

Monitoreo Hemodinámico Con Capnografía Volumétrica, Durante La Anestesia General En  
Cirugía No Cardíaca.

Mario Andrés Villaveces Buelvas.

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Anestesiología y Reanimación.

Director

Dr. Saul Álvarez Robles

Especialista En Anestesiología Y Reanimación Y Especialista En Medicina Crítica Y Cuidado  
Intensivo Del Adulto

Codirector

Héctor Julio Meléndez Flórez

Anestesiólogo - Magister en Epidemiología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Salud

Escuela de Medicina

Anestesiología y Reanimación

Bucaramanga

2025

### **Dedicatoria**

A mi esposa, Sayne González Álvarez, por ser mi apoyo incondicional, mi refugio en los momentos difíciles y mi compañera fiel en cada paso de este camino. Gracias por tu paciencia, por tu amor, por tu comprensión y por creer en mí siempre.

A mi padre, Rodrigo Villaveces, por ser un ejemplo de fortaleza, disciplina y dedicación. Tu guía ha sido una luz constante en mi formación.

A mi madre, María Bernarda Buelvas González (Q.E.P.D.), cuyo amor y enseñanzas me acompañan cada día. Este logro es también tuyo, y sé que, desde el cielo, celebras conmigo este paso tan importante.

Y a todos aquellos que, con su presencia, consejos o silencios llenos de sabiduría, han dejado una huella en este proceso.

### **Agradecimientos**

A los doctores Saul Álvarez Robles y Héctor Julio Meléndez, quienes participaron arduamente en este proceso de investigación, así mismo a los docentes del posgrado en Anestesiología y Reanimación de la Universidad Industrial de Santander, que, con sus conocimientos y experiencias, han sido guías fundamentales a lo largo de este camino de formación, llevaré siempre conmigo las lecciones aprendidas y el profundo respeto por esta especialidad.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción	13
1. Planteamiento del Problema.	15
1.1 Pregunta de Investigación.	16
2. Justificación	17
3. Marco Teórico y Estado del Arte	18
3.1 Definición de Capnografía Volumétrica	18
3.2 Evolución de la Capnografía Volumétrica.	18
3.3 Capnografía Volumétrica vs Capnografía Convencional	19
3.4 Utilidad de la Capnografía Volumétrica	20
3.5 Capnografía Volumétrica y Gasto Calórico.	23
4. Objetivos	25
4.1 Objetivo General	25
4.2 Objetivos Específicos	25
5. Materiales y Métodos	26
5.1 Tipo de estudio	26
5.2 Población blanco	26
5.3 Población elegible	26
5.4 Criterios de inclusión	26
5.5 Criterios de exclusión	27
5.6 Tamaño muestral	27

5.7 Medición de Capnografía Volumétrica Bajo Anestesia.	28
5.8 Variable resultado o dependiente	28
5.9 Variables independientes	28
5.1 Metodología Y Técnica De Recolección	34
5.2 Flujograma de Selección de Pacientes.	36
6. Logística del estudio	37
6.1 Lugar de ejecución del protocolo	37
7. Cronograma	38
8. Presupuesto y financiación	39
9. Aspecto Éticos y Consentimiento Informado.	40
9.1 Tratamiento de Datos Personales	41
10. Resultados	43
10.1 Características basales y clínicas de los pacientes	43
10.2 Correlación entre Variables Hemodinámicas y Monitoreo de Capnografía Volumétrica	45
10.3 Análisis de Correlación.	46
10.4 Correlación entre producción de CO <sub>2</sub> y gasto energético.	54
11. Discusión	59
11.1 Correlación Entre El Estado Hemodinámico Y La Capnografía Volumétrica.	60
11.2 Correlación Entre La Capnografía Volumétrica Y El Gasto Energético	62
12. Conclusión	65
13. Recomendaciones	66
Referencias Bibliográficas	67
Apéndices	72

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> <i>Variables de Características Demográficas.</i>	29
<b>Tabla 2.</b> <i>Variables de Comportamiento Hemodinámico.</i>	31
<b>Tabla 3.</b> <i>Variables de Ventilatorias.</i>	33
<b>Tabla 4.</b> <i>Características Clínicas y Sociodemográficas.</i>	43
<b>Tabla 5.</b> <i>Variables Hemodinámicas y Monitoreo de Capnografía Volumétrica</i>	45
<b>Tabla 6.</b> <i>Correlación entre Capnografía Volumétrica y estado Hemodinámico.</i>	47
<b>Tabla 7.</b> <i>Requerimiento calórico según Capnografía Volumétrica</i>	54
<b>Tabla 8.</b> <i>Valores Promedio de Gasto Energético.</i>	56
<b>Tabla 9.</b> <i>Valores de normalidad.</i>	56

