



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**HOSPITAL SEDE: HOSPITAL ÁNGELES MOCEL**

**“PREDICCIÓN NO INVASIVA DEL RIESGO DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL  
PULMONAR EN PACIENTES DE TERAPIA INTENSIVA: UN ESTUDIO QUE  
UTILIZA ELEVACIÓN PASIVA DE PIERNAS Y ECOGRAFÍA DOPPLER PARA  
LA ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA PRESIÓN SISTÓLICA DE LA ARTERIA  
PULMONAR”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN**

**MEDICINA CRÍTICA**

**PRESENTA**

**ANDRÉS GIBRÁN SALCEDO MALAGÓN**

**DIRECTOR DE TESIS: DR AGUSTÍN EDUARDO JARAMILLO SOLÍS**

**CIUDAD DE MÉXICO  
MARZO 2023-FEBRERO 2025  
HOSPITAL ÁNGELES MOCEL**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA**

**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**HOSPITAL SEDE: HOSPITAL ÁNGELES MOCEL**

**“PREDICCIÓN NO INVASIVA DEL RIESGO DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL  
PULMONAR EN PACIENTES DE TERAPIA INTENSIVA: UN ESTUDIO QUE  
UTILIZA ELEVACIÓN PASIVA DE PIERNAS Y ECOGRAFÍA DOPPLER PARA  
LA ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA PRESIÓN SISTÓLICA DE LA ARTERIA  
PULMONAR”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALISTA EN**

**MEDICINA CRÍTICA**

**PRESENTA**

**ANDRÉS GIBRÁN SALCEDO MALAGÓN**

**DIRECTOR DE TESIS: DR AGUSTÍN EDUARDO JARAMILLO SOLÍS**

**CIUDAD DE MÉXICO  
MARZO 2023-FEBRERO 2025  
HOSPITAL ÁNGELES MOCEL**

**PROFESOR TITULAR DE ESPECIALIDAD**

**DR AGUSTÍN EDUARDO JARAMILLO SOLÍS**

**JEFE DE ÁREAS CRÍTICAS**

**DR. ALEJANDRO PIZAÑA DÁVILA**

**ASESORA METODOLÓGICA DE TESIS**

**DRA. NANCY VERÓNICA ALVA ARROYO**

**"PREDICCIÓN NO INVASIVA DEL RIESGO DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL  
PULMONAR EN PACIENTES DE CUIDADOS INTENSIVOS: UN ESTUDIO  
QUE UTILIZA ELEVACIÓN PASIVA DE PIERNAS Y ECOGRAFÍA DOPPLER  
PARA LA ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA PRESIÓN SISTÓLICA DE LA  
ARTERIA PULMONAR "**

**DR ANDRÉS GIBRÁN SALCEDO MALAGÓN**

Autor

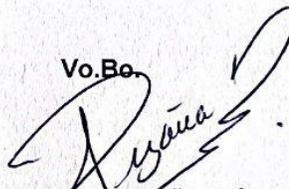
Vo.Bo.



**DR. AGUSTÍN EDUARDO JARAMILLO SOLÍS**

Profesor Titular del Curso de Especialización en Medicina Crítica  
Hospital Ángeles Mocel, Grupo Ángeles Health System

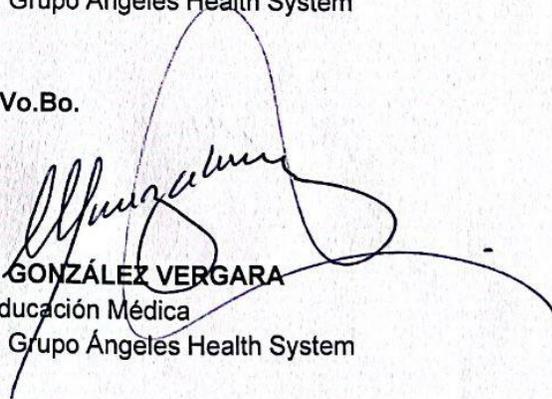
Vo.Bo.



**DR. ALEJANDRO PIZAÑA DÁVILA**

Jefe de Áreas Críticas y Profesor Adjunto  
del Curso de Especialización en Medicina Crítica  
Hospital Ángeles Mocel, Grupo Ángeles Health System

Vo.Bo.



**DRA. CAROLINA GONZÁLEZ VERGARA**

Jefe de Educación Médica  
Hospital Ángeles Mocel, Grupo Ángeles Health System



**“PREDICCIÓN NO INVASIVA DEL RIESGO DE HIPERTENSIÓN ARTERIAL PULMONAR EN PACIENTES DE TERAPIA INTENSIVA: UN ESTUDIO QUE UTILIZA ELEVACIÓN PASIVA DE PIERNAS Y ECOGRAFÍA DOPPLER PARA LA ESTIMACIÓN INDIRECTA DE LA PRESIÓN SISTÓLICA DE LA ARTERIA PULMONAR”**

Autor: Salcedo Malagón Andrés Gibrán

**Vo.Bo**

---

**Dr. Agustín Eduardo Jaramillo Solís**

Director de Tesis

Hospital Ángeles Mocel

## **ABREVIACIONES**

VMI: Ventilación mecánica invasiva

VMNI: Ventilación mecánica no invasiva

PSAP: Presión Sistólica de la arteria Pulmonar

UCI: Unidad de Cuidados Intensivos

PIA: Presión Intrabdominal

USG: Ultrasonido

ECOTT: Ecografía Transtorácica

PX: Paciente

DMAX: Diámetro máximo de la vena cava medido por ultrasonido

DMIN: Diámetro mínimo medido por ultrasonido

HAP: Hipertensión Arterial Pulmonar

VRT: Velocidad de Regurgitación Tricúspidea

PW: Ultrasonido Doppler Pulsado

m: metros

seg: segundos

PPV: Variación de la presión de pulso

SVV: Variación de la presión arterial sistólica

CVPC: Variación de la presión venosa central

PCWP: Presión de enclavamiento pulmonar

PVC: Presión Venosa Central

VS: Volumen sistólico:

