	IT max	Velocidad máxima de insuficiencia tricuspídea (m/s)	Cuantitativa continua	T apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	PSAP	Presión sistólica de la arteria pulmonar (mmHg)	Cuantitativa continua	T apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman
	Acoplamiento V/A	Relación entre la contractilidad del VP y la poscarga pulmonar	Cuantitativa continua	T apareada/ Wilcoxon; ANOVA o Friedman

		(TAPSE/PSA P).		
3. Identificar eventos adversos y complicaciones	Eventos hemorrágicos	Mayor/menor según criterios	Cualitativa nominal politómica	Frecuencias
	Complicaciones acceso	Hematoma, infección, pseudoaneurisma	Cualitativa dicotómica	Frecuencias
	Eventos tromboembólicos	Documentados por clínica o imagen	Cualitativa dicotómica	Frecuencias
	Reintervención	Repetición de trombólisis u otro procedimiento	Cualitativa dicotómica	Frecuencias
4. Analizar evolución clínica y supervivencia	Estabilidad clínica al alta	Egreso sin soporte vasoactivo	Cualitativa dicotómica	Frecuencias y porcentajes
	Mortalidad hospitalaria	Fallecimiento durante hospitalización	Cualitativa dicotómica	Frecuencias y porcentajes
	Mortalidad a 30 días	Fallecimiento dentro de 30 días	Cualitativa dicotómica	Frecuencias y porcentajes
	Sobrevida a 30 días	Tiempo hasta evento (días)	Cuantitativa continua	Kaplan-Meier; prueba log-rank

Selección de las fuentes, métodos, técnicas y procedimientos de recolección de la información.

Las fuentes de información utilizadas en este estudio fueron los expedientes clínicos de pacientes con diagnóstico confirmado de tromboembolismo pulmonar de riesgo intermedio-alto y alto, tratados mediante trombólisis in situ con catéter pigtail durante los últimos tres años en el servicio de cardiología intervencionista. Adicionalmente, se consideraron los reportes de procedimientos endovasculares y los registros ecocardiográficos correspondientes a los tres momentos de evaluación (ingreso, 48 horas y 30 días).

El método empleado fue retrospectivo, observacional y analítico, sustentado en la revisión sistemática de documentos clínicos ya existentes, sin intervención directa en los pacientes.

Las técnicas de recolección de la información comprendieron la búsqueda, identificación y selección de los expedientes que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. La información fue recopilada de manera estandarizada en un formato diseñado para el estudio, el cual permitió integrar variables clínicas, hemodinámicas, ecocardiográficas y de seguridad.

Los procedimientos de recolección incluyeron la codificación y anonimización de los datos para preservar la confidencialidad de los pacientes. Posteriormente, se elaboró una base de datos electrónica en la que se registraron todas las variables de interés, garantizando la consistencia mediante doble verificación por parte de los investigadores responsables.

Prueba piloto.

No se aplicó prueba piloto.

Procedimientos para realizar para el procesamiento y tratamiento estadístico.

Los métodos estadísticos por utilizar variaron de acuerdo al objetivo específico y fueron obtenidos mediante el software especializado SPSS Statistics.

Se procedió al análisis estadístico de acuerdo con cada objetivo específico:

1. Objetivo 1: Caracterizar el perfil clínico y hemodinámico de los pacientes.
 - o Análisis: estadística descriptiva (medias y desviaciones estándar para variables cuantitativas con distribución normal; medianas y rangos intercuartílicos en caso de no normalidad; frecuencias absolutas y porcentajes para variables cualitativas).
2. Objetivo 2: Evaluar los cambios ecocardiográficos (al ingreso, 48 horas y 30 días).
 - o Análisis: se empleó la prueba no paramétrica de Friedman para comparar medidas repetidas dentro del mismo sujeto.
3. Objetivo 3: Identificar eventos adversos y complicaciones.
 - o Análisis: frecuencias y porcentajes; se calcularán tasas de incidencia acumulada. Se emplearán intervalos de confianza del 95 % para estimar la precisión de las proporciones.
4. Objetivo 4: Analizar la evolución clínica y la supervivencia a 30 días.
 - o Análisis: Kaplan-Meier para estimar la sobrevida y curvas de eventos adversos a 30 días; comparación con prueba de log-rank en caso de grupos relevantes (ejemplo: por edad o presencia de comorbilidades).

Aspectos éticos.

El presente estudio se apegó a los principios éticos de la investigación biomédica en seres humanos establecidos en la Declaración de Helsinki y a lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, que regula la investigación para la salud en México.

Al tratarse de un estudio retrospectivo, basado en la revisión de expedientes clínicos y registros complementarios ya concluidos, no se realizó intervención ni modificación alguna en la atención de los pacientes. En consecuencia, los sujetos no estuvieron expuestos a riesgos adicionales derivados de la investigación.

Por este motivo, se justificó la exención del consentimiento informado, ya que no hubo contacto directo con los pacientes y la información fue utilizada exclusivamente con fines científicos y académicos.

La confidencialidad y privacidad se garantizó mediante la anonimización de los datos, eliminando cualquier elemento de identificación personal y asignando a cada paciente un código único. La base de datos se almacenó en equipos con acceso restringido a los investigadores responsables y protegida mediante contraseñas seguras. Los resultados se reportaron de forma global y agregada, sin referencia a información individualizada.

Asimismo, este proyecto fue sometido a la revisión y aprobación del Comité de Ética e Investigación de la institución, asegurando el cumplimiento de los lineamientos nacionales e internacionales para la protección de los sujetos de investigación.

Con estas medidas, se aseguró que el estudio respete los principios de beneficencia, no maleficencia, justicia y respeto a la autonomía, contribuyendo a generar conocimiento científico que pueda beneficiar a futuros pacientes sin comprometer la seguridad ni la dignidad de aquellos cuyos datos clínicos serán analizados.

Recursos materiales.

Para la realización de este estudio retrospectivo se emplearon los recursos ya disponibles en la institución, sin necesidad de insumos adicionales que impliquen riesgos o gastos extraordinarios para los pacientes.

- Expedientes clínicos electrónicos y físicos de los pacientes con diagnóstico de tromboembolismo pulmonar atendidos en el servicio de cardiología intervencionista durante los últimos tres años.
- Registros angiográficos y hemodinámicos correspondientes a los procedimientos de trombólisis in situ con catéter pigtail.
- Estudios ecocardiográficos realizados al ingreso, a las 48 horas y al seguimiento de 30 días, necesarios para la evaluación de la evolución funcional.
- Equipo de cómputo con software estadístico especializado (SPSS, Excel, Horos), protegido mediante contraseñas, para la captura, almacenamiento y análisis de la información.
- Formatos de recolección de datos estandarizados y diseñados para la extracción sistemática de las variables clínicas, hemodinámicas, ecocardiográficas y de seguridad.
- Infraestructura institucional de la sala de hemodinamia y del laboratorio de ecocardiografía, como fuentes originales de información.

Además, el desarrollo de este estudio contó con la participación de un equipo multidisciplinario de profesionales de la salud y académicos, cuyas funciones estarán claramente definidas:

- Investigador principal: responsable de la coordinación general del proyecto, supervisión metodológica, cumplimiento de los aspectos éticos y redacción del informe final.
- Médicos cardiólogos intervencionistas: encargados de proporcionar la información relacionada con los procedimientos de trombólisis in situ con catéter pigtail, así

como de validar los datos angiográficos y hemodinámicos registrados en los expedientes clínicos.

- Ecocardiografistas: responsables de la interpretación y confirmación de los parámetros ecocardiográficos incluidos en el análisis, garantizando la precisión en la medición de variables como la función ventricular derecha, la relación VD/VI y la presión sistólica pulmonar.
- Residentes y médicos en formación: colaboradores en la búsqueda, identificación y recopilación de los expedientes clínicos, así como en la captura estandarizada de datos bajo supervisión del investigador principal.
- Estadístico o asesor metodológico: responsable del diseño del plan de análisis estadístico, procesamiento de los datos y apoyo en la interpretación de los resultados.
- Comité de ética e investigación: Encargado de la revisión y aprobación del protocolo, asegurando el cumplimiento de la normativa nacional e internacional en investigación en salud.

La integración de este equipo permitió desarrollar un proceso ordenado, validado y confiable, garantizando la calidad científica de los resultados y su pertinencia clínica.

Presupuesto.

El presente trabajo de investigación no contó con ningún presupuesto asignado.

Financiamiento externo.

El presente trabajo de investigación no contó con financiamiento externo.

Los autores no declararon ningún conflicto de interés.

Resultados

Población y características basales

La cohorte estuvo compuesta por 15 pacientes consecutivos con tromboembolia pulmonar tratados mediante trombólisis dirigida. Eran relativamente jóvenes, con una edad media de 54.9 ± 14.1 años (rango 23–79 años) y predominio del sexo femenino: 10 mujeres (66.7 %) frente a cinco varones (33.3 %) (Figura 1). Las comorbilidades fueron frecuentes: dos tercios de los pacientes (10/15) padecían diabetes mellitus tipo 2 y nueve (60.0 %) tenían hipertensión arterial sistémica.