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> <i>Flujograma de Selección de pacientes.</i>	36
<b>Figura 2.</b> <i>Relación entre TAS y ETCO<sub>2</sub>, en el grupo estable.</i>	48
<b>Figura 3.</b> <i>Relación entre TAS y VMCO<sub>2</sub>, en el grupo estable.</i>	48
<b>Figura 4.</b> <i>Relación entre TAS y VO<sub>2</sub>, en el grupo estable.</i>	49
<b>Figura 5.</b> <i>Relación entre TAS y ETCO<sub>2</sub>, en el grupo inestable.</i>	49
<b>Figura 6.</b> <i>Relación entre TAS y VMCO<sub>2</sub>, en el grupo inestable.</i>	50
<b>Figura 7.</b> <i>Relación entre TAS y VO<sub>2</sub>, en el grupo inestable.</i>	50
<b>Figura 8.</b> <i>Relación entre TAS y ETCO<sub>2</sub>.</i>	51
<b>Figura 9.</b> <i>Relación entre TAS y VMCO<sub>2</sub>.</i>	51
<b>Figura 10.</b> <i>Relación entre TAS y VO<sub>2</sub>.</i>	52
<b>Figura 11.</b> <i>Relación entre TAM y ETCO<sub>2</sub>.</i>	52
<b>Figura 12.</b> <i>Relación entre TAM y VMCO<sub>2</sub>.</i>	53
<b>Figura 13.</b> <i>Relación entre TAM y VO<sub>2</sub>.</i>	53
<b>Figura 14.</b> <i>Correlación VMCO<sub>2</sub> y Gasto Calórico.</i>	55
<b>Figura 15.</b> <i>Correlación entre Formulas Abreviadas y Formulas de Weir.</i>	57

**Lista de Apéndices**

	<b>Pág.</b>
<b>Apéndice A.</b> <i>Presupuesto</i>	72
<b>Apéndice B.</b> <i>Cronograma de Actividades.</i>	73
<b>Apéndice C.</b> <i>Instrumento de Recolección.</i>	74
<b>Apéndice D.</b> <i>Consentimiento Informado.</i>	76

## Resumen

**Título:** Monitoreo Hemodinámico Con Capnografía Volumétrica, Durante La Anestesia General En Cirugía No Cardíaca.\*

**Autor:** Mario Andrés Villaveces Buelvas.\*\*

**Palabras Clave:** Capnografía volumétrica, Cirugía no cardíaca, Monitoreo hemodinámico.

### Descripción:

El monitoreo hemodinámico en cirugía no cardíaca ha experimentado una evolución significativa, desde métodos invasivos hacia técnicas mínimamente invasivas y, más recientemente, hacia estrategias no invasivas que priorizan la seguridad del paciente sin comprometer la precisión diagnóstica. La capnografía volumétrica (VMCO<sub>2</sub>) se perfila como una herramienta confiable para la evaluación del estado hemodinámico del paciente bajo anestesia general.

**Objetivo:** determinar el grado de correlación entre la capnografía volumétrica y el estado hemodinámico de pacientes sometidos a anestesia general para cirugía no cardíaca.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Salud. Escuela de Medicina. Anestesiología y Reanimación. Director: Dr. Saul Álvarez Robles, Especialista En Anestesiología Y Reanimación Y Especialista En Medicina Crítica Y Cuidado Intensivo Del Adulto, Asesor Metodológico: Héctor Julio Meléndez Flórez, Anestesiólogo - Magister en Epidemiología.

**Métodos:** estudio observacional, longitudinal y analítico, con una muestra de 127 pacientes, obteniéndose un total de 1,396 mediciones hemodinámicas. Se analizaron las correlaciones entre TAS, TAD, TAM y ETCO<sub>2</sub>, VMCO<sub>2</sub> y consumo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>), mediante el coeficiente de correlación de Spearman (rho).

**Resultados:** existe una correlación positiva débil entre las variables hemodinámicas y la capnografía volumétrica, la más alta se observó entre TAS y VMCO<sub>2</sub> (rho = 0.2347), mientras que la más baja se presentó entre TAM y ETCO<sub>2</sub> (rho = 0.0171), ambas con significancia estadística. Adicionalmente, se evaluó la producción de CO<sub>2</sub> y el gasto energético, obteniéndose un coeficiente de Spearman de 1.0, lo que indica una correlación perfecta, positiva y fuerte entre ambas variables.

**Conclusión:** existe una correlación entre la capnografía volumétrica y parámetros del monitoreo hemodinámico. Aunque las correlaciones no son perfectas, los resultados obtenidos son suficientemente sólidos para sustentar el desarrollo de nuevas líneas de investigación, enfocadas en el uso de técnicas estandarizadas que minimicen los sesgos y aumenten la precisión de las mediciones, las cuales podrían tener un gran impacto en la confianza diagnóstica y en la toma de decisiones clínicas por parte del anestesiólogo en el entorno quirúrgico.