FEVI: Fracción de expulsión del ventrículo izquierdo

<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
1. <b>Portada</b> .....	1
2. <b>Índice</b> .....	8
3. <b>Resumen</b> .....	9
4. <b>Introducción</b> .....	9
5 <b>Planteamiento del problema</b> .....	11
5.1 <b>Justificación</b> .....	12
5.2 <b>Hipótesis</b> .....	13
5.3 <b>Objetivos</b> .....	13
5.4.1 <b>Objetivo General</b> .....	13
5.4.2 <b>Objetivos Específicos</b> .....	13
5.5 <b>Pregunta de investigación</b> .....	13
6. <b>Marco Teórico</b> .....	14
7. <b>Material y Métodos</b> .....	15
7.1 <b>Tipo de estudio</b> .....	15
7.2 <b>Definición de universo</b> .....	15
7.3 <b>Población de estudio</b> .....	15
7.4 <b>Criterios de inclusión y exclusión</b> .....	15
7.5 <b>Muestra</b> .....	16
7.5.1 <b>Tipo de muestreo</b> .....	16
7.5.2 <b>Cálculo de tamaño de muestra</b> .....	16
7.5.3 <b>Selección de muestra</b> .....	16
7.5.4 <b>Recolección de datos</b> .....	16
7.6 <b>Variables</b> .....	17
Variables dependientes .....	18
Variables independientes.....	18
7.7 <b>Mediciones e instrumentos de medición</b> .....	19
7.8 <b>Análisis estadístico de los datos</b> .....	20
8. <b>Recursos y financiamiento</b> .....	22
9. <b>Propósito de la investigación</b> .....	23
9.1 <b>Riesgo y beneficio ético</b> .....	23
9.2 <b>Consentimiento informado</b> .....	23
9.3 <b>Libertad de retiro</b> .....	23
9.4 <b>Confidencialidad</b> .....	23
9.5 <b>Seguridad y Bienestar del paciente</b> .....	23
9.6 <b>Beneficios del estudio</b> .....	23
9.7 <b>Inconvenientes del estudio</b> .....	23
9.8 <b>Confidencialidad</b> .....	24
10. <b>Interpretación de resultados y análisis</b> .....	24
11. <b>Discusión</b> .....	25
12. <b>Conclusiones</b> .....	26
<b>Anexos</b> .....	27
<b>Cronograma</b> .....	29
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	30

## RESUMEN

### Introducción

**Objetivo General:** Evaluar la modificación de los parámetros del método de Bernoulli en la medición de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) mediante ecografía Doppler tras la elevación pasiva de piernas en pacientes de terapia intensiva, con el fin de identificar posibles cambios que puedan indicar un riesgo de hipertensión arterial pulmonar de manera indirecta.

**Hipótesis:** Existe una modificación significativa en los parámetros del método de Bernoulli utilizados para estimar la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) después de la elevación pasiva de las piernas en pacientes críticos.

**Material y métodos:** Este estudio se llevará a cabo bajo un diseño longitudinal, prospectivo, comparativo, experimental y analítico. Se considera experimental debido a la intervención requerida para la elevación pasiva de piernas como maniobra para modificar los parámetros del método de Bernoulli.

**Resultados:** Se ingresaron un total de 39 pacientes, de los cuales la media de edad fue de 58.2 años ( $\pm 18.4$ ). Con relación al género, 25 pacientes (64.1%) eran masculinos y 14 (35.9%) femeninos. Los valores previos a la maniobra de elevación pasiva de piernas fueron medidos por el mismo operador: la media de la velocidad de regurgitación tricuspídea (VRT) fue de 2.3 m/s ( $\pm 0.52$ ), la media de la colapsabilidad de la vena cava inferior fue del 40% ( $\pm 11.2$ ), la media del diámetro máximo de la vena cava inferior (Dmax) fue de 18 cm/s ( $\pm 3.6$ ), la media de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) fue de 34.6 mmHg ( $\pm 10$ ), la media de la presión arterial pulmonar media (PAPm) fue de 18.79 mmHg ( $\pm 6.8$ ), y la media de la presión de la aurícula derecha (PAPD) fue de 10.9 mmHg ( $\pm 4.3$ ).

La PSAP previa y posterior alcanzó una diferencia de medias de 9.9 con un valor de  $p = 0.034$ . De igual manera, la PSAPm presentó una diferencia de medias de 5.14 con un valor de  $p = 0.010$ . El resto de las variables no mostraron significancia estadística.

**Conclusiones:** En base a los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que la maniobra de elevación pasiva de piernas, combinada con la ecografía Doppler y la ecuación de Bernoulli modificada, puede ser una herramienta valiosa para la evaluación no invasiva del riesgo de hipertensión arterial pulmonar (HAP) en pacientes de terapia intensiva.

Los hallazgos encontrados en este estudio demostraron un aumento significativo en la presión arterial pulmonar sistólica (PAPS) y la presión arterial pulmonar media (PAPm) después de la maniobra de elevación pasiva de piernas, lo que sugiere que

esta técnica puede detectar cambios en la precarga ventricular derecha y, por lo tanto, en la presión arterial pulmonar.

## 5. INTRODUCCIÓN

La administración de soluciones cristaloides como herramienta terapéutica ha sido empleada por médicos de distintas generaciones en la práctica clínica (1). Actualmente, la única indicación para administrar soluciones intravenosas en bolo es provocar un aumento en el volumen latido del 10 al 15% tras su infusión, conocido como un paciente respondedor a volumen (1). Sin embargo, en la práctica clínica, debido a los múltiples factores de riesgo y comorbilidades en pacientes críticos, establecer estos parámetros clínicamente se ha convertido en un desafío importante (5).

Ejemplos de herramientas clínicas para evaluar la respuesta a volumen incluyen ventanas de choque como el Mottling Score para la ventana cutánea, la escala FOUR y Glasgow para la ventana neurológica, y la cuantificación de la diuresis para la evaluación renal (1,8,9). A pesar de su utilidad, estas herramientas solo proporcionan una evaluación clínica básica del paciente crítico (7). Para una evaluación más precisa de la hemodinamia del paciente, se pueden complementar con herramientas de medición estáticas y dinámicas de respuesta a volumen (7).

Entre las herramientas dinámicas de respuesta a volumen se encuentran:

- **Variación de la presión de pulso (PPV):** Estima la respuesta a la administración de volumen utilizando la variación de la presión arterial sistólica durante el ciclo respiratorio. Un valor  $> 13-15\%$  generalmente indica una respuesta positiva al volumen (7).
- **Variación de la presión arterial sistólica (SVV):** Similar al PPV, utiliza la variación de la presión arterial sistólica durante el ciclo respiratorio. Un valor de SVV  $> 10-13\%$  indica una respuesta positiva al volumen (7).
- **Variación de la presión venosa central (CVPC):** Utiliza la variación de la presión venosa central durante el ciclo respiratorio para evaluar la respuesta a volumen. Un valor de CVPC  $> 10-15\%$  generalmente indica una respuesta positiva al volumen (7).

Por otro lado, las herramientas estáticas de respuesta a volumen se basan en mediciones estáticas de parámetros hemodinámicos y pueden proporcionar información sobre la capacidad de respuesta del paciente a la administración de líquidos (2). Algunas de las herramientas estáticas más comunes incluyen:

1. **Presión de enclavamiento pulmonar (PCWP):** Indica el volumen intravascular, con un valor elevado que puede indicar sobrecarga de volumen y un valor bajo una disminución del volumen intravascular (2).
2. **Presión venosa central (PVC):** Indica la suficiencia del ventrículo derecho, con un punto de corte entre 2-6mmHg. Varía según el contexto clínico del paciente y se utiliza como medida indirecta de volumen intravascular (2).
3. **Volumen sistólico:** Indica el volumen intravascular. Un valor menor a 60ml por latido puede indicar una disminución del volumen intravascular (2).