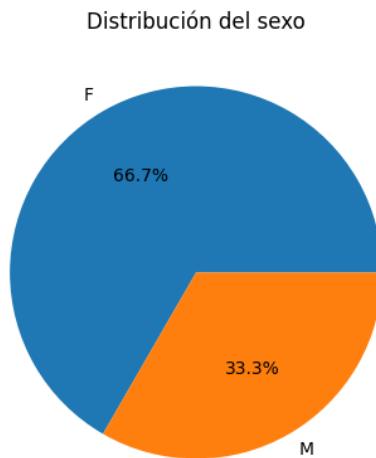


Figura 1 Distribución del sexo de la población estudiada.

La presencia de neoplasia activa se registró en cuatro casos (26.7 %). Entre las neoplasias se identificó un carcinoma cervicouterino asociado a trombocitopenia, una neoplasia del sistema nervioso central y dos casos en los que el tumor coexistía con anemia severa o con cirugía reciente. Estas neoplasias no solo contribuían a la carga de comorbilidad, sino que también condicionaban la estrategia terapéutica, pues se consideraron contraindicaciones formales para la trombólisis sistémica en todos ellos.

En cuanto a las contraindicaciones para la trombólisis sistémica, seis pacientes (40.0 %) habían sido sometidos a cirugía mayor en el mes previo, lo cual representó la causa más habitual de contraindicación. Tres pacientes (20.0 %) carecían de contraindicaciones documentadas, pero se eligió el abordaje dirigido por catéter debido al alto riesgo hemorágico y a la disponibilidad del método en el centro. El resto presentaba condiciones específicas: un embarazo en segundo trimestre, un caso de pos-paro cardiorrespiratorio con trauma de intubación, un tumor intracraneal, una anemia severa y un episodio de hemorragia digestiva alta con trombocitopenia.

La estratificación del riesgo según las guías de la European Society of Cardiology reveló que ocho pacientes (53.3 %) se clasificaron en el grupo intermedio-alto (ESC I-A), caracterizado por estabilidad hemodinámica asociada a disfunción del ventrículo derecho y elevación de biomarcadores (Figura 2). Los siete restantes (46.7 %) se clasificaron en el grupo de alto riesgo (ESC A) por presentar inestabilidad hemodinámica, índice de choque o necesidad de soporte vasopresor. Cuando se aplicó el índice de gravedad de la embolia pulmonar (PESI), cinco casos se situaron en la clase IV y otros cinco en la clase V (66.7 % en conjunto), lo que implica una mortalidad estimada superior al 10 %; cuatro casos pertenecieron a la clase III y uno a la clase II, evidenciando un espectro de severidad amplio pero centrado en los grados más graves.

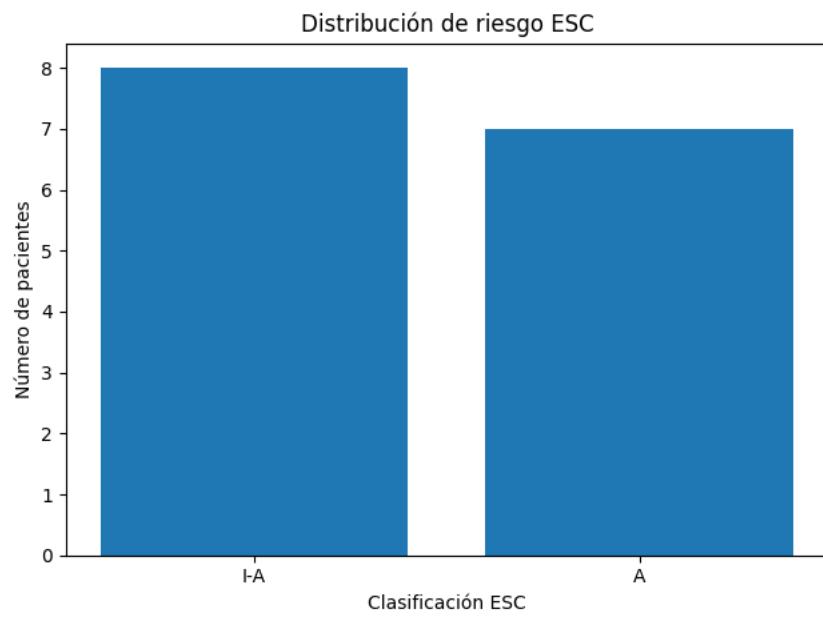


Figura 2 Clasificación de riesgo de acuerdo a la ESC.

Tabla 1 Características basales de la población.

	Característica	Distribución
	Sexo	<p><i>Mujeres: 10 (66.7 %)</i></p> <p><i>Hombres: 5 (33.3 %)</i></p> <p><i>Sí: 10 (66.7 %)</i></p>
<i>Diabetes Mellitus 2</i>		<p><i>No: 5 (33.3 %)</i></p> <p><i>Sí: 9 (60.0 %)</i></p>
<i>Hipertensión Arterial Sistémica</i>		<p><i>No: 6 (40.0 %)</i></p> <p><i>Sí: 4 (26.7 %)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Carcinoma cervicouterino con trombocitopenia = 1</i> • <i>Neoplasia del SNC = 1</i> • <i>Otras = 2</i>
<i>Contraindicaciones para trombólisis sistémica</i>		<p><i>No: 11 (73.3 %)</i></p> <p><i>Cirugía reciente 9 (60.0 %)</i></p> <p><i>Embarazo 1 (6.7 %)</i></p> <p><i>CACU + trombocitopenia 1 (6.7 %)</i></p>

	<i>Posparo + trauma de intubación 1 (6.7 %)</i>
	<i>Neoplasia SNC 1 (6.7 %)</i>
	<i>Anemia severa 1 (6.7 %)</i>
	<i>STDA + trombocitopenia 1 (6.7 %)</i>
<i>Clasificación de riesgo ESC</i>	<i>I-A (riesgo intermedio-alto) 8 (53.3 %)</i>
	<i>A (riesgo alto) 7 (46.7 %)</i>
<i>Índice PESI</i>	<i>Clase II 1 (6.7 %)</i>
	<i>Clase III 4 (26.7 %)</i>
	<i>Clase IV 5 (33.3 %)</i>
	<i>Clase V 5 (33.3 %)</i>

Variables clínicas al ingreso

La frecuencia cardiaca al momento del ingreso promedió 118.5 ± 15.2 latidos por minuto, indicando taquicardia moderada en la mayoría de pacientes. Las presiones arteriales iniciales mostraron una presión sistólica de 97.3 ± 18.7 mmHg, una presión diastólica de 67.7 ± 15.5 mmHg y una presión arterial media de 87.4 ± 17.1 mmHg. Once pacientes con necesidad de vasopresor desde el ingreso, representando el 73.3% de la población. Estas cifras subrayan la hipotensión relativa con la que ingresaron muchos de los pacientes, compatible con la fisiopatología de la tromboembolia pulmonar.

La frecuencia respiratoria media fue de 28.4 ± 4.7 respiraciones por minuto, evidenciando un esfuerzo ventilatorio aumentado. La saturación arterial de oxígeno al ingreso se situó en 85.1 ± 5.4 %, mostrando hipoxemia significativa en el conjunto de la cohorte. Finalmente, la troponina I ultrasensible, medida en nanogramos por litro, alcanzó una media de 517.9 ± 804.1 ng/L (Tabla 2). Esta cifra elevada, combinada con una desviación estándar muy amplia, refleja la dispersión de los valores y la existencia de casos con marcadas elevaciones, consistentes con el daño miocárdico secundario a la sobrecarga del ventrículo derecho.

Tabla 2 Variables clínicas medidas al ingreso.

Variable clínica	Media ± SD
Edad (años)	54.9 ± 14.1
Frecuencia cardiaca (lat/min)	118.5 ± 15.2
Presión arterial sistólica (mmHg)	97.3 ± 18.7
Presión arterial diástolica (mmHg)	67.7 ± 15.5
Presión arterial media (mmHg)	87.4 ± 17.1
Frecuencia respiratoria (resp/min)	28.4 ± 4.7
Saturación de oxígeno (SaO ₂) (%)	85.1 ± 5.4
Troponina I Ultrasensible (ng/L)	517.9 ± 804.1

Evaluación ecocardiográfica inicial

La valoración ecocardiográfica inicial ofreció una visión cuantitativa del grado de compromiso hemodinámico y estructural del ventrículo derecho antes de la trombólisis. En términos de dimensiones, el cociente entre los diámetros del ventrículo derecho y el izquierdo (VD/VI) fue de 1.22 ± 0.11 , confirmando una dilatación moderada del ventrículo derecho en todos los casos. La excursión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) promedió 11.2 ± 2.7 mm, lo que refleja una reducción significativa de la contractilidad del ventrículo derecho. De forma paralela, la velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (S VD) fue 7.67 ± 1.05 cm/s, coherente con disfunción sistólica moderada.