### Abstract

**Title:** Hemodynamic Monitoring With Volumetric Capnography During General Anaesthesia In Non-Cardiac Surgery.\*

**Author(s):** Mario Andrés Villaveces Buelvas.\*\*

**Key Words:** Volumetric capnography, Non-cardiac surgery, Hemodynamic monitoring.

#### Description:

Hemodynamic monitoring in noncardiac surgery has undergone a significant evolution from invasive methods to minimally invasive techniques and, more recently, to noninvasive strategies that prioritize patient safety without compromising diagnostic accuracy. Volumetric capnography (VMCO<sub>2</sub>) emerges as a reliable tool for the evaluation of the hemodynamic status of the patient under general anesthesia.

**Objective:** to determine the degree of correlation between volumetric capnography and hemodynamic status in patients undergoing general anesthesia for non-cardiac surgery.

---

\* Degree Work

\*\*School of Health. School of Medicine. Anesthesiology and Reanimation. Director: Dr. Saul Alvarez Robles, Specialist in Anesthesiology and Resuscitation and Specialist in Critical Care Medicine and Adult Intensive Care, Methodological Advisor: Hector Julio Melendez Florez, Anesthesiologist - Master in Epidemiology.

**Methods:** observational, longitudinal and analytical study, with a sample of 127 patients, obtaining a total of 1,396 hemodynamic measurements. Correlations between TAS, TAD, TAM and  $\text{ETCO}_2$ ,  $\text{VMCO}_2$  and  $\text{O}_2$  consumption ( $\text{VO}_2$ ) were analyzed using Spearman's correlation coefficient ( $\rho$ ).

**Results:** there is a weak positive correlation between hemodynamic variables and volumetric capnography, the highest was observed between TAS and  $\text{VMCO}_2$  ( $\rho = 0.2347$ ), while the lowest was between TAM and  $\text{ETCO}_2$  ( $\rho = 0.0171$ ), both with statistical significance. Additionally,  $\text{CO}_2$  production and energy expenditure were evaluated, obtaining a Spearman coefficient of 1.0, indicating a perfect, positive and strong correlation between both variables.

**Conclusion:** there is a correlation between volumetric capnography and hemodynamic monitoring parameters. Although the correlations are not perfect, the results obtained are sufficiently solid to support the development of new lines of research, focused on the use of standardized techniques that minimize biases and increase the accuracy of measurements, which could have a great impact on diagnostic confidence and clinical decision making by the anesthesiologist in the surgical setting.

## Introducción

La capnografía volumétrica (VMCO<sub>2</sub>) se ha desempeñado como una herramienta fundamental para el monitoreo hemodinámico de los pacientes bajo ventilación mecánica en unidades de cuidados intensivos, mejorando la precisión en el diagnóstico de alteraciones pulmonares y hemodinámicas, y ha demostrado tener un impacto significativo en la toma de decisiones para el manejo de pacientes críticos, sin embargo, no hay suficiente evidencia sobre su efectividad en cirugía no cardíaca.

Teniendo en cuenta que el monitoreo hemodinámico es crucial para la seguridad del paciente en cirugía y que los métodos tanto invasivos como no invasivos presentan limitaciones y riesgos, la capnografía volumétrica, que mide la relación entre el CO<sub>2</sub> espirado y el volumen espirado, se propone como una alternativa fiable para monitorear el estado hemodinámico en pacientes bajo anestesia general y ventilación mecánica invasiva en cirugía no cardíaca.

El uso de la capnografía volumétrica como monitoreo ofrece un perfil de seguridad superior a otras alternativas al no requerir intervenciones adicionales.

Al medir el CO<sub>2</sub> espirado en relación con el volumen espirado, esta técnica podría ofrecer una forma fiable y segura, el reflejo de variaciones y evolución del flujo sanguíneo pulmonar y, por ende, la estabilidad hemodinámica, sin requerir intervenciones adicionales.

En este trabajo de investigación se evaluó la correlación entre el estado hemodinámico y la capnografía volumétrica en pacientes adultos bajo anestesia general para cirugía no cardíaca. La importancia de este estudio radica en la escasez de evidencia en el contexto intraoperatorio, ya que la literatura actual se centra principalmente en su uso en unidades de cuidados intensivos, a pesar de como muchas estaciones de trabajo en anestesia cuentan con este recurso. Se considera que esta

investigación servirá como base para futuros estudios en anestesiología, ofreciendo una alternativa viable y segura para el monitoreo hemodinámico intraoperatorio y mejorando la seguridad del paciente quirúrgico, disminuyendo costos al sistema de salud e influyendo de manera significativa en la toma de decisiones en el paciente quirúrgico.

## **1. Planteamiento del Problema.**

El monitoreo hemodinámico constituye una parte esencial de la seguridad del paciente en quirófanos, actualmente la mayoría de los pacientes sometidos a cirugía no cardíaca son monitorizados con medición de presión arterial no invasiva mediante esfigmomanómetro y cardiovisoscopio, y según los requerimientos del procedimiento y riesgos derivados de la historia clínica del paciente se usa catéter de línea arterial para el monitoreo hemodinámico continuo; sin embargo ya sea los métodos no invasivos o los métodos invasivos, tienen limitaciones y riesgo durante su uso o colocación, lo que ulteriormente impactará en el pronóstico del paciente y en costo efectividad asociada a la atención de los pacientes.