4. **Volumen de expulsión ventricular (FEVI):** Indica la función ventricular, con un punto de corte >50% (10)

A pesar de la utilidad de estas herramientas, al ser técnicas invasivas, pueden presentar inconvenientes como edema agudo pulmonar, insuficiencia valvular o falla de bomba (3). Por ello, algunos intensivistas podrían optar por una actitud más conservadora. En este trabajo, se propone una evaluación indirecta y no invasiva mediante el uso de la ecografía cardíaca, que permite medir la presión sistólica de la arteria pulmonar sin necesidad de cateterismo cardíaco, un procedimiento asociado con múltiples complicaciones (6).

Dada la limitación logística y de costos en torno al cateterismo cardíaco, la ecocardiografía se convierte en la herramienta de cribado y diagnóstico más utilizada en la práctica clínica global (5). La ecocardiografía transtorácica se utiliza para cuantificar la hipertensión pulmonar, utilizando la velocidad de regurgitación tricúspidea y la ecuación de Bernoulli modificada ( $PSAP = 4V^2 + PAD$ ) para obtener la presión sistólica de la arteria pulmonar, que se estima mediante una evaluación cualitativa de la presión auricular derecha (típicamente 5 o 10 mmHg) (4,11).

Recientemente en la revista indexada Nature Reviews publicó un artículo interesante de hipertensión arterial pulmonar en enero del 2024 donde se propone a la ecografía Doppler como un método seguro y preciso para el diagnóstico indirecto de hipertensión arterial pulmonar incluso sin necesidad de realizar cateterismo cardíaco debido a que la forma más prevalente de hipertensión arterial pulmonar en todo el mundo es la del grupo 2 de acuerdo a la clasificación mundial de hipertensión arterial pulmonar, en el cual se engloban los pacientes con trastornos de corazón izquierdo (5). Para comprender mejor la información es importante considerar lo siguiente:

Clasificación de hipertensión pulmonar:

Grupo 1: Idiopática, hereditaria, inducida por tóxicos, congénita.

Grupo 2: Hipertensión arterial pulmonar por cardiopatía izquierda

Grupo 3: Debido a enfermedad pulmonar y/o hipoxia

Grupo 4: Debido a obstrucción de la arteria pulmonar

Grupo 5: Secundario a trastornos hematológicos, metabólicos y oncológicos.

Es importante destacar que la maniobra de levantamiento pasivo de piernas se ha utilizado habitualmente en áreas críticas y representa el equivalente a administrar 300 ml de solución cristalinoide (12). Sin embargo, no se ha estudiado si los pacientes respondedores a volumen pueden repercutir negativamente en los componentes del corazón derecho (aurícula derecha, ventrículo derecho y vena cava), medidos por ecografía cardíaca al ingreso a la Unidad de Terapia Intensiva y durante la elevación pasiva de piernas (13). Este estudio propone evaluar si la ecuación de Bernoulli modificada puede ser útil para predecir el riesgo de hipertensión arterial pulmonar en pacientes de terapia intensiva mediante la elevación pasiva de piernas (4).

La ecuación de Bernoulli modificada ha sido validada en varios estudios, incluido un metaanálisis publicado en 2018 que incluyó 29 estudios con un total de 2.625 pacientes (4).

## 5.1 Planteamiento del Problema

La ecografía se ha consolidado como una herramienta fundamental en el ámbito de la medicina crítica, contribuyendo significativamente al desarrollo del conocimiento médico en

áreas críticas. La tendencia actual hacia el uso racional de soluciones intravenosas representa un desafío tanto a nivel individual como grupal, exigiendo una correcta indicación en los pacientes de terapia intensiva. Con la implementación de protocolos establecidos, como el protocolo ROSE en la reanimación de pacientes en estado crítico, y el uso del ultrasonido como método no invasivo para la estimación de la respuesta a volumen mediante la medición de la vena cava, la ecografía se ha convertido en una herramienta poderosa y de gran relevancia en la práctica diaria (4,11).

Sin embargo, aún no se ha establecido de manera formal por qué algunos pacientes que son respondedores a volumen tras las pruebas estáticas o dinámicas pueden presentar el riesgo de complicaciones a nivel de miocardio, como dilatación de cavidades derechas, insuficiencia valvular o elevación de presiones a nivel pulmonar (4,6,7).

La relevancia de realizar este estudio en el Hospital Ángeles Mocel radica en la necesidad de conocer la vulnerabilidad y el riesgo de desarrollar Hipertensión Arterial Pulmonar mediante la medición indirecta de la presión sistólica de la arteria pulmonar por ecografía, utilizando el método de Bernoulli. Durante el desarrollo de este estudio, se podría comparar la modificación de los parámetros que componen este método tras la elevación pasiva de piernas. Esto permitiría estimar no solo la respuesta a volumen sino también las posibles complicaciones derivadas de la administración futura de líquidos intravenosos (4,11).

## **5.2 Justificación**

La hipertensión arterial pulmonar (HAP) es una condición clínica grave que puede desarrollarse en pacientes críticamente enfermos, lo que conlleva un aumento en la morbilidad y mortalidad. La identificación precoz y precisa de los factores de riesgo y las manifestaciones tempranas de la HAP son fundamentales para la intervención terapéutica oportuna y la mejora de los resultados clínicos (4,6).

La elevación pasiva de piernas se ha utilizado como una maniobra clínica para evaluar la respuesta a volumen en pacientes de terapia intensiva. Sin embargo, la relación entre la elevación pasiva de piernas y los cambios en la presión sistólica de la arteria pulmonar, así como su capacidad para predecir el riesgo de HAP, no ha sido completamente explorada (4,11).

Esta investigación tiene como objetivo principal identificar el riesgo de elevación de la presión sistólica de la arteria pulmonar tras la elevación pasiva de piernas. El estudio busca proporcionar información crucial sobre el estado anatómico y funcional de las cavidades cardíacas que manejan el volumen, como la aurícula derecha y el ventrículo derecho, y determinar si existe una repercusión en la presión sistólica de la arteria pulmonar (4,6).

La realización de este estudio es factible, ya que se llevarán a cabo maniobras que no implican un riesgo significativo para los pacientes en estudio. Además, no presenta consideraciones éticas que limiten su realización, lo que permite una exploración detallada y sistemática de la hipótesis planteada (4,11).

En resumen, esta investigación busca llenar un vacío en la literatura científica actual y contribuir al desarrollo de estrategias de evaluación y manejo más precisas y efectivas de la HAP en pacientes críticamente enfermos.

## **5.3 Hipótesis**

### **5.3.1 Hipótesis de Trabajo (H1)**

Existe una modificación significativa en los parámetros del método de Bernoulli utilizados para estimar la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) después de la elevación pasiva de las piernas en pacientes críticos.

### **5.3.2 Hipótesis Nula (H0)**

No existe una modificación en los parámetros del método de Bernoulli utilizados para estimar la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) después de la elevación pasiva de las piernas en pacientes críticos.

## **5.4 Objetivos**

### **5.4.1 Objetivo General**

Evaluar la modificación de los parámetros del método de Bernoulli en la medición de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) mediante ecografía Doppler tras la elevación pasiva de piernas en pacientes de terapia intensiva, con el fin de identificar posibles cambios que puedan indicar un riesgo de hipertensión arterial pulmonar de manera indirecta.