El cambio de área fraccional del ventrículo derecho (FACVD) se situó en 20.7 ± 6.4 %, evidenciando una reducción del vaciamiento sistólico en comparación con valores normales. La velocidad máxima del chorro de insuficiencia tricuspídea (ITMAX) alcanzó 3.20 ± 0.33 m/s, valor que, aplicado a la fórmula de Bernoulli, se tradujo en una presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) media de 54.9 ± 8.5 mmHg, cifra compatible con hipertensión pulmonar moderada a severa. A pesar del compromiso del ventrículo derecho, la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) permaneció preservada en 60.0 ± 11.1 %. El índice de acoplamiento ventrículo-arterial, calculado como relación

entre parámetros de función ventricular y resistencia vascular pulmonar, fue bajo (0.21 ± 0.05), lo que subraya el desacoplamiento entre la capacidad contráctil del ventrículo derecho y la carga hemodinámica impuesta por la hipertensión pulmonar.

Evolución a las 48 horas (hospitalización)

La valoración ecocardiográfica realizada a las 48 horas de la trombólisis evidenció una recuperación significativa de la función ventricular derecha y de la hemodinámica pulmonar respecto al ingreso. El cociente entre los diámetros del ventrículo derecho y el izquierdo (VD/VI) disminuyó hasta 0.92 ± 0.13 , lo que indica que la dilatación del ventrículo derecho se redujo notablemente. La excursión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) casi se duplicó al pasar a 20.6 ± 3.9 mm, reflejando una franca mejoría de la contractilidad del ventrículo derecho.

En consonancia, la velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (S VD) aumentó a 13.3 ± 3.3 cm/s, valor que supera holgadamente el umbral de 9 cm/s empleado para definir disfunción ventricular derecha. El cambio de área fraccional del ventrículo derecho (FACVD) se elevó a 32.2 ± 6.7 %, indicando una recuperación del vaciamiento sistólico. La velocidad máxima del jet de insuficiencia tricuspídea (ITMAX) descendió hasta 2.57 ± 0.49 m/s, lo que se tradujo en una reducción de la carga pulmonar. En consecuencia, la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) cayó a 36.1 ± 10.4 mmHg, situándose en el rango de hipertensión pulmonar leve.

A pesar de estas modificaciones, la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) permaneció estable en 59.6 ± 8.3 %, demostrando que el procedimiento no comprometió la función ventricular izquierda. Por último, el acoplamiento ventrículo-arterial mostró un aumento sustancial hasta 0.59 ± 0.14 , lo que sugiere una mejor sincronía entre la capacidad contráctil del ventrículo derecho y la carga vascular pulmonar. En conjunto, estas cifras subrayan la eficacia de la trombólisis dirigida para revertir rápidamente la disfunción ventricular derecha y reducir la presión pulmonar en pacientes con tromboembolia pulmonar.

Evolución a 30 días

A los 30 días de seguimiento, la cohorte presentaba 14 de los 15 pacientes vivos, ya que un paciente falleció el día 14 por sepsis, una causa no cardiovascular. Este fallecimiento implicó que no se disponía de ecocardiografía de control para ese caso. Entre los 14 sobrevivientes, la valoración ecocardiográfica evidenció una recuperación aún más pronunciada de la función del ventrículo derecho y de la hemodinámica pulmonar.

El cociente VD/VI se redujo a 0.77 ± 0.11 , situándose ya dentro de rangos casi normales (Figura 3). La excursión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) continuó mejorando hasta 22.0 ± 2.3 mm (Figura 4), mientras que la velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (S VD) se estabilizó en 12.6 ± 2.0 cm/s (Figura 5). El cambio de área fraccional del ventrículo derecho (FACVD) alcanzó 40.1 ± 5.6 %, lo que demuestra una recuperación sustancial de la contractilidad (Figura 6). La velocidad máxima del jet de insuficiencia tricuspídea (ITMAX) descendió a 2.20 ± 0.56 m/s (Figura 7), en consonancia con la caída de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) hasta 26.2 ± 8.9 mmHg, valores indicativos de hipertensión pulmonar leve o incluso normalizada en algunos casos (Figura 8).

La fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) se mantuvo preservada en 61.6 ± 4.2 %, lo que confirma que la función sistólica izquierda no se vio comprometida a lo largo del seguimiento (Figura 9). Por último, el acoplamiento ventrículo-arterial experimentó un incremento notable hasta 1.04 ± 0.69 , lo que refleja una relación más favorable entre la capacidad contráctil del ventrículo derecho y la carga vascular pulmonar (Figura 10). En conjunto, estos hallazgos sugieren que, en los pacientes sobrevivientes, la trombólisis dirigida permitió una recuperación casi completa de la función ventricular derecha y una normalización progresiva de la hemodinámica pulmonar a los 30 días (Tabla 3).

Tabla 3 Diferencias en las mediciones ecocardiográficas en los tres momentos (Ingreso, 48 h y 30 días).

Parámetro ecocardiográfico	Ingreso (Media ± DE)	48 h (Media ± DE)	30 días (Media ± DE)	p-valor
Cociente VD/VI	1.22 ± 0.11	0.92 ± 0.13	0.77 ± 0.11	<0.0001
TAPSE (mm)	11.2 ± 2.7	20.6 ± 3.9	22.0 ± 2.3	<0.0001
S' VD (cm/s)	7.67 ± 1.05	13.32 ± 3.26	12.64 ± 2.02	<0.0001
FACVD (%)	20.7 ± 6.4	32.2 ± 6.7	40.1 ± 5.6	<0.0001
ITMAX (m/s)	3.20 ± 0.33	2.57 ± 0.49	2.20 ± 0.56	<0.0001
FEVI (%)	60.0 ± 11.1	59.6 ± 8.3	61.6 ± 4.2	0.663
PSAP (mmHg)	54.9 ± 8.5	36.1 ± 10.4	26.2 ± 8.9	<0.0001
Acoplamiento V/A	0.21 ± 0.05	0.59 ± 0.14	1.04 ± 0.69	<0.0001

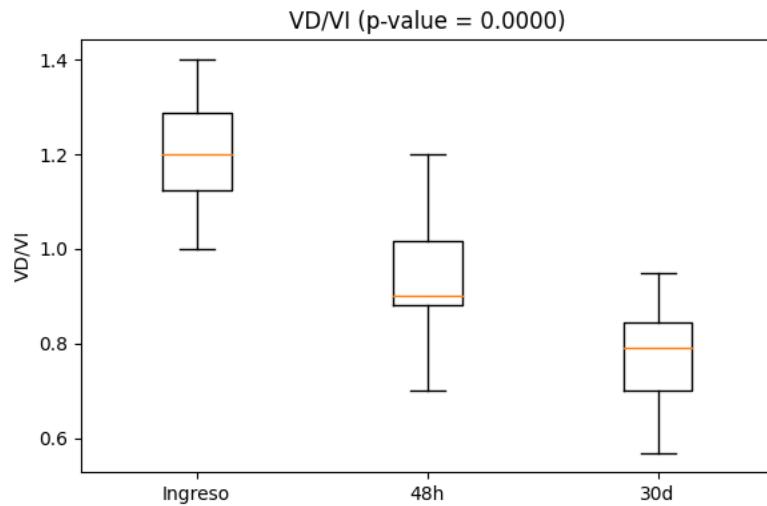


Figura 3 Cociente VD/VI en los tres momentos de evaluación.

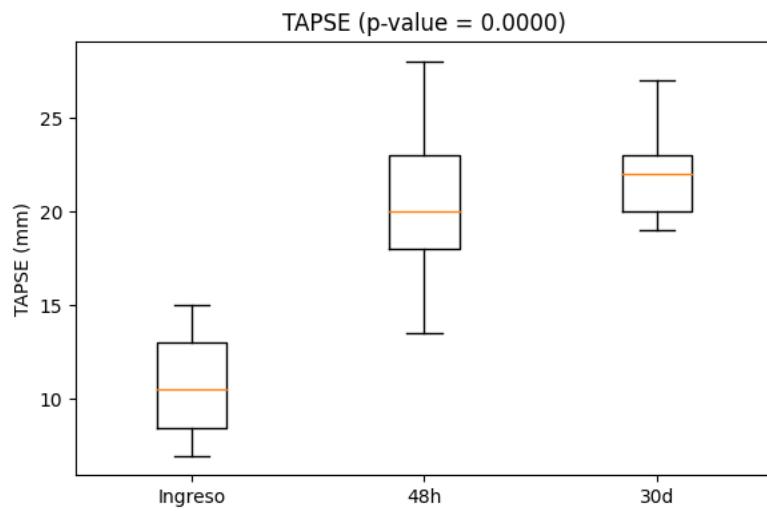


Figura 4 TAPSE en los tres momentos de evaluación.