Por lo tanto, la medición de la capnografía volumétrica, la cual relaciona el CO<sub>2</sub> espirado frente al volumen minuto espirado del paciente, que algunas unidades de trabajo de anestesia incorporan, usada como monitoreo de rutina en anestesia general, puede representar una alternativa fiable para el monitoreo del estado hemodinámico de los pacientes sometidos a anestesia general con ventilación mecánica invasiva en cirugía no cardíaca.

Existe evidencia que apoya el uso de capnografía volumétrica para evaluar el estado hemodinámicos de los pacientes en cuidados intensivos y han sido comparados con métodos que utilizan la termodilución para el cálculo del volumen sistólico y por ende del gasto cardíaco(Weil et al., 1985), sin embargo, en el contexto intraoperatorio de cirugía no cardíaca no hay evidencia que soporte su utilidad para monitorizar el estado hemodinámico del paciente, debido a esto se considera la capnografía volumétrica como una alternativa más de monitoreo hemodinámico

La capnografía volumétrica como monitoreo hemodinámico ofrece un mejor perfil de seguridad, ya que no requiere intervenciones adicionales para su medición, puesto que las máquinas de anestesia (DRAGER – Primus) con las que cuenta el Hospital Universitario de Santander, permiten este tipo de medición, esto representa una oportunidad para brindar al anestesiólogo un método de monitoreo hemodinámico para manejo intraoperatorio del paciente bajo anestesia general.

### **1.1 Pregunta de Investigación.**

¿Qué grado de correlación existe entre el estado hemodinámico y la capnografía volumétrica en los pacientes bajo anestesia general?

### **Estrategia PICO**

**POBLACIÓN:** Pacientes adultos, bajo anestesia general sometidos a ventilación mecánica invasiva

**INTERVENCIÓN:** Capnografía volumétrica.

**COMPARACIÓN:** Comportamiento de variables hemodinámicas

**OUTCOME:** Correlación directa.

## 2. Justificación

Actualmente el monitoreo hemodinámico y de la ventilación en el paciente bajo anestesia es un estándar de atención, tal como se describe en la actualización de Standards for Basic Anesthetic Monitoring del año 2020 de la ASA. (7); teniendo en cuenta que la capnografía volumétrica representa una medida indirecta de la perfusión pulmonar y por tanto se correlaciona con la estabilidad hemodinámica del paciente, se postula como una variable adicional de monitoreo hemodinámico intraoperatorio bajo anestesia general. Las máquinas de anestesia DRAGER Primus del Hospital Universitario de Santander cuentan con la herramienta de medición de la capnografía volumétrica ya incorporada, lo que es sin duda una ventaja en cuanto a la disponibilidad de la tecnología para la medición de este parámetro y no representa un costo adicional en el tratamiento de pacientes quirúrgicos. De otro lado, es importante recalcar que la literatura disponible a nivel regional y nacional acerca de la capnografía volumétrica centra su campo de acción en las unidades de cuidados intensivos y no existe literatura en la que se haya descrito su uso en quirófano. Estas consideraciones nos motivaron a realizar investigación que resalte el impacto en la seguridad del paciente quirúrgico, la utilización de esta tecnología, así como, sustento de tesis de grado de la especialidad en Anestesiología y Reanimación, y posibilite o promueva, el desarrollo de nuevas investigaciones que generen recomendaciones en la práctica clínica, a nivel institucional y en la comunidad médica en general.

### **3. Marco Teórico y Estado del Arte**

#### **3.1 Definición de Capnografía Volumétrica**

La capnografía volumétrica (VMCO<sub>2</sub>), consiste en una representación gráfica de la presión parcial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) frente al volumen espirado, la cual se puede realizar de forma no invasiva utilizando una combinación de sensores de flujo y CO<sub>2</sub>, que se conectan juntos en la pieza en Y del circuito del ventilador, esta puede brindar mucha más información que capnografía convencional. (3)

#### **3.2 Evolución de la Capnografía Volumétrica.**

En 1990 Joseph P Ornato et al, realizaron experimentos en animales bajo anestesia general con intubación orotraqueal, a los cuales se les midió gasto cardiaco por termodilución y estas mediciones se compararon con el comportamiento del CO<sub>2</sub> espirado y se estableció una relación logarítmica clínicamente significativa entre estas variables (21), así mismo se ha mantenido el interés en el uso de la capnografía como método de monitoreo hemodinámico incluso durante la reanimación de una parada cardiaca (11) , y con el advenimiento de ventiladores mecánicos en UCI y máquinas de anestesia, cuyos sensores permiten medir el volumen espirado y el CO<sub>2</sub> espirado de manera simultánea, ha surgido la capnografía volumétrica como método de monitoreo hemodinámico en la unidad de cuidados intensivos demostrándose una mejor correlación entre esta y la hemodinamia del paciente critico (28) (22), ya en 2019, Peter Kremeier et al. establece una correlación cuantitativa más que cualitativa (como lo es respecto a la capnografía

convencional) entre el estado hemodinámico del paciente y la capnografía volumétrica, a día de hoy la capnografía volumétrica es de gran importancia en el monitoreo hemodinámico, la optimización de la ventilación mecánica en el paciente crítico (25) (1), sin embargo en el ámbito de la anestesia esta herramienta aún tiene mucho más que brindar para la seguridad del paciente y su pronóstico.