### **5.4.2 Objetivos Específicos**

1. Analizar las modificaciones en la velocidad de regurgitación tricúspidea, la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) estimada mediante la ecuación de Bernoulli modificada, y la presión sistólica de la aurícula derecha antes y después de la elevación pasiva de piernas en pacientes de terapia intensiva.
2. Determinar si los pacientes que presentan una respuesta positiva al levantamiento pasivo de piernas muestran un aumento en el riesgo de desarrollar hipertensión arterial pulmonar, utilizando la ecografía Doppler como herramienta de diagnóstico no invasiva.
3. Clasificar el riesgo de hipertensión arterial pulmonar en categorías de baja probabilidad, probabilidad moderada o probabilidad alta, en función de los cambios observados en los parámetros del método de Bernoulli y la respuesta al levantamiento pasivo de piernas.

## **5.5 Pregunta de Investigación**

¿Es posible predecir de manera no invasiva el riesgo de Hipertensión Arterial Pulmonar en pacientes de terapia intensiva mediante la ecografía Doppler, utilizando el método de Bernoulli para estimar la presión sistólica de la arteria pulmonar, y observar cambios en los parámetros después de la elevación pasiva de piernas?

## **6. Marco Teórico**

### **Ecuación de Bernoulli y Estimación de la Presión Sistólica de la Arteria Pulmonar (PSAP)**

La ecuación simplificada de Bernoulli establece que la energía de la sangre circulante en las cámaras cardiacas se mantiene constante y depende de la velocidad a la que se desplaza, así como de la presión interna en dichas cámaras, como la aurícula derecha y el ventrículo derecho. El gradiente de presión que se genera a través de estas cámaras puede ser representado por la ecuación:

$$\text{Gradiente de presión} = 4 \times \text{velocidad}^2$$

Este gradiente puede ser medido mediante la ecografía Doppler para determinar gradientes valvulares, permitiendo cuantificar la severidad de valvulopatías a través de la estimación de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) y la presión de la aurícula derecha (PAD), y con ello estimar el riesgo de hipertensión arterial pulmonar (4).

### **Estimación de la PSAP y PAD mediante Ecocardiografía Doppler**

Es posible estimar la PSAP utilizando los componentes del método de Bernoulli mediante la ecografía Doppler, obteniendo los resultados que componen dicha ecuación a través de la velocidad de regurgitación tricúspidea (VRT). Este parámetro indica el gradiente máximo de presión que debe vencer el ventrículo derecho al superar la postcarga de la arteria pulmonar. La medición del pico máximo del flujograma espectral entre el ventrículo derecho y la arteria pulmonar permite estimar la PSAP de manera no invasiva, agregando la presión sistólica de la aurícula derecha según el principio de Bernoulli (4).

### **Maniobra de Elevación Pasiva de Piernas y Cambios en la PSAP**

La elevación pasiva de piernas se ha propuesto como un medio de simulación no invasiva y seguro para predecir el riesgo de hipertensión arterial pulmonar. Al observar si existen cambios en la PSAP tras esta maniobra, se puede evaluar el riesgo de hipertensión arterial pulmonar (4).

### **Manual POCUS y Precisión en la Medición de la PSAP**

El manual Point of Care Ultra Sound (POCUS) describe un margen de error de +/- 5 mmHg en la medición de la PSAP. Este manual está diseñado para médicos especialistas no ecocardiografistas que trabajan en áreas críticas (11).

### **Estimación de la Presión de la Aurícula Derecha**

Para calcular la presión de la aurícula derecha, es necesario obtener la variabilidad de la vena cava inferior, es decir, la colapsabilidad o distensibilidad de esta vena. De acuerdo con las recomendaciones de la Sociedad Americana de Ecocardiografía, se establecen los siguientes valores:

- Vena cava inferior < 2.1 cm con colapso > 50% durante la inspiración: PAD = 5 mmHg
- Vena cava inferior > 2.1 cm con colapso > 50%: PAD = 10 mmHg
- Vena cava inferior > 2.1 cm con colapso < 50%: PAD = 20 mmHg

### **Cateterismo Cardíaco como Gold Estándar**

El cateterismo cardíaco es el método de referencia para medir la PSAP. Este procedimiento invasivo requiere un acceso venoso central y mide la presión en cuña de la arteria pulmonar mediante un sistema hidráulico. Sin embargo, presenta un alto riesgo de complicaciones, como hemorragia, arritmias o infección (3).

## **7. Material y Métodos**

### **7.1 Tipo de estudio**

Este estudio se llevará a cabo bajo un diseño longitudinal, prospectivo, comparativo, experimental y analítico. Se considera experimental debido a la intervención requerida para la elevación pasiva de piernas como maniobra para modificar los parámetros del método de Bernoulli.

### **7.2 Definición del universo:**

Pacientes hospitalizados en la terapia intensiva del Hospital Ángeles Mocel de Enero del 2024 a Junio del 2024.

### **7.3 Población de estudio**

Se incluirán pacientes mayores de 18 años, de cualquier sexo, con patologías quirúrgicas y no quirúrgicas, con y sin ventilación mecánica, ingresados en la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Ángeles Mocel durante el periodo de abril del 2024 a junio del 2024.

### **7.4 Criterios de inclusión y exclusión**

Criterios de inclusión:

- Adultos mayores de 18 años.
- Pacientes que ingresen a la unidad de terapia intensiva.

Criterios de exclusión:

- Ausencia de miembros inferiores.
- Vértigo o disautonomía.
- Prótesis inmediata de cadera.
- Fractura inestable de pelvis.
- Embarazo.
- Pacientes o familiares que no deseen participar en el estudio.
- Superficie quemada profunda en el tórax.

#### **7.4.1 Criterios de eliminación:**

- Pacientes que presenten fatiga, incomodidad o molestia durante la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.
- Pacientes con elevación de la presión intraabdominal.
- Patología neurológica que imposibilite realizar la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.
- Abdomen abierto.
- Patología ósea.

- Necrosis digital.
- Síndrome compartimental o ausencia de pulso en alguna extremidad inferior.
- Mala ventana ecográfica.

## 7.5. Muestra

### 7.5.1 Tipo de muestreo

El tipo de muestreo utilizado en este estudio será no probabilístico, intencional. Esto se debe a que se seleccionarán los pacientes basándose en criterios específicos y no de manera aleatoria.

### 7.5.2 Cálculo de Tamaño de Muestra

El cálculo del tamaño de muestra se basó en la diferencia clínicamente relevante esperada para este estudio. Se estableció un nivel de significancia y potencia estadística utilizando la fórmula básica para estudios de comparación de medias:

$$n = \frac{2(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})^2 \cdot \sigma^2}{(\mu_1 - \mu_2)^2}$$

Donde:

- n = tamaño de muestra por grupo.
- $\sigma$  = desviación estándar de la población.
- $Z_{\alpha/2}$  = valor crítico de la distribución normal para el nivel de significancia (usualmente 1.96 para un nivel de significancia del 5%).
- $Z_{\beta}$  = valor crítico de la distribución normal para la potencia estadística (usualmente 0.84 para una potencia del 80%).
- $\mu_1 - \mu_2$  = diferencia mínima clínicamente relevante entre los grupos.