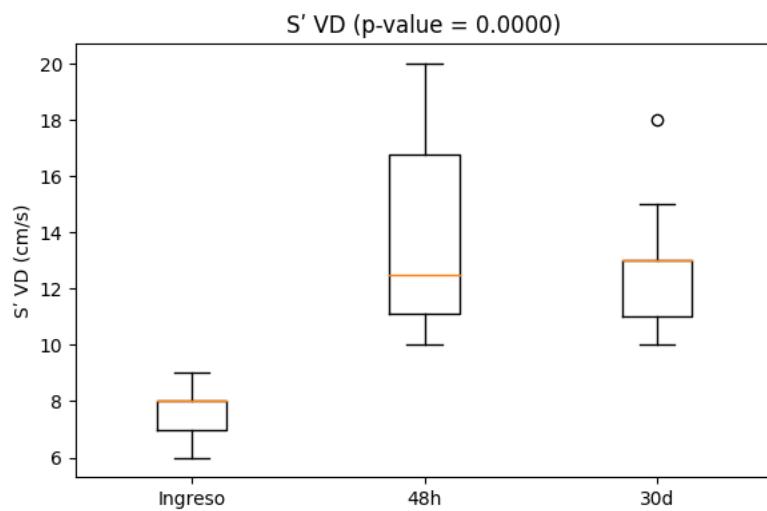


Figura 5 S'VD en los tres momentos de evaluación.

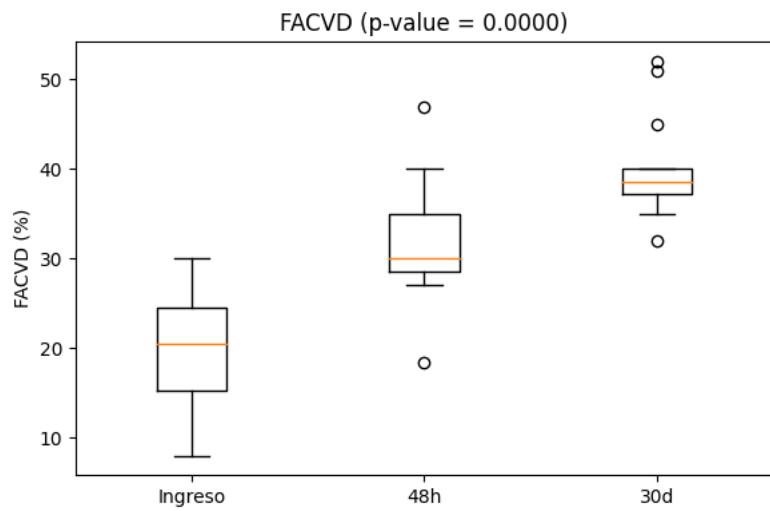


Figura 6 FACVD en los 3 momentos de evaluación.

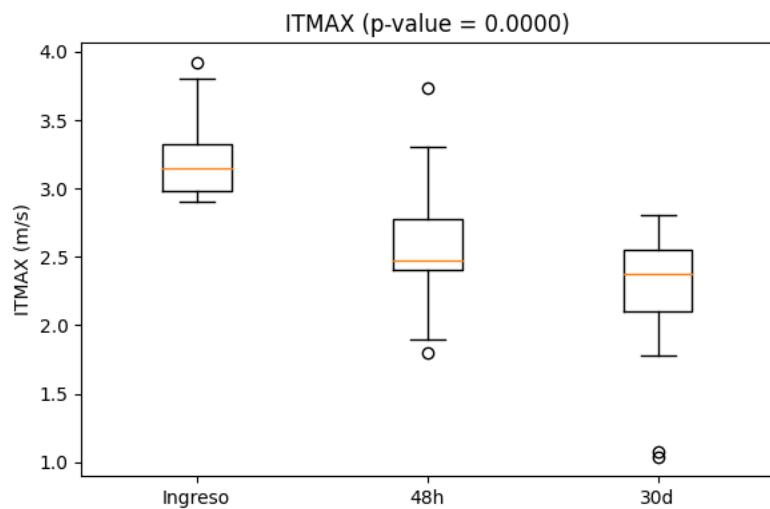


Figura 7 ITMAX en los 3 momentos de evaluación.

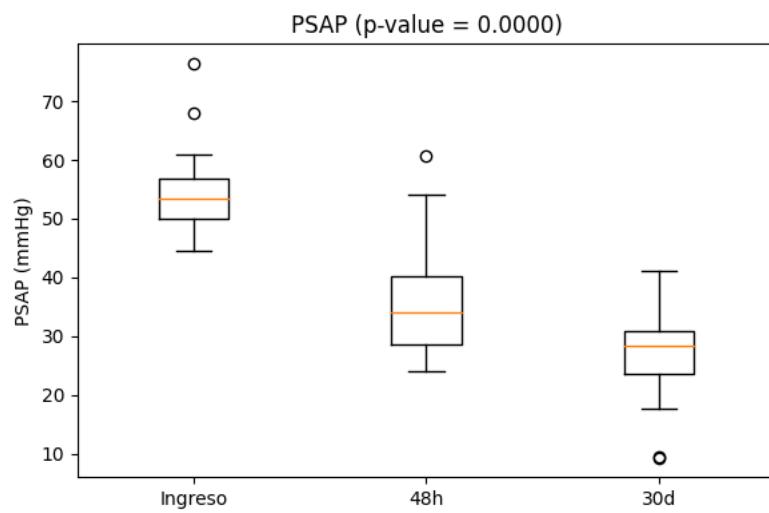


Figura 8 PSAP en los 3 momentos de evaluación.

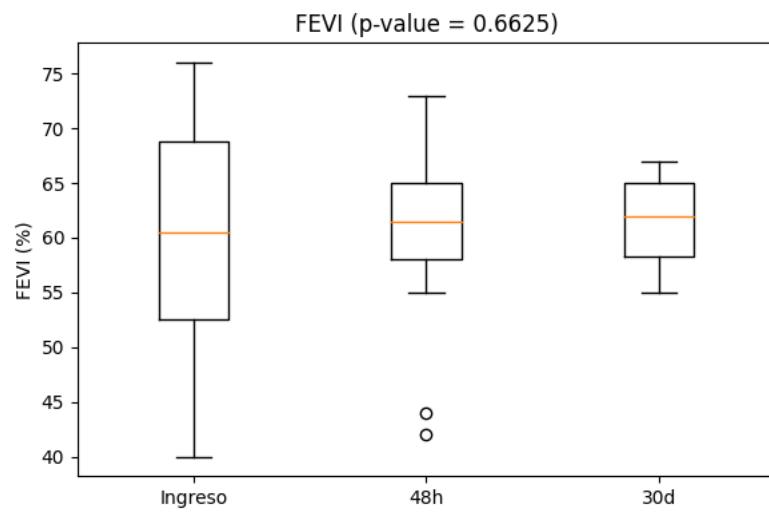


Figura 9 FEVI en los 3 momentos de evaluación.

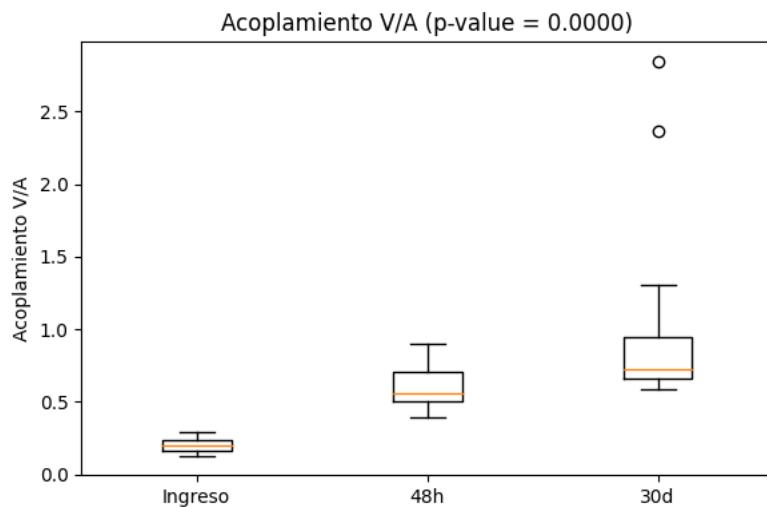


Figura 10 Acoplamiento V/A en los tres momentos de evaluación.

Eficacia cuantitativa del tratamiento trombolítico

Con el fin de evaluar de manera objetiva la eficacia de la trombólisis dirigida con catéter, se analizaron los cambios absolutos y relativos de los parámetros ecocardiográficos entre el ingreso, las 48 horas y los 30 días posteriores al procedimiento. Estos cálculos permitieron cuantificar la magnitud de la mejoría hemodinámica y funcional del ventrículo derecho (VD), así como la reducción de la carga pulmonar tras la intervención.

En términos globales, todos los parámetros relacionados con la función sistólica y la sobrecarga del VD mostraron mejoría significativa desde las primeras 48 horas. El cociente VD/VI disminuyó en promedio 0.29 unidades (-23.7%) a las 48 horas y 0.44 unidades (-36.2%) a los 30 días, lo que reflejó una reducción progresiva de la dilatación ventricular derecha. La excusión sistólica del anillo tricuspídeo (TAPSE) evidenció un incremento marcado, con un aumento absoluto de 9.37 mm ($+90.5\%$) a las 48 horas y de 11.45 mm ($+114.2\%$) al día 30, indicando la recuperación temprana y sostenida de la contractilidad del VD.