### **3.3 Capnografía Volumétrica vs Capnografía Convencional**

A diferencia de la capnografía convencional, la capnografía volumétrica aporta información sobre el metabolismo (gasto energético), la función cardiovascular, la ventilación y la relación ventilación/perfusión (3)

En la capnografía convencional, la cual consiste en medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> espirado en el tiempo y representar los cambios de esta en el tiempo durante la ventilación del paciente, tenemos que tener en cuenta que el gas espirado contiene CO<sub>2</sub> procedente de 3 compartimentos principalmente: la fase I corresponde al gas procedente del aparato y del espacio muerto anatómico, la fase II representa el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> resultante del vaciado progresivo de los alvéolos y la fase III es el gas alveolar (5), por otra parte la capnografía volumétrica gracias a la combinación de tecnología avanzada de monitorización del flujo en las vías respiratorias y capnografía corriente permite el cálculo no invasivo a pie de cama, respiración a respiración, de la eliminación de dióxido de carbono por respiración (5), más específicamente la pendiente de la fase III del capnograma espirado trazado como función del volumen corriente espirado, esto ha tenido utilidad en la medición del espacio muerto anatómico mediante la

extrapolación aumento de  $VCO_2$  con el volumen exhalado, lo cual ha encontrado correlación directa con el estado hemodinámico del paciente en situaciones específicas (5).

### **3.4 Utilidad de la Capnografía Volumétrica**

Los cambios en el flujo sanguíneo del capilar pulmonar son proporcionales a los cambios en la capnografía volumétrica (28), y de la misma manera pueden estar relacionados con el estado hemodinámico del paciente en condiciones en las cuales la producción de  $CO_2$  corporal y la ventilación permanezcan estables, observándose también cambios de esta cuando hay variaciones en gasto cardíaco y de la perfusión pulmonar (3)

La utilidad de la capnografía volumétrica ha sido objeto de estudio en varios ámbitos de la medicina, su uso como herramienta de monitoreo se ha popularizado, basándose en su relación con la homeostasis del intercambio gaseoso, el metabolismo tisular y el estado hemodinámico del paciente (13)

El uso de la capnografía volumétrica para el monitoreo metabólico está sustentado en que los tejidos corporales se alimentan de oxígeno y nutrientes que se metabolizan en energía (trifosfato de adenosina-ATP) y productos de desecho como  $CO_2$  y agua, la producción normal de  $CO_2$  en un adulto en reposo oscila entre 100 y 300 mL/min y se reduce en un 15-20% en pacientes ventilados mecánicamente bajo sedación intensa o anestesia general, este es producido por las células y se almacena en los tejidos corporales en forma de gas, solución física y reacciones químicas consecuentes, posteriormente difunde en la circulación dependiendo del gradiente de presión parcial de  $CO_2$  entre las células y la sangre capilar (20). En los diversos compartimentos corporales existen diferentes concentraciones de  $CO_2$  relacionadas con la tasa tanto de producción

local como de flujo sanguíneo local por lo que cambios rápidos en la ventilación y la perfusión afectan las concentraciones de CO<sub>2</sub> en mayor medida en los tejidos muy perfundidos, mientras que en los tejidos poco perfundidos se observan cambios en menor medida (13), sin embargo, situaciones como un estímulo doloroso en un paciente ventilado aumenta no sólo la producción de CO<sub>2</sub> sino también los parámetros hemodinámicos por estimulación simpática que mueve más moléculas de CO<sub>2</sub> de los almacenes corporales a los pulmones, lo cual representa una limitación importante para la utilidad de la capnografía volumétrica como monitoria en esta tipo de situaciones (13)

Por otra parte con respecto a monitoreo hemodinámico, el flujo de moléculas de CO<sub>2</sub> en sangre, así como el aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos, dependerá de su contenido en sangre y del gasto cardíaco, además de esto se debe tener en cuenta que las moléculas de CO<sub>2</sub> llegan a los alvéolos a través de la perfusión pulmonar o del gasto cardiaco del corazón derecho, esto denota una estrecha dependencia entre la eliminación de CO<sub>2</sub> y el flujo sanguíneo pulmonar (23); este vínculo entre la perfusión pulmonar y la eliminación de CO<sub>2</sub> explica el papel de la capnografía estándar para el diagnóstico de eventos hemodinámicos y para la monitorización de la calidad de las maniobras de RCP, la cual brinda información cualitativa, mientras que la capnografía volumétrica brinda información cuantitativa de la hemodinamia del paciente (13).