Se determinó que el tamaño de muestra seleccionado se derivó del número de variables que componen el método de Bernoulli, asignando un mínimo de 10 pacientes por cada variable, basado en las consideraciones logísticas de este estudio.

### 7.5.3 Selección de la Muestra

Se incluirán un total de 80 pacientes que cumplan con los criterios de inclusión y no presenten criterios de exclusión o eliminación, divididos en dos grupos:

- Grupo Control: 40 pacientes
- Grupo Expuesto: 40 pacientes

La asignación de los pacientes a cada grupo se realizará de manera aleatoria para garantizar la comparabilidad entre los grupos.

### 7.5.4 Recolección de Datos

Los datos serán recolectados mediante ecografía Doppler, previo consentimiento informado y bajo la supervisión de médicos con experiencia en ultrasonografía en el paciente crítico. Se registrarán los valores de la velocidad de regurgitación tricúspidea, la presión de la aurícula derecha y la colapsabilidad o distensibilidad de la vena cava inferior antes y después de la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.

## 7.6 Variables

Variables Dependientes:

- Valor de la PSAP por método de Bernoulli.

Variables Independientes:

- Levantamiento pasivo de piernas.

Variable de control:

- Adecuada ventana acústica.

### **Variable Dependiente**

- Valor de la PSAP (Presión Sistólica de la Arteria Pulmonar) por método de Bernoulli: Este será el valor que se obtenga mediante la aplicación del método de Bernoulli a través de la ecografía Doppler antes y después de la maniobra de levantamiento pasivo de piernas.

### **Variable Independiente**

- Levantamiento Pasivo de Piernas: Esta maniobra será realizada en los pacientes del grupo expuesto para evaluar su efecto en los parámetros del método de Bernoulli.

### **Variable de Control**

- Adecuada Ventana Acústica: La calidad de la ventana acústica es esencial para obtener mediciones precisas y fiables mediante la ecografía Doppler. Esta variable se considerará como un factor de control para asegurar la calidad de las mediciones.

Otras variables:

- Edad.
- Género.
- Velocidad de Regurgitación Tricúspidea (VRT).
- Colapsabilidad/Distensibilidad de la Vena Cava Inferior.
- Vmax.
- Presión Sistólica estimada de la Aurícula Derecha.
- Diagnóstico de ingreso.
- Diagnóstico de egreso.

### VARIABLES DEPENDIENTES

Variable Dependiente	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Unidad
<b>Edad</b>	Cualitativa Discreta	Número de años, meses y días a partir del nacimiento	Número de años que conteste el paciente o enfermo	Años cumplidos
<b>Género</b>	Cualitativa Dicotómica	Características fenotípicas, genotípicas y fisiológicas relacionadas a la estructura reproductiva	Femenino o masculino acorde a la respuesta del paciente	Femenino o masculino
<b>Hipertensión Arterial Pulmonar</b>	Cualitativa Ordinal	Elevación de la presión sistólica de la arteria pulmonar en reposo por angiografía superior a 25mmHg	Resultado de la fórmula de Bernoulli obtenido por ecografía	31-33 mmHg: Baja probabilidad >34-46 mmHg: Probabilidad intermedia >>46 mmHg: Alta probabilidad

### VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	Tipo de Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Unidad
<b>Velocidad de Regurgitación Tricuspidéa</b>	Cuantitativa Discreta	Condición cardíaca en la que la sangre filtra en forma retrógrada a través de la válvula tricúspide	Medición del gradiente de velocidad máxima por ecografía doppler	<2.8m/s: Baja probabilidad para HAP. >2.9-3.4 m/s: Probabilidad intermedia para HAP. >>3.4 m/s: Alta probabilidad para HAP.
<b>PSAP</b>	Cuantitativa Discreta	Presión sistólica de las arterias pulmonares durante la fase de contracción miocárdica	Medición ecográfica por medio del método de Bernoulli	31-33 mmHg: Baja probabilidad >34-46 mmHg: Probabilidad intermedia >>46 mmHg: Alta probabilidad
<b>Elevación Pasiva de Piernas</b>	Cualitativa Dicotómica	Técnica utilizada para medición de la circulación sanguínea y función	Elevación pasiva de piernas con un ángulo de 45°C durante 60 segundos	Presencia o ausencia de la maniobra

		venosa en las extremidades inferiores		
<b>Distensibilidad de la Vena Cava Inferior</b>	Cuantitativa Continua	Capacidad de la vena cava para cambiar el tamaño en respuesta a cambios en la presión intratorácica en pacientes con ventilación mecánica	Medición ecográfica de la vena cava en pacientes con ventilación mecánica	%
<b>Colapsabilidad de la Vena Cava Inferior</b>	Cuantitativa Continua	Capacidad de la vena cava para cambiar el tamaño en respuesta a cambios en la presión intratorácica	Medición ecográfica de la vena cava para colapsar o reducir su diámetro	%
<b>Diámetro Máximo de la Vena Cava Inferior</b>	Cuantitativa Continua	Diámetro máximo de la vena cava durante el ciclo cardíaco	Es el diámetro más grande observado en la medición ultrasonográfica durante el ciclo cardíaco	Cm
<b>Presión Sistólica de la Aurícula Derecha</b>	Cuantitativa Discreta	Diámetro mínimo de la vena cava durante el ciclo cardíaco	Relación de los valores de diámetro de la vena cava inferior  <2.1 y colapso inspiratorio >50%: 5mmHg <2.1cm con colapso inspiratorio <50%: 10mmHg >2.1cm con colapso inspiratorio >50% :15mmHg >2.1cm con colapso inspiratorio <50%: 20mmHg	mmHg

## 7.7 Mediciones e instrumentos de medición

Bajo previo consentimiento informado, se realizará la medición de la Presión Sistólica de la Arteria Pulmonar (PSAP) de manera indirecta por Ecografía Doppler y método de Bernoulli. Esta medición será supervisada por médicos adscritos con experiencia en el área de ecografía cardíaca.

### Parámetros por medir:

1. Medición del gradiente de la velocidad máxima de la regurgitación tricúspidea (VRT) por ecografía Doppler medida en metros/segundo.
2. Presión de la aurícula derecha (PAD) estimada a partir del diámetro de la vena cava inferior:
  - Diámetro máximo <2.1 cm y colapsabilidad o distensibilidad >50% = 5 mmHg
  - Diámetro máximo <2.1 cm y colapsabilidad o distensibilidad <50% = 10 mmHg
  - Diámetro máximo >2.1 cm y colapsabilidad o distensibilidad >50% = 15 mmHg
  - Diámetro máximo >2.1 cm y colapsabilidad o distensibilidad <50% = 20 mmHg
3. Sustitución de valores:  
 $VRT^2 \times 4 + PAD$

Ejemplo:  $(2.3 \times 2.3) \times 4 + 10 = 21.16$

VRT = 2.3 m/seg

Diámetro máximo de vena cava inferior = 1.9 cm y colapso < 50%

PAD} = 10 mmHg

Según los resultados, el paciente tendría baja probabilidad de hipertensión arterial pulmonar según la metodología de Bernoulli.