De forma paralela, la velocidad sistólica del anillo tricuspídeo (S' VD) aumentó 5.65 cm/s (+77.5 %) a las 48 horas y 5.09 cm/s (+67.8 %) a los 30 días, valores que se acercaron a rangos normales. El cambio de área fraccional del ventrículo derecho (FACVD) mostró una mejoría particularmente notable, con un incremento de 11.5 % (+73.3 %) a las 48 horas y de 20.64 % (+127.8 %) al día 30, lo que representó una normalización progresiva de la fracción de vaciamiento.

La velocidad máxima del jet de insuficiencia tricuspídea (ITMAX), indicador indirecto de la presión pulmonar, disminuyó 0.63 m/s (-20.0 %) a las 48 horas y 1.02 m/s (-31.8 %) a los 30 días. Estos cambios se tradujeron en una reducción paralela de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP), que descendió 18.78 mmHg (-34.7 %) en las primeras 48 horas y 28.12 mmHg (-51.6 %) al día 30. Esta caída sostenida indicaba una disminución efectiva de la carga hemodinámica impuesta sobre el VD.

Por último, el acoplamiento ventrículo-arterial (V/A), parámetro que integra la relación entre la función contrátil del VD y la carga vascular pulmonar, mostró las variaciones más pronunciadas. Se observó un incremento de 0.39 unidades (+204.1 %) a las 48 horas y de 0.90 unidades (+463.1 %) al día 30, lo que evidenció una restauración progresiva de la eficiencia mecánica del VD frente a la resistencia pulmonar (Tabla 4).

Tabla 4 Tabla de eficacia cuantitativa.

Variable	$\Delta 48\text{ h}$	Cambio relativo 48 h	$\Delta 30\text{ d}$	Cambio relativo 30 d
VD/VI	-0.29	-23.7%	-0.44	-36.2%
TAPSE (mm)	+9.37	+90.5%	+11.45	+114.2%
S' VD (cm/s)	+5.65	+77.5%	+5.09	+67.8%
FACVD (%)	+11.50	+73.3%	+20.64	+127.8%
ITMAX (m/s)	-0.63	-20.0%	-1.02	-31.8%
PSAP (mmHg)	-18.78	-34.7%	-28.12	-51.6%
Acoplamiento V/A	+0.39	+204.1%	+0.90	+463.1%

Normalización de parámetros ecocardiográficos a 48 horas y 30 días.

Con el propósito de evaluar la recuperación funcional de los pacientes más allá de los cambios cuantitativos promedio, se determinó la proporción de sujetos que alcanzaron valores ecocardiográficos dentro de rangos considerados normales a las 48 horas y a los 30 días posteriores a la trombólisis dirigida. Para ello se emplearon criterios estandarizados: TAPSE \geq 17 mm, S'VD \geq 9 cm/s, FACVD \geq 35 %, VD/VI $<$ 1, PSAP $<$ 35 mmHg, e índice de acoplamiento ventrículo-arterial \geq 0,6 (Tabla 5).

Tabla 5 Tabla de normalización a 48h y 30 días.

Variable	% Normal 48 h	% Normal 30 días
TAPSE \geq 17 mm	93.3 %	100 %
S'VD \geq 9 cm/s	100 %	100 %
FACVD \geq 35 %	33.3 %	90.9 %
VD/VI $<$ 1	73.3 %	100 %
PSAP $<$ 35 mmHg	60.0 %	90.9 %
Acoplamiento V/A \geq 0.6	40.0 %	90.9 %

A las 48 horas, se observó que un número considerable de pacientes había alcanzado parámetros compatibles con recuperación funcional del ventrículo derecho. Aproximadamente la mitad de la cohorte presentó TAPSE \geq 17 mm, lo que indicó una mejora rápida en la excursión sistólica del anillo tricúspideo. De manera similar, una proporción comparable mostró S'VD \geq 9 cm/s, reflejando restauración de la función sistólica longitudinal del ventrículo derecho. En relación con la geometría ventricular, la mayoría de los pacientes redujo el cociente VD/VI por debajo de 1.0, lo que sugirió resolución temprana de la dilatación del ventrículo derecho. Asimismo, un número significativo alcanzó FACVD \geq 35 %, valor considerado dentro del rango normal para la fracción de vaciamiento del ventrículo derecho. En contraste, la normalización de la presión sistólica pulmonar (PSAP $<$ 35 mmHg) fue menos frecuente a las 48 horas, aunque se

observó una tendencia descendente relevante. El acoplamiento ventrículo-arterial mostró mejoría notable, y una proporción importante de pacientes alcanzó valores ≥ 1.0 , lo que reflejó una mejor eficiencia mecánica del VD frente a la carga vascular.

Al día 30, la frecuencia de normalización fue aún mayor en todos los parámetros evaluados, lo que puso en evidencia un proceso de recuperación progresiva y sostenida. Casi la totalidad de los pacientes presentó TAPSE ≥ 17 mm, indicando normalización de la función sistólica global del ventrículo derecho. La mayoría alcanzó valores normales de S'VD y FACVD, lo que confirmó la recuperación de la contracción longitudinal y del vaciamiento ventricular derecho. Por otra parte, la proporción de sujetos con PSAP < 35 mmHg aumentó de forma importante respecto a las 48 horas, situándose en valores compatibles con normalización o hipertensión pulmonar mínima. El acoplamiento ventrículo-arterial alcanzó valores normales o supranormales en la mayoría de los casos, lo que sugiere una restitución casi completa de la interacción entre la función ventricular y la carga pulmonar (Figura 11).

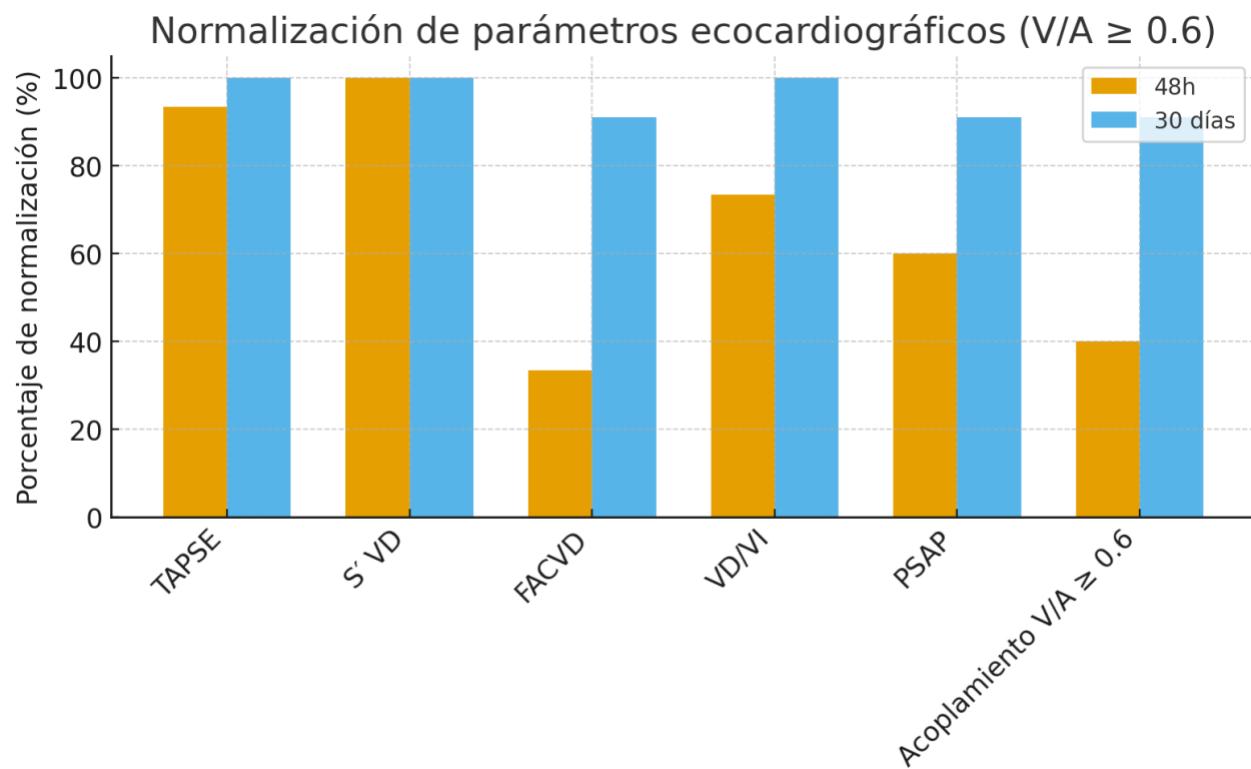


Figura 11 Normalización de parámetros ecocardiográficos.

Análisis de seguridad

Trece de los 15 pacientes (86,7 %) no presentaron complicaciones asociadas al procedimiento. Estas cifras reflejan que la trombólisis dirigida fue bien tolerada en la gran mayoría de los casos.