Adicionalmente el monitoreo de la respiración se basa en el principio de que el objetivo principal del sistema respiratorio es el intercambio gaseoso, que depende de la perfusión capilar pulmonar, la difusión y la ventilación. Estos tres procesos interactúan de forma simultánea y coordinada, lo que se explica por el concepto de relación ventilación/perfusión (V/Q). Una relación V/Q de referencia de "1" significa que tanto la perfusión como la ventilación están emparejadas entre sí y, por lo tanto, la difusión permite una oxigenación óptima y una adecuada eliminación de

CO<sub>2</sub> de la sangre capilar. Cualquier desajuste en la relación V/Q puede modificar potencialmente la PaO<sub>2</sub> y la PaCO<sub>2</sub>, provocando hipoxemia por el efecto shunt ( $V/Q < 1$  a 0) o hipercapnia por el efecto de espacio muerto ( $V/Q > 1$  a  $\infty$ ). El shunt está causado por enfermedades que disminuyen la ventilación alveolar pero mantienen la perfusión pulmonar como la atelectasia, la neumonía o el SDRA entre otras. Las enfermedades causantes de aumento en espacio muerto son aquellas que disminuyen la perfusión pulmonar (embolia pulmonar, hipotensión arterial, hipovolemia) pero manteniendo normal o aumentada la ventilación alveolar, en este contexto hay que tener en cuenta que estas patologías podrían ser limitaciones para una correlación adecuada entre la capnografía volumétrica y las variables hemodinámicas del paciente (12).

La evidencia científica ha demostrado la utilidad de la capnografía volumétrica mostrando su relación con el estado hemodinámico del paciente, desde modelos animales bajo ventilación mecánica en los que se han observado que los cambios en el flujo sanguíneo y la presión de la arteria pulmonar modificaron en gran medida la forma del capnograma volumétrico, además el aumento de las presiones arteriales pulmonares y del gasto cardiaco, condujo a aumentos paralelos de las pendientes de la fase III, así como también gastos cardiacos más bajos dieron lugar a una menor cantidad de CO<sub>2</sub> eliminado durante un ciclo respiratorio (19), (27).

La evidencia en humanos ha demostrado la correlación entre la capnografía y la respuesta a fluidos y ha mostrado mejor rendimiento comparándolo con otros índices utilizados como presión arterial media, presión sistólica y variabilidad de pulso, teniendo las limitaciones propias de las alteraciones pulmonares como alteraciones ventilación/perfusión, ventilatorias como el uso de modos no controlados o cardiacas como arritmias, que alteran dicha relación (14).

En Santander esto ha sido objeto de interés en el área de la unidad de cuidados intensivos con el objetivo de correlacionar sus cambios con el estado hemodinámico del paciente, sin

embargo no se habían enfocado estudios en el uso de la capnografía volumétrica en quirófano y sus implicaciones en el monitoreo intraoperatorio del paciente bajo anestesia general (2)

### **3.5 Capnografía Volumétrica y Gasto Calórico.**

El consumo energético total en humanos depende de 3 componentes, la tasa metabólica basal, el efecto térmico de la alimentación y la termogénesis producida por la actividad física, estas variables pueden ser afectadas por el estado del paciente, ya sea comorbilidades o patología agudas, puede verse también afectado por medicamentos y por situaciones específicas que aumenten el metabolismo basal como el dolor y el estrés quirúrgico (16).

Para la medición del consumo energético, la calorimetría indirecta se ha posicionado como el Gold estándar en el escenario clínico, esta medición se basa en el uso del consumo de consumo de oxígeno y/o producción de CO<sub>2</sub> para el cálculo del gasto energético mediante la formula modificada de Weir, Gasto Calórico (kcal/día)=  $(3.94 \times VCO_2(\text{mL}/\text{min}) + 1.11 \times VO_2(\text{mL}/\text{min})) \times 1.44$  (Haugen et al., 2007), en el ámbito de la anestesia, Briesenick, Luisa et al. lograron establecer que el consumo energético de un paciente bajo anestesia general era hasta de una cuarta parte del paciente despierto (Briesenick et al., 2023), así mismo se ha demostrado que su medición en el paciente critico ha disminuido la mortalidad (24), así mismo la medición del gasto energético mediante la capnografía volumétrica ha demostrado ser útil para evaluar el grado de estrés generado por el daño tisular en el postoperatorio inmediato de los paciente sometidos a cirugía no cardiaca (4), por lo cual se consideró que la medición intraoperatoria mediante el uso de la capnografía volumétrica y el consumo de oxígeno medidas por la máquina de anestesia, tendrá una importante influencia en el manejo perioperatorio de los pacientes sometidos a cirugía no cardiaca.