### Interpretación de Resultados según Manual POCUS:

- 31-33 mmHg: Baja probabilidad
- 34-46 mmHg: Probabilidad intermedia
- 46 mmHg: Alta probabilidad

### 7.8 Análisis estadístico de los datos

Tabla 1 Características generales de la población general

Características	n 39
Género, M (%)	25 (64.1)
F	14 (35.9)
Edad, media (±DE)	58.2 (±18.4)
<b>VALORES PRE</b>	
VRT pre, media (DE), m/seg	2.3 (.52)
Colapsabilidad, media (DE), %	40 (11.2)
Dmax, media (DE)	18 (3.6)
PSAP pre, media (DE)	34.6 (10)
PSAPm, media (DE)	18.79 (6.8)
PADP pre, media (DE)	10.9 (4.3)
<b>VALORES POST</b>	
VRT post, media (DE)	2.7 (.72)
Colapsabilidad, media (DE), %	36.7 (11.7)
Dmax, media (DE)	20.2 (6.7)
PSAP post, media (DE)	44.5 (12)
PSAPm, media (DE)	23.93 (6.3)
PADP post, media (DE)	13.7 (5.2)
Diagnósticos de ingreso, n (%)	
Aneurisma	1 (2.6)
Angina de Pecho	1 (2.6)

Bradicardia	1 (2.6)
Calocitosis	1 (2.6)
Choque cardiogénico	1 (2.6)
Choque hipovolémico	3 (7.7)
Choque séptico	5 (12.8)
Derrame pleural	1 (2.6)
Edema pulmonar	1 (2.6)
ERC	1 (2.6)
Est Aor	1 (2.6)
EVC hemorrágico	1 (2.6)
EVC isquémico	1 (2.6)
ICC/AHA	2 (5.1)
Miocardiopatía dilatada	1 (2.6)
NAC	3 (7.7)
Pericarditis	1 (2.6)
Pielonefritis	1 (2.6)
Sepsis AB	1 (2.6)
SICA	4 (10.3)
SIRA	2 (5.1)
STDA	1 (2.6)
TEP	1 (2.6)
Tumor Car	1 (2.6)
Tumor Cuello	1 (2.6)
Tumor Cardíaco	1 (2.6)
Diagnósticos de Egreso, n (%)	
Angioplastia	1 (2.6)
Bradicardia	1 (2.6)
Choque	1 (2.6)
Defunción	1 (2.6)
Derrame	1 (2.6)
Edema Agudo Pulmonar Resuelto	1 (2.6)
ERC KDIGO I	1 (2.6)
ERC KDIGO II	2 (5.1)
ICCAHAC	1 (2.6)
ICP	4 (10.3)
INS AO	1 (2.6)
IVU	1 (2.6)
LRA	1 (2.6)
MIOCARDIO	1 (2.6)
NAC	1 (2.6)
NAC Resuelta	1 (2.6)
Neumopatía	1 (2.6)
Pericarditis	1 (2.6)
PO Cambio valvular	1 (2.6)
PO cateterismo cardíaco	1 (2.6)
PO de M	1 (2.6)
PO ICP	1 (2.6)

PO Marcapasos	1 (2.6)
PO Tumor	1 (2.6)
Revascularización miocárdica	1 (2.6)
Secuela EVC	3 (7.7)
Sepsis	2 (5.1)
Trauma	1 (2.6)
Urosepsis	1 (2.6)

Abreviaturas: M (masculino), F (femenino) DE (Desviación estándar)

Tabla 2. Análisis bivariado de la maniobra pre y post elevación con las mediciones

Variables	Pre	Post	DM	P
VRT, media ( $\pm$ DE), m/seg	2.3 (.52)	2.7 (.72)	.4	.880
Colapsabilidad, media ( $\pm$ DE), %	40 (11.2)	36.7 (11.7)	3.3	.414
Dmax, media ( $\pm$ DE)	18 (3.6)	20.2 (6.7)	2.2	.225
PASP, media ( $\pm$ DE)	34.6 (10)	44.5 (12)	9.9	<b>.034</b>
PAPm, media ( $\pm$ DE)	18.79 (6.8)	23.93 (6.3)	5.14	<b>.010</b>
PADP, media ( $\pm$ DE)	10.9 (4.3)	13.7 (5.2)	2.8	.051

Abreviaturas: DM (diferencia de medias), DE (Desviación estándar).

### Implicaciones Éticas

El estudio fue revisado y aprobado por el comité de ética e investigación del Hospital Ángeles Mocel conforme a lo establecido en el Reglamento en Materia de Investigación para la Salud de la Ley General de Salud, se trata de un estudio sin riesgo.

### Minimización de Sesgos

Para minimizar los sesgos, el estudio se realizará en un mismo paciente, en un solo momento, sin interferencia de administración de fármacos que modifiquen los resultados y será realizado por un único investigador con experiencia en ecografía Doppler en áreas críticas.

## 8. Recursos y Financiamiento

### 8.1 Recursos Necesarios

- Ultrasonido con transductor convexo y sectorial
- Software ultrasonográfico cardíaco y abdominal
- Equipo de cómputo para la captura de los datos
- Hojas blancas para anotaciones
- Programa estadístico SPSS o STATA

## **8.2 Financiamiento**

Los recursos materiales necesarios para llevar a cabo este estudio serán proporcionados por la Unidad de Terapia Intensiva del Hospital Ángeles Mocel, lo que garantiza la factibilidad y suficiencia de recursos para la realización del proyecto.

## **9 Propósito de la investigación**

El propósito de esta investigación fue brindar conocimiento científico que permita contribuir al mejoramiento académico del médico residente durante su formación como residente.

### **9.1 Riesgo y beneficio ético**

Desde el punto de vista ético, se consideró que se trató de una investigación con riesgo mayor que el mínimo para la población a estudiar. La obtención de datos se hizo por medio de ecografía tras el levantamiento pasivo de piernas.

### **9.2 Consentimiento informado**

El estudio se aplicó con previo consentimiento informado en el cual se le explicará al paciente y/o familiar la maniobra a realizar (ver anexo 2)

### **9.3 Libertad de retiro**

Se explicó al paciente y/o familiar que tendrían la completa libertad para retirarse del estudio en el momento que así lo deseen.

### **9.4 Confidencialidad**

La información obtenida es confidencial garantizando que no habrá repercusiones negativas durante su internamiento en la Unidad de Terapia Intensiva. Los datos obtenidos se guardarán en una base de datos sin anotar número de expediente, nombre, domicilio, con la finalidad de proteger su identidad.

### **9.5 Seguridad y bienestar del paciente**

No se presentó inestabilidad hemodinámica o malestar por parte del paciente, se habría detenido el estudio y se hubieran tomado las medidas preventivas para asegurar el bienestar y cuidado en la salud del paciente a estudiar.