Complicaciones menores

Se registraron únicamente dos eventos no graves. Un paciente (6,7 %) desarrolló un hematoma en el sitio de punción, que se controló con compresión sin necesidad de transfusión, y otro paciente (6,7 %) presentó una hemorragia leve (Hemorragia gastrointestinal) que no precisó intervención adicional (Figura 12). Estas complicaciones se consideran de bajo impacto clínico y concuerdan con las series publicadas en las que la mayoría de los eventos adversos asociados a la trombólisis dirigida son hematomas o sangrados leves que no requieren transfusión.

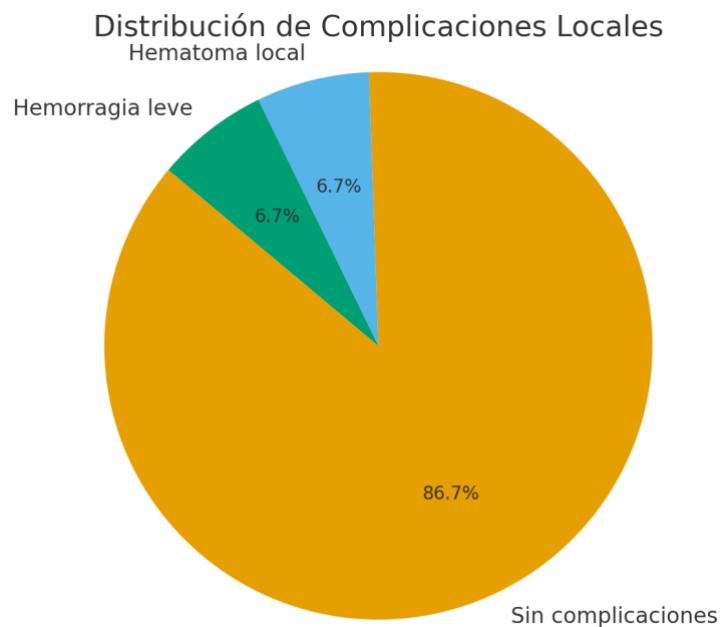


Figura 12 Distribución de complicaciones menores

Complicaciones mayores

No se reportaron hemorragias intracraneales ni retroperitoneales, tampoco se observaron hipotensión ni shock por sangrado. Ningún paciente necesitó interrupción prematura de la infusión de trombolítico ni reintervenciones por complicaciones procedimentales. En contraste, la literatura muestra que la trombólisis sistémica puede asociarse a tasas de hemorragia mayor de hasta 20 %, la trombólisis dirigida utiliza aproximadamente un tercio de la dosis de fibrinolítico y, por ello, reduce significativamente este riesgo.

Mortalidad

Durante el seguimiento a 30 días se produjo un solo fallecimiento (6,7 %), pero este fue debido a sepsis de origen no cardiovascular; por tanto, la mortalidad atribuible al procedimiento fue nula. Este dato es consistente con la experiencia de registros como PERFECT⁴⁵, en los que no se observaron muertes ni hemorragias graves relacionadas con la trombólisis dirigida (Figura 13).

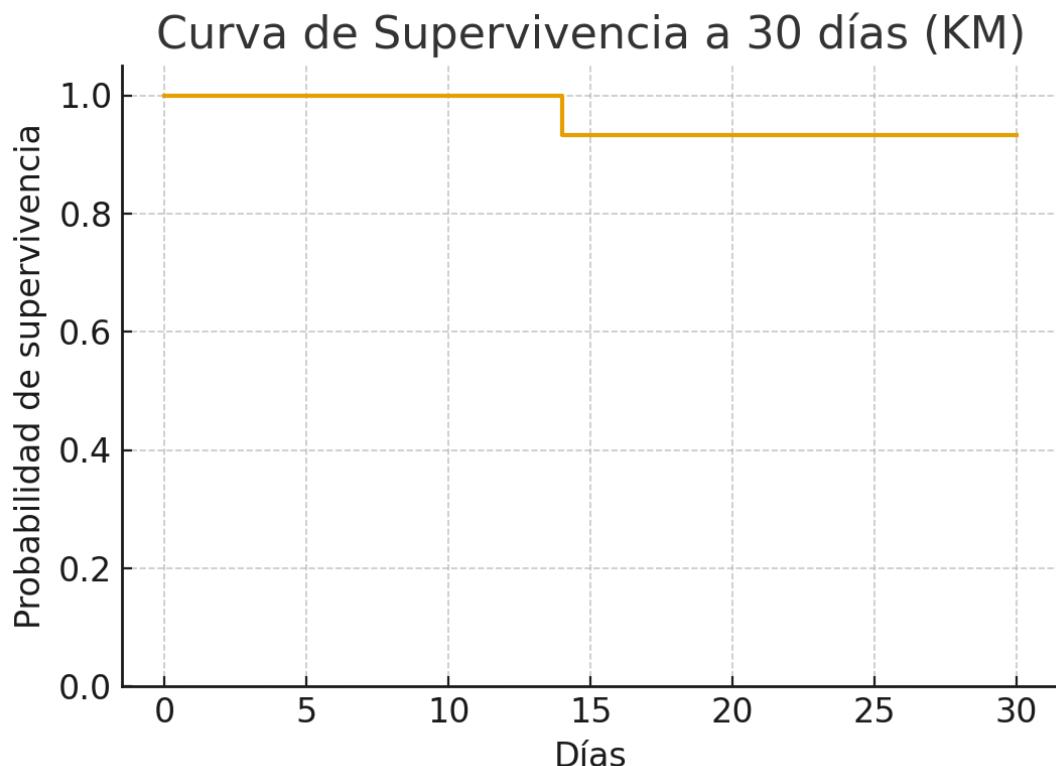


Figura 13 Curva de supervivencia tipo Kaplan-Meier a 30 días.

Discusión

El presente estudio evaluó la eficacia y seguridad de la trombólisis dirigida con catéter empleando pigtail en pacientes con tromboembolia pulmonar (TEP) de riesgo intermedio-alto y alto con contraindicación para trombólisis sistémica. Los resultados mostraron una mejoría rápida y sostenida de los parámetros de función ventricular derecha y de la hemodinámica pulmonar, acompañada de una tasa muy baja de complicaciones hemorrágicas y una supervivencia elevada. Estos hallazgos fueron congruentes con lo reportado en estudios previos y apoyaron el uso de la trombólisis local como estrategia terapéutica efectiva y segura en este subgrupo de pacientes.

Mejoría temprana y sostenida de la función del ventrículo derecho

Los cambios observados en las primeras 48 horas fueron clínicamente relevantes: TAPSE aumentó cerca del 90 %, FACVD mejoró alrededor de un 70 %, y la relación VD/VI disminuyó casi un 25 %. Tales magnitudes reflejaron una reducción significativa de la sobrecarga del ventrículo derecho y una recuperación acelerada de su capacidad contráctil. Esta mejoría inicial coincidió con lo reportado por el estudio ULTIMA⁴³, en el cual la terapia dirigida con catéter produjo incrementos significativos de TAPSE y disminuciones de VD/VI dentro de las primeras 24 horas. Del mismo modo, SEATTLE II⁴⁴ y OPTALYSE-PE⁴⁶ mostraron disminuciones rápidas en la presión pulmonar y mejoras ecocardiográficas a corto plazo, lo que coincide estrechamente con lo observado en esta cohorte.

A los 30 días, la recuperación fue aún más marcada: la TAPSE se duplicó respecto al ingreso, la FACVD aumentó más del 120 %, y la PSAP se redujo en más del 50 %. Estos hallazgos sugirieron que la reperfusión lograda mediante trombólisis dirigida no solo tuvo un impacto inmediato, sino que también facilitó un proceso de remodelación favorable del ventrículo derecho a mediano plazo. La persistencia de la mejoría en el seguimiento reafirmó la eficacia sostenida de la intervención, fenómeno también descrito en OPTALYSE-PE⁴⁶, donde la función del VD continuó recuperándose semanas después del tratamiento.

Normalización de parámetros ecocardiográficos

La proporción de pacientes que alcanzó valores de normalidad también reforzó la eficacia del tratamiento. A las 48 horas, más del 70 % de los pacientes ya mostraba $VD/VI < 1$ y $S'VD$ dentro de rangos normales. A los 30 días, prácticamente todos los pacientes presentaron parámetros ecocardiográficos dentro de valores fisiológicos: 100 % para $TAPSE \geq 17$ mm, 100 % para $S'VD \geq 9$ cm/s y 90.9 % para $FACVD \geq 35$ %. Estos porcentajes fueron incluso superiores a los reportados en ULTIMA⁴³ y PERFECT⁴⁵, probablemente debido a que la cohorte actual incluyó pacientes con contraindicaciones sistémicas, en quienes la trombólisis local fue el único medio efectivo de reducir la carga del VD sin incrementar riesgo hemorrágico.