Conociendo todas las bases fisiológicas y la evidencia que soporta la relación entre variables hemodinámicas comúnmente medidas y la capnografía volumétrica se consideró que la capnografía volumétrica tiene el potencial de ser una herramienta adicional útil, viable y costo efectiva para el monitoreo de los pacientes bajo anestesia general en el Hospital Universitario de Santander.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo General**

Determinar el grado de correlación entre capnografía volumétrica y estado hemodinámico.

### **4.2 Objetivos Específicos**

Describir las características clínicas y sociodemográficas de la población de estudio.

Describir el grado de correlación entre capnografía volumétrica y las variables hemodinámicas.

Describir el grado de correlación entre producción de CO<sub>2</sub> y gasto energético.

## **5. Materiales y Métodos**

### **5.1 Tipo de estudio**

Observacional – longitudinal y analítico.

### **5.2 Población blanco**

Pacientes quirúrgicos del Hospital universitario de Santander.

### **5.3 Población elegible**

Pacientes adultos bajo anestesia general y ventilación mecánica invasiva en modo controlado.

### **5.4 Criterios de inclusión**

- Pacientes bajo anestesia general
- Pacientes mayores de 18 años

Pacientes que se encuentren bajo ventilación mecánica invasiva con máquina de anestesia DRAGER primus en salas de cirugía del Hospital Universitario de Santander.

### 5.5 Criterios de exclusión

- Pacientes con patología pulmonar diagnosticada, neumopatía crónica.
- Pacientes bajo anestesia general, ventilados con volúmenes corrientes mayores a 8 ml/kg de peso ideal.
- Pacientes bajo anestesia general, con intubación selectiva.
- Pacientes con diagnóstico preoperatorio o intraoperatorios de arritmias cardiacas.
- Pacientes con diagnóstico de hipertensión pulmonar.

### 5.6 Tamaño muestral

Tomando en consideración que no existen reportes consistentes en la literatura, la correlación entre la estabilidad hemodinámica y la capnografía volumétrica varía entre el 0.6 y 0.75 y teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

Correlación a detectar: 0,70

Poder del 80% y una

Confianza del 95%

Tamaño Muestral: 104 participantes y considerando

Perdidas: 15% de perdidas, en

Total el tamaño muestral = 120 participantes de la investigación.

### **5.7 Medición de Capnografía Volumétrica Bajo Anestesia.**

La máquina de anestesia Draguer Primus cuenta con una herramienta ya incorporada, para medir la capnografía volumétrica en el tiempo, a partir de la rama espiratoria del circuito anestésico del participante de la investigación y la muestra en la interfaz de la máquina de anestesia, este parámetro junto con toda la monitoria básica como frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, presión arterial sistólica, diastólica, y presión arterial media, parámetros ventilatorios como volumen corriente, CO<sub>2</sub> espirado, PEEP, FiO<sub>2</sub>, así como variables sociodemográficas, información del estado clínico del participante de la investigación y a juicio del anesthesiólogo a cargo, se usaron para calcular riesgos anestésicos y así mismo se registraron todos estos parámetros y sus variaciones en el tiempo en el instrumento establecido para esto (ver apéndice C), una vez obtenidos los datos de los participantes de la investigación fueron sometidos a un análisis de datos para evaluar el grado de correlación entre todas estas variables y la capnografía volumétrica.

### **5.8 Variable resultado o dependiente**

Capnografía Volumétrica: relación de presión parcial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) frente al volumen espirado en el tiempo medida mediante la máquina de anestesia Draguer Primus.

### **5.9 Variables independientes**

Saturación de oxígeno, tensión arterial sistólica, tensión arterial diastólica, tensión arterial media, frecuencia cardiaca, CO<sub>2</sub> espirado, consumo de oxígeno, volumen corriente, volumen

minuto, presión de la vía aérea, uso de vasopresor, líquidos administrados, diuresis, edad, comorbilidades, peso, talla, sexo, tipo de anestesi

**Tabla 1.**

*Variables de Características Demográficas.*

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificación</b>	<b>Relación entre variables</b>
<b>Edad</b>	Tiempo transcurrido en años cumplidos hasta el momento del ingreso al estudio	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa de razón en años	Números absolutos	Independiente
<b>Sexo</b>	Sexo al que corresponde el participante de la investigación que ingresa al estudio	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa nominal	Masculino - Femenino	Independiente
<b>Peso</b>	Peso del participante de la investigación referido por el mismo o estimado por el anestesiólogo	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa en Kilogramos	Números absolutos	Independiente
<b>Talla</b>	Talla del participante de la investigación referido por el mismo o estimado por el anestesiólogo	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa en centímetros	Números absolutos	Independiente
<b>Antecedentes</b>	Antecedentes previos del participante de la investigación	Registrada en el instrumento	Cualitativa nominal	Nombre de los antecedentes previos de los	Independientes

Variable	Conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Codificación	Relación entre variables
		de recolección de datos.		participantes de la investigación	
<b>Diagnóstico</b>	Diagnóstico principal del participante de la investigación.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa nominal	Nombre del Diagnóstico con el que ingresó a sala de cirugía	Independiente
Tipo de anestesia	Tipo de anestesia registrado en récord de anestesia.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa nominal	Nombre del tipo de anestesia general que se le aplico al participante de la investigación.	Independiente.
Tiempo anestésico	Tiempo durante el cual el participante de la investigación se encontraba bajo anestesia general.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta.	Números absolutos.	Independiente.
Tipo de monitoreo	Monitoreo usado durante el procedimiento quirúrgico	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa nominal	Nombre del tipo de monitoreo usado durante el procedimiento quirúrgico.	Independiente.
Riesgos anestésicos	Riesgos anestésicos medidos mediante escalas validadas para	Registrada en el instrumento	Cualitativa nominal	Nombre de las escalas de riesgo anestésico y el	Independiente.