### **9.6 Beneficios del Estudio**

El protocolo de tesis resultó ser beneficioso para el Hospital Ángeles Mocel sobre la optimización en la administración de volumen a pacientes críticos y sus posibles complicaciones como sobrecarga hídrica, datos de insuficiencia cardiaca o hipertensión pulmonar, así como una nueva área de oportunidad académica en la utilización de recursos materiales como el uso de ultrasonido en el paciente crítico.

### **9.7 Inconvenientes del estudio**

A pesar de los resultados, este estudio se basa en una muestra relativamente pequeña de 39 pacientes lo que pudiera limitar la generalización de hallazgos. Es importante considerar que la evaluación no invasiva de la presión de la arteria pulmonar mediante ecografía Doppler requiere de equipo especializado lo que podría ser un obstáculo en entornos clínicos con recursos limitados.

Se necesitan más estudios y validaciones para confirmar su utilidad en la clínica; sin embargo, su reproducibilidad proporciona una visión interesante sobre la predicción no invasiva de HAP en pacientes de terapia intensiva.

## **9.8 Confidencialidad**

Los datos obtenidos se guardaron en una base de datos, sin anotar número de expediente, nombre, domicilio, con la finalidad de proteger su identidad. Los datos serán procesados por el programa estadístico STATA o SPSS, los cuales sólo el investigador y asesores de tesis tendrán conocimiento.

## **9.9 Consentimiento Informado**

Se redactó una carta de consentimiento informado explicando claramente la maniobra a realizar, los datos obtenidos se recabarán y se guardarán en la base de datos del protocolo de estudio de acuerdo a las recomendaciones de la Norma Oficial Mexicana del Expediente Clínico (NOM-004-SSA3-2012). Se anexa consentimiento informado.

## **10 Interpretación de resultados y análisis**

### **Interpretación de Resultados**

Se ingresaron un total de 39 pacientes, de los cuales la media de edad fue de 58.2 años ( $\pm 18.4$ ). Con relación al género, 25 pacientes (64.1%) eran masculinos y 14 (35.9%) femeninos. Los valores previos a la maniobra de elevación pasiva de piernas fueron medidos por el mismo operador: la media de la velocidad de regurgitación tricuspídea (VRT) fue de 2.3 m/s ( $\pm 0.52$ ), la media de la colapsabilidad de la vena cava inferior fue del 40% ( $\pm 11.2$ ), la media del diámetro máximo de la vena cava inferior (Dmax) fue de 18 cm/s ( $\pm 3.6$ ), la media de la presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP) fue de 34.6 mmHg ( $\pm 10$ ), la media de la presión arterial pulmonar media (PAPm) fue de 18.79 mmHg ( $\pm 6.8$ ), y la media de la presión de la aurícula derecha (PAPD) fue de 10.9 mmHg ( $\pm 4.3$ ).

Después de la maniobra de elevación pasiva de piernas, los valores medidos fueron: la media de la VRT fue de 2.7 m/s ( $\pm 0.72$ ), la media de la colapsabilidad de la vena cava inferior fue del 36.7% ( $\pm 11.7$ ), la media de la Dmáx fue de 20.2 cm/s ( $\pm 6.7$ ), la media de la PAPm fue de 23.93 mmHg ( $\pm 6.3$ ), y la media de la PAD fue de 13.7 mmHg ( $\pm 5.2$ ). Los diagnósticos de ingreso y egreso se encuentran en la tabla 1.

Posteriormente, se realizó un análisis bivariado de la maniobra previa y posterior a la elevación de piernas, midiendo los valores.

La PSAP previa y posterior alcanzó una diferencia de medias de 9.9 con un valor de  $p = 0.034$ . De igual manera, la PSAPm presentó una diferencia de medias de 5.14 con un valor de  $p = 0.010$ . El resto de las variables no mostraron significancia estadística.

## Discusión

A pesar de no contar con una amplia bibliografía sobre estudios que comparen la medición de la PSAP con y sin el levantamiento pasivo de piernas; el método de Bernoulli modificado ha sido utilizado por ecocardiografistas e intensivistas como un método no invasivo, simple y relativamente rápido que proporciona información sobre la PSAP y con ello el riesgo de HAP. *Alberto Milan et all, Test for Echocardiographic Indexes for the Non-Invasive Evaluation of Pulmonary Hemodynamics.*

Además, la ecuación de Bernoulli sigue siendo un método validado reciente en 2024 y publicado en el “Primer de Hipertensión Pulmonar” como herramienta de cribado no invasivo para el diagnóstico de hipertensión pulmonar. *Mocumbi A, Humbert M, Sexena A, et al. Pulmonary Hypertension. Nature reviews disease primers. 2024.*

Por otro lado, la sociedad española de cardiología comenta que el método de Bernoulli modificado tiene implicaciones técnicas en medir de manera precisa la velocidad de regurgitación tricúspidea por lo que recomiendan infundir suelo salino para mejorar la visualización de la IT incluso comentan que un estudio realizado en 374 pacientes con enfermedad pulmonar, sólo el 44% obtuvo buen registro para la medición de PSAP por lo que no puede definir el diagnóstico de HAP mediante ultrasonido. En general, la correlación entre la PSP estimada por ecocardiografía es buena (0,57-0,85)

*Pilar Escribano Subías , Joan Alberto Barbera , Evaluación diagnóstica y pronóstica actual de la hipertensión pulmonar, Revista Española de Cardiología Vol 63, 2016.*

Los hallazgos de nuestro estudio sugieren que la maniobra de elevación pasiva de piernas, combinada con la ecografía Doppler y la ecuación de Bernoulli modificada, puede ser una herramienta importante para la evaluación no invasiva del riesgo de hipertensión arterial pulmonar (HAP) en pacientes de terapia intensiva.

El aumento significativo observado en la presión arterial pulmonar sistólica (PAPS) y la presión arterial pulmonar media (PAPm) después de la maniobra de elevación pasiva de piernas indica que esta técnica puede detectar cambios en la precarga ventricular derecha y, por lo tanto, en la presión arterial pulmonar. Esto concuerda con los principios fisiopatológicos de la HAP, donde un aumento en la precarga ventricular derecha puede exacerbar la sobrecarga de presión y contribuir al desarrollo o empeoramiento de la hipertensión pulmonar.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la precisión de esta técnica (método de Bernoulli modificado) puede verse afectada por diversos factores, como la calidad de las imágenes ecográficas y la presencia de comorbilidades que puedan influir en la hemodinámica del paciente. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela y en el contexto clínico del paciente.

Por otro lado, la precisión de la ecuación de Bernoulli modificada también depende de la calidad de las imágenes ecocardiográficas al ser un método operador dependiente.

Es importante destacar que la forma más prevalente de HAP en todo el mundo es la del grupo 2, según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual se relaciona con trastornos cardíacos izquierdos. Por lo tanto, la evaluación de la presión arterial pulmonar mediante técnicas no invasivas, como la propuesta

en nuestro estudio, puede ser particularmente relevante en pacientes con enfermedades cardíacas subyacentes.