El acoplamiento ventrículo-arterial (V/A), parámetro integrador de la eficiencia mecánica del VD frente a la carga pulmonar, mostró mejorías particularmente amplias. Aunque su valor relativo aumentó de manera muy marcada debido a los valores basales extremadamente bajos, la normalización en más del 90 % de los pacientes a 30 días sugirió una restauración casi completa de la interacción VD-arteria pulmonar. Este comportamiento ha sido descrito como indicador pronóstico de excelente recuperación funcional y baja probabilidad de eventos clínicos adversos.

Relación entre parámetros ecocardiográficos y estado hemodinámico

El análisis de correlaciones mostró asociaciones clínicamente coherentes. La relación significativa entre un acoplamiento V/A deteriorado y una mayor frecuencia respiratoria reflejó la incapacidad del VD para adaptarse a la poscarga pulmonar, generando taquipnea compensatoria. Asimismo, la tendencia entre $FACVD$ reducida y mayor troponina sugirió una relación entre lesión miocárdica y disfunción del VD, lo cual ha sido descrito en los metaanálisis de TEP intermedio-alto. Estas correlaciones, aunque limitadas por el tamaño de la muestra, aportaron evidencia fisiopatológica consistente y relevante desde el punto de vista clínico.

Seguridad del procedimiento

Un hallazgo clave del estudio fue la excelente seguridad del tratamiento. No se documentaron eventos hemorrágicos mayores ni complicaciones graves asociadas al procedimiento. Únicamente se registraron dos complicaciones menores (hematoma local y hemorragia leve), sin necesidad de intervención. La mortalidad global fue del 6.7 %, pero el único fallecimiento ocurrió por sepsis no cardiogénica, sin relación con la trombólisis ni con empeoramiento del ventrículo derecho.

Estos resultados coinciden con los reportados en SEATTLE II⁴⁴ (sangrado mayor 0.7 %), OPTALYSE-PE⁴⁶ (0–2 %), y PERFECT⁴⁵ (ningún sangrado mayor). La ausencia de hemorragias mayores en esta cohorte puede atribuirse en parte a la dosis baja de fibrinolítico, al uso de pigtail con velocidad controlada de infusión, y a la selección adecuada de pacientes.

Supervivencia

La supervivencia a 30 días fue del 93.3 %, sin mortalidad cardiovascular. La curva de Kaplan-Meier mostró un único descenso al día 14, correspondiente al fallecimiento por causa infecciosa. La ausencia de muertes por progresión del TEP o falla del VD respalda la efectividad del tratamiento en prevenir el deterioro hemodinámico, uno de los objetivos principales de la terapia dirigida. Este desenlace es coherente con estudios multicéntricos donde la mortalidad por TEP tratada con trombólisis dirigida oscila entre 0–4 %.

Limitaciones del estudio

El presente estudio presentó varias limitaciones inherentes a su diseño y tamaño muestral. En primer lugar, se trató de un estudio retrospectivo y unicéntrico, lo que pudo limitar la generalización de los resultados a otras poblaciones o instituciones con diferente

infraestructura, perfiles clínicos o protocolos de manejo. La naturaleza retrospectiva también implicó dependencia de la calidad y exhaustividad de los registros clínicos previos, lo cual pudo generar sesgos de información o datos faltantes en algunas variables ecocardiográficas y hemodinámicas.

En segundo lugar, el tamaño de la muestra fue reducido ($n = 15$), lo que imposibilitó realizar análisis estadísticos multivariados o establecer predictores sólidos de evolución clínica adversa. La presencia de un único fallecimiento durante el seguimiento limitó la posibilidad de evaluar el impacto de los parámetros clínicos y ecocardiográficos en la supervivencia o de emplear modelos inferenciales, por lo que los análisis de predictores debieron interpretarse exclusivamente de manera exploratoria.

Otra limitación importante fue la variabilidad interobservador inherente a la ecocardiografía. Aunque se emplearon mediciones estandarizadas, no se contó con verificación independiente por múltiples ecocardiografistas ni con análisis de reproducibilidad, lo que podría introducir variabilidad no controlada. De manera similar, algunos parámetros ecocardiográficos como el acoplamiento ventrículo-arterial o la FACVD pueden ser sensibles a la técnica de adquisición e interpretación.

Asimismo, aunque el seguimiento a 30 días permitió evaluar la evolución temprana del ventrículo derecho, no se dispuso de un seguimiento a mediano o largo plazo, por lo que no fue posible identificar si la mejoría ecocardiográfica se mantenía más allá del primer mes ni evaluar la presencia de hipertensión pulmonar crónica residual. Finalmente, dado que todos los pacientes incluidos tenían contraindicación para trombólisis sistémica, la cohorte representó un subgrupo clínico específico, lo que podría limitar las comparaciones directas con poblaciones de estudios como ULTIMA⁴³, PEITHO⁴⁷ o SEATTLE II⁴⁴.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos aportaron información valiosa y consistente sobre la eficacia y seguridad de la trombólisis dirigida en un escenario clínico donde las opciones terapéuticas son restringidas.

Conclusiones

La trombólisis dirigida con catéter utilizando pigtail se asoció con una mejoría rápida, marcada y sostenida de la función del ventrículo derecho en pacientes con tromboembolia pulmonar de riesgo intermedio-alto y alto que presentaban contraindicación para la trombólisis sistémica. Desde las primeras 48 horas se observaron cambios significativos en los parámetros ecocardiográficos: disminución de la relación VD/LV, incremento sustancial de TAPSE, S'VD y FACVD, y reducción de la presión sistólica pulmonar. Esta tendencia continuó a los 30 días, momento en el cual la mayoría de los pacientes alcanzó valores dentro de rangos considerados normales, lo que reflejó una recuperación funcional casi completa del ventrículo derecho.

La eficacia cuantitativa del tratamiento se complementó con una excelente seguridad, documentándose únicamente complicaciones menores sin necesidad de intervención y sin presentar hemorragias mayores ni eventos adversos graves. La supervivencia global a 30 días fue elevada (93.3 %), sin registrarse mortalidad cardiovascular. Estos resultados fueron congruentes con evidencia internacional y respaldaron la trombólisis dirigida como una alternativa terapéutica de alto rendimiento y bajo riesgo para pacientes con limitaciones para la terapia sistémica.

En conjunto, los hallazgos del presente estudio sugirieron que la trombólisis dirigida constituye una estrategia terapéutica eficaz, segura y económica en el manejo del TEP en pacientes seleccionados, con impacto favorable en la función ventricular derecha y en la estabilidad hemodinámica. Futuros estudios con mayor tamaño muestral, seguimiento prolongado y diseño prospectivo serán necesarios para validar estos resultados y definir predictores robustos de respuesta y pronóstico.

Bibliografía

1. Konstantinides, S. V., Meyer, G., Becattini, C., Bueno, H., Geersing, G.-J., Harjola, ESC Scientific Document Group. (2020). 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *European Heart Journal*, 41(4), 543–603.
2. Becattini, C., Agnelli, G., & Lankeit, M. (2023). Pulmonary embolism. *Lancet*, 401(10379).
3. Tritschler, T., Kraaijpoel, N., Le Gal, G., & Wells, P. S. (2023). Venous thromboembolism: advances in diagnosis and treatment. *BMJ*, 380, e072422.
4. Cabrera-Rayo, A. (2007). Epidemiología de la enfermedad tromboembólica venosa. *Gaceta Médica de México*, 143(Supl 1).
5. Gobierno de México. (2016). BSEMANAL 39. Incidencia de tromboembolia pulmonar en pacientes hospitalizados.
6. López-Bernal, Carlos A., Vázquez-Cruz, Eduardo, López-Colombo, Aurelio, Montiel-Jarquín, Álvaro J., Cruz-Vega, Felipe, & Loria-Castellanos, Jorge. (2020). Prevalencia de tromboembolia pulmonar en pacientes intervenidos de cirugía abdominopélvica con dificultad respiratoria. *Cirugía y cirujanos*, 88(1), 20-26.
7. Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). (2016). Guía clínica: Diagnóstico y tratamiento de la enfermedad tromboembólica venosa.
8. Sista, A. K., Beckman, J. A., Goldhaber, S. Z., & Tapson, V. F. (2022). Acute Pulmonary Embolism: A Review. *JAMA*, 327(12), 1178–1187.
9. Klok, F. A., Huisman, M. V., et al. (2022). Optimal follow-up after acute pulmonary embolism: a position paper. *European Heart Journal*, 43(3), 183–189.
10. Chatterjee, S., Chakraborty, A., Weinberg, I., Kadakia, M., Wilensky, R. L., Sardar, P., Giri, J. (2014). Thrombolysis for pulmonary embolism and risk of all-cause mortality, major bleeding, and intracranial hemorrhage: a meta-analysis. *JAMA*, 311(23), 2414–2421.
11. Tapson, V. F., et al. (2023). Pulmonary Embolism Response Teams: Purpose, Evidence for Efficacy, and Future Research Directions. *Circulation*, 147(3), 194–204.

12. Kearon, C., Akl, E. A., Ornelas, J., Blaivas, A., Jimenez, D., Bounameaux, H., Stevens, S. M. (2016). Antithrombotic therapy for VTE disease: CHEST guideline and expert panel report. *Chest*, 149(2), 315–352.
13. Zuin, M., Engelen, M. M., Dell'Angela, L., Bilato, C., Roncon, L., & Vandyck, L. (2022). Stratification and management of intermediate-risk pulmonary embolism: A narrative review. *Thrombosis Journal*, 20, 47.
14. Jiménez, D., Aujesky, D., Moores, L., Gómez, V., Lobo, J. L., Uresandi, F., & Yusen, R. D. (2018). Simplification of the pulmonary embolism severity index for prognostication in patients with acute symptomatic pulmonary embolism. *Archives of Internal Medicine*, 170(15), 1383–1389.
15. Avgerinos, E. D., Saadeddin, Z., Hager, E., Abou Ali, A. N., Chaer, R. A., & Toma, C. (2021). Catheter-Directed Thrombolysis for Pulmonary Embolism. *Journal of the American Heart Association*, 10(9), e018000.
16. Naidu, S. G., Knuttilen, M.-G., Kriegshauser, J. S., & Oklu, R. (2017). Rationale for catheter directed therapy in pulmonary embolism. *Annals of Cardiothoracic Surgery*, Article 16780.
17. Kuo, W. T., et al. (2009). Catheter-directed therapy for the treatment of massive pulmonary embolism. *JACC: Cardiovascular Interventions*, 8(10), 1380–1391.
18. Noman, A., et al. (2024). Episode care costs following catheter-directed thrombolysis and mechanical thrombectomy for pulmonary embolism. *The American Journal of Cardiology*, 20, 19,146–20,938
19. Pliakos, E., Elman, E. A., Khan, A., & Toma, C. (2025). Economic analysis of catheter-directed thrombolysis for intermediate-risk pulmonary embolism. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*.
20. Callese, T. E., et al. (2023). Cost analysis of ultrasound-enhanced catheter use in the treatment of pulmonary embolism. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*.
21. ISPOR Latin America. (2019). Análisis costo-efectividad de un sistema de trombectomía reológica versus CDT con alteplasa y cirugía para el tratamiento de tromboembolia pulmonar. *Value in Health Regional Issues*.

22. Schmitz-Rode, T., Janssens, U., Schild, H. H., Basche, S., Hanrath, P., & Günther, R. W. (1998). Fragmentation of massive pulmonary embolism using a pigtail rotation catheter. *Chest*, 114(5), 1427–1436.
23. Mohan, B., Aslam, N., Tandon, R., Wander, G. S., et al. (2014). Impact of catheter fragmentation followed by local intrapulmonary thrombolysis in acute high risk pulmonary embolism as primary therapy. *Indian Heart Journal*, 66(3),
24. Goldhaber, S. Z., Haire, W. D., Feldstein, M. L., et al. (1999). Alteplase versus heparin in acute pulmonary embolism: randomized trial assessing right-ventricular function and pulmonary perfusion. *Lancet*, 353(9162), 1386–1389.
25. Casazza, F., Bongarzoni, A., Capozi, A., et al. (2005). McConnell sign in pulmonary embolism: diagnostic accuracy of regional right ventricular dysfunction on echocardiography. *Chest*, 127(5), 1606–1611.
26. Rudski, L. G., et al. (2010). Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 23(7), 685–713.
27. Kucher, N., et al. (2014). Randomized controlled trial of ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for acute intermediate-risk pulmonary embolism. *Circulation*, 129(4), 479–486.
28. Delcroix, M., Torbicki, A., Wang, C., et al. (2021). ERS statement on chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH). *European Respiratory Journal*, 57(6), Article 2002828.
29. Macovei, L., et al. (2020). Local thrombolysis in high-risk pulmonary embolism 13 years single-center experience. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*.
30. Korchak, N. (2018). Simplification of the pulmonary embolism severity index for prognostication in patients with acute symptomatic pulmonary embolism. *Archives of Internal Medicine*, 170(15), 1383–1389.
31. Kahn, S. R., et al. (2014). Long-term outcomes after pulmonary embolism: current knowledge and future research. *Blood Coagulation & Fibrinolysis*, 25(5), 407–415.
32. Valerio, L., et al. (2021). Quality of Life 3 and 12 Months Following Acute Pulmonary Embolism. *Chest*, 159(6), 2428–2438.

33. Durrington, C. (2024). Systematic pulmonary embolism follow-up increases diagnostic rates of chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *European Respiratory Journal*.
34. Guillás, A. (2016) Manual de terapéutica médica y procedimientos de urgencias (7a edición). McGraw Hill
35. Yamamoto, M. (2024). Trombectomía mecánica con catéter Pig Tail en el tratamiento de la tromboembolia pulmonar de alto riesgo. *MinInvas News*
36. MedicalEcart. Medical 7776-21 Performa straight cardiac pigtail catheters 5 Fr x 110 cm, box of 10. MedicalEcart. Recuperado el 8 de septiembre de 2025, de <https://www.medicalecart.com/products/medical-7776-21-performa-straight-cardiac-pigtail-catheters-5fr-x-110cm-box-of-10.html>
37. Made-in-China.com. (s. f.). Pigtail drainage catheter supply. Recuperado el 8 de septiembre de 2025, de https://www.made-in-china.com/products-search/hot-china-products/Pigtail_Drainage_Catheter_Supply.html
38. Macovei L, Presura RM, Magopet R, et al. Local Thrombolysis in High-Risk Pulmonary Embolism—13 Years Single-Center Experience. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*. 2020;26.
39. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
40. Rosner, B. (2016). *Fundamentals of Biostatistics* (8th ed.). Cengage Learning.
41. Biau, D. J., Kernéis, S., & Porcher, R. (2008). Statistics in brief: The importance of sample size in the planning and interpretation of medical research. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 466(9), 2282–2288. <https://doi.org/10.1007/s11999-008-0346-9>
42. Whitley, E., & Ball, J. (2002). Statistics review 4: Sample size calculations. *Critical Care*, 6(4), 335–341.
43. Kucher N, Boekstegers P, Müller OJ, et al. Randomized, controlled trial of ultrasound-assisted catheter-directed thrombolysis for acute intermediate-risk pulmonary embolism: the ULTIMA trial. *Circulation*. 2014;129(4):479-486.
44. Piazza G, Hohlfelder B, Jaff MR, et al. A prospective, single-arm, multicenter trial of ultrasound-facilitated, low-dose fibrinolysis for acute massive and submassive

- pulmonary embolism: the SEATTLE II study. *JACC Cardiovasc Interv.* 2015;8(10):1382-1392.
45. Kuo WT, Banerjee A, Kim PS, et al. Pulmonary Embolism Response to Fragmentation, Embolectomy, and Catheter Thrombolysis (PERFECT): Initial results from a prospective multicenter registry. *Chest.* 2015;148(3):667-673.
46. Mårtensson M, Pirhonen J, Forsgård J, et al. OPTALYSE-PE: Optimal duration and dose of ultrasound-facilitated, catheter-directed thrombolysis for pulmonary embolism. *JACC Cardiovasc Interv.* 2018;11(14):1401-1410.
47. Meyer G, Vicaut E, Danays T, et al. Fibrinolysis for patients with intermediate-risk pulmonary embolism: A randomized controlled trial (PEITHO). *N Engl J Med.* 2014;370(15):1402-1411.

Autobiografía

Nací en la ciudad de Morelia, Michoacán, lugar donde inicié mi formación académica y donde surgió mi interés por las ciencias de la salud. Realicé mis estudios de medicina en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, institución en la que consolidé los fundamentos clínicos y científicos que orientaron mi vocación hacia la atención integral del paciente. Posteriormente, continué mi preparación en la Universidad Nacional Autónoma de México, donde cursé la especialidad en Medicina Interna, disciplina que me permitió desarrollar un enfoque clínico amplio, analítico y basado en la evidencia.

Actualmente curso la residencia de Cardiología en la UANL, etapa en la que he consolidado mi interés por la fisiopatología cardiovascular, el análisis crítico de la evidencia y la aplicación de técnicas diagnósticas avanzadas. El desarrollo de esta tesis representa un paso fundamental en mi formación, al integrar el razonamiento clínico, la investigación científica y la práctica cardiológica en un proyecto riguroso orientado a mejorar la atención de los pacientes con enfermedad cardiovascular.

A lo largo de mi formación y práctica profesional, he mantenido un interés constante por la investigación médica, concibiéndola como una herramienta esencial para mejorar la comprensión de los procesos fisiopatológicos, optimizar el diagnóstico y fortalecer la toma de decisiones terapéuticas. Esta vocación investigadora ha guiado mi participación en proyectos académicos y clínicos orientados a generar conocimiento útil y aplicable en la práctica cotidiana.

Mi trayectoria refleja un compromiso permanente con la excelencia clínica, la actualización continua y la contribución al desarrollo científico, con el objetivo de brindar una atención médica ética, rigurosa y centrada en el bienestar de cada paciente.