Cabe mencionar que la maniobra de elevación pasiva de piernas ha sido ampliamente utilizada en áreas críticas como una herramienta para evaluar la respuesta a volumen y la precarga ventricular. Sin embargo, su impacto en la presión arterial pulmonar y el riesgo de HAP no ha sido estudiado en profundidad. Este estudio aporta información valiosa sobre la utilidad de esta maniobra en combinación con la ecografía Doppler para la evaluación del riesgo de HAP en pacientes críticos.

## **Conclusiones**

1.-En base a los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que la maniobra de elevación pasiva de piernas, combinada con la ecografía Doppler y la ecuación de Bernoulli modificada, puede ser una herramienta valiosa para la evaluación no invasiva del riesgo de hipertensión arterial pulmonar (HAP) en pacientes de terapia intensiva.

2.-Los hallazgos encontrados en este estudio demostraron un aumento significativo en la presión arterial pulmonar sistólica (PAPS) y la presión arterial pulmonar media (PAPm) después de la maniobra de elevación pasiva de piernas, lo que sugiere que esta técnica puede detectar cambios en la precarga ventricular derecha y, por lo tanto, en la presión arterial pulmonar.

3.- Es importante tener en cuenta que la precisión de esta técnica puede verse afectada por diversos factores, como la experiencia del operador, la calidad de las imágenes ecográficas y la presencia de comorbilidades que puedan influir en la hemodinamia del paciente. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela y en el contexto clínico del paciente.

4.-El método de Bernoulli modificado podría ser particularmente útil en situaciones en las que el cateterismo cardíaco derecho no esté disponible o sea contraindicado, permitiendo una evaluación rápida y sin riesgos de la presión arterial pulmonar.

## ANEXOS

### HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Protocolo: Predicción no invasiva del riesgo de hipertensión arterial pulmonar en pacientes de cuidados intensivos: un estudio que utiliza elevación pasiva de piernas y ecografía doppler para la estimación indirecta de la presión sistólica de la arteria pulmonar

Expediente		
Edad		
Género		
Diagnóstico de ingreso:		
Diagnóstico de egreso:		
Datos	Previo a la maniobra	Posterior a la maniobra
VRT (Velocidad de Regurgitación Tricúspídea)		
Colapsabilidad / Distensibilidad de la Vena Cava Inferior		
Vmax (Velocidad Máxima de la Regurgitación Tricuspídea)		
Presión Sistólica Estimada de la Aurícula Derecha		
PSAP (Presión Sistólica de la Arteria Pulmonar)		

Fecha de toma de los datos: \_\_\_\_\_

## ANEXO 2

### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO

Estimado paciente,

Bienvenido al Hospital Ángeles Mocol. A continuación, te explicamos de manera sencilla el estudio en el que podrías participar:

**Título del estudio:** “Predicción no invasiva del riesgo de hipertensión arterial pulmonar en pacientes de cuidados intensivos: Un estudio que utiliza elevación pasiva de piernas y ecografía Doppler para la medición indirecta de la presión sistólica de la arteria pulmonar”.

#### ¿Qué vamos a hacer?

Vamos a medir la presión en las arterias de los pulmones usando una máquina de ultrasonido. Haremos esta medición antes y después de que realices una simple maniobra de levantar tus piernas.

#### ¿Hay algún riesgo?

El estudio es seguro y no deberías sentir dolor. Sin embargo, es posible que te sientas incómodo durante la medición.

#### ¿Cuáles son los beneficios?

Podremos identificar si tienes riesgo de hipertensión arterial pulmonar de manera temprana.

#### ¿Mis datos estarán seguros?

Sí, toda la información que recopilemos será confidencial y anónima. Solo será utilizada para la investigación.

#### ¿Puedo dejar el estudio en cualquier momento?

Sí, tú o tu representante legal tienen el derecho de decidir si quieres continuar o no en el estudio. Si decides salir, no afectará tu atención médica.

Firma del paciente y/o representante legal:

---

Nombre y firma del investigador:

---

Fecha: \_\_\_\_\_

### 13. Cronograma de actividades 2023-2024

Actividad	Marzo 2023	Abril-Mayo 2023	Junio-Julio 2023	Agosto-Septiembre 2023	Octubre-Noviembre 2023	Diciembre 2023-Enero 2024	Febrero 2024	Marzo-Abril 2024	Mayo-Junio 2024
Pregunta de investigación	X								
Planeación y selección del tipo de estudio	X	X							
Marco teórico		X	X						
Objetivos generales y específicos			X						
Registro de protocolo				X					
Fase de campo					X	X			
Creación de Base de datos						X			X
Análisis estadístico						X	X		
Primera revisión de tesis								X	
Segunda revisión de tesis									X
Conclusiones									X
Entrega de tesis									X

## Referencias bibliográficas:

1. Olivencia Peña L, Fernández Carmona A, Rodríguez C. Diagnóstico diferencial y manejo de shock. Elsevier España; 2022.
2. De la Espriella R, Cobo M, Santas E. Evaluación de las presiones de llenado y la sobrecarga de volumen en la insuficiencia cardíaca: una visión actualizada. Sociedad Española de Cardiología, Elsevier España; 2022.
3. Hoeper MM, Lee SH, Voswinckel R, et al. Complications of right heart catheterization procedures in patients with pulmonary hypertension in experienced centers.
4. Liang Y, Nozari A, Kumar AB. Reanimación Cardiopulmonar y soporte vital cardíaco avanzado. Elsevier España; 2021.
5. Mocumbi A, Humbert M, Sexena A, et al. Pulmonary Hypertension. Nature reviews disease primers. 2024.
6. Gupta G, Pinsky MR. ¿Cuáles son las mejores herramientas para optimizar la circulación? Elsevier; 2021.
7. Rodríguez DA, Sancho Muñoz A, Rodo Pin A. Right Ventricular Response During Exercise in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Australian and New Zealand Society of Cardiac and Thoracic Surgeons and Cardiac Society of Australian and New Zealand. Elsevier; 2016.
8. Janda S, Shahidi N, Gin K, Swiston J. Diagnostic accuracy of echocardiography for pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. Heart. 2011; 97: 612–22.
9. Sebatier C, Monge I, Maynar J. Valoración de la precarga y la respuesta cardiovascular al aporte de volumen. SCIELO, Área de Críticos, Hospital de Sebadell, Barcelona España; 2002.
10. Carrillo Esper R, Tapia Velasco R. Evaluación de la precarga y respuesta a volumen mediante ultrasonografía de la vena cava. SCIELO, Asociación Mexicana de Medicina Crítica, Vol 29, Ciudad de México; 2015.
11. Tamagnone F. POCUS: Point of Care Ultra Sound, manual de ultrasonografía crítica. Editorial Corpus Libros Médicos y Científicos; 2018.
12. Janda S, Shahidi N, Gin K, Swiston J. Diagnostic accuracy of echocardiography for pulmonary hypertension: a systematic review and meta-analysis. Heart. 2011; 97: 612–22.
13. Alberto Milan et al, Test for Echocardiographic Indexes for the Non-Invasive Evaluation of Pulmonary Hemodynamics.
14. Pilar Escribano Subías , Joan Alberto Barbera , Evaluación diagnóstica y pronóstica actual de la hipertensión pulmonar, Revista Española de Cardiología Vol 63, 2016.