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificación</b>	<b>Relación entre variables</b>
	diferentes tipos de complicaciones postoperatorias.	de recolección de datos.		puntaje correspondiente para el participante de la investigación	

**Tabla 2.** *Variables de Comportamiento Hemodinámico.*

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificación</b>	<b>Relación entre variables</b>
<b>Capnografía volumétrica</b>	Cantidad de CO2 espirado por la ventilación minuto.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta	Números absolutos.	Dependiente.
<b>Saturación de O2</b>	Medida de la saturación de oxígeno en sangre medida por pulsioximetría.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta	Números absolutos.	Independiente.
<b>Tensión arterial sistólica</b>	Presión de la sangre en la arteria durante la sístole en mmHg.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua.	Números absolutos.	Independiente.

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificación</b>	<b>Relación entre variables</b>
<b>Tensión arterial diastólica</b>	Presión de la sangre en la arteria durante la diástole en mmHg.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua.	Números absolutos.	Independiente.
<b>Tensión arterial media</b>	1/3 de la presión sistólica + 2/3 de la presión diastólica registrado en cardoivisoscopio, en mmHg.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua.	Números absolutos.	Independiente.
<b>Frecuencia cardiaca</b>	Número de latidos del corazón en un minuto.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua.	Números absolutos.	Independiente.
<b>CO2 espirado</b>	Cantidad de Co2 medido en cada ciclo respiratorio, en mmHg.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa Discreta	Números absolutos.	Independiente.
<b>Paciente hemodinámica mente estable</b>	participante de la investigación con presión sistólica >90mmHg sin requerimiento vasopresor.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa Nominal	Si/No	Independiente.

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificación</b>	<b>Relación entre variables</b>
<b>Paciente hemodinámica mente inestable</b>	participante de la investigación con presión sistólica menor de 90mmHg.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cualitativa Nominal	Si/No	Independiente.

**Tabla 3.**

*Variables de Ventilatorias.*

<b>Variable</b>	<b>Conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Codificaci ón</b>	<b>Relación entre variables</b>
<b>Volumen corriente</b>	Volumen espirado por el participante de la investigación en cada respiración medido por la máquina de anestesia en mililitros.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta.	Números absolutos.	Independiente.
<b>Consumo de oxígeno</b>	Cantidad de <i>oxígeno</i> consumido por minuto, en mililitros de oxígeno por minuto.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua	Números absolutos.	Independiente.
<b>Volumen minuto</b>	Volumen corriente por respiraciones por minuto del participante de la	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta.	Números absolutos.	Independiente.

Variable	Conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Codificación	Relación entre variables
	investigación en mililitros por minuto.				
<b>Presión pico en la vía aérea.</b>	Presión máxima ejercida por el aire sobre la vía aérea.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa discreta.	Números absolutos.	Independiente.
<b>PEEP</b>	Presión positiva al final de la espiración programada en la máquina de anestesia.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua	Números absolutos.	Independiente.
<b>FiO2</b>	Fracción inspirada de oxígeno suministrada al participante de la investigación por la máquina de anestesia.	Registrada en el instrumento de recolección de datos.	Cuantitativa continua	Números absolutos.	Independiente.

### 5.1 Metodología Y Técnica De Recolección

Los participantes adultos en el Hospital Universitario de Santander, que iban a ser sometidos a cirugía no cardíaca bajo anestesia general y que cumplían criterios de inclusión y no tenían criterios de exclusión, se les brindaba la información acerca del estudio que se iba a realizar y se les explico todo lo relacionado a la protección de datos personales, una vez el participante entendió todo esto se les solicito la firma del consentimiento informado (Apéndice D) a él y a un testigo.

La recolección de la información la realizo el residente de anestesiología investigador con el apoyo del docente anesthesiologo asignado.

Una vez el paciente se encontraba bajo ventilación mecánica invasiva, los datos de las variables hemodinámicas se consignaron en el formato de instrumento de datos diseñado por el equipo investigador que contienen las variables independientes y la variable dependiente.

Sitio de ejecución: Hospital Universitario de Santander, Bucaramanga.

Tiempo de ejecución del proyecto: 2 años.

Formato o instrumento de recolección de datos: (Apéndice C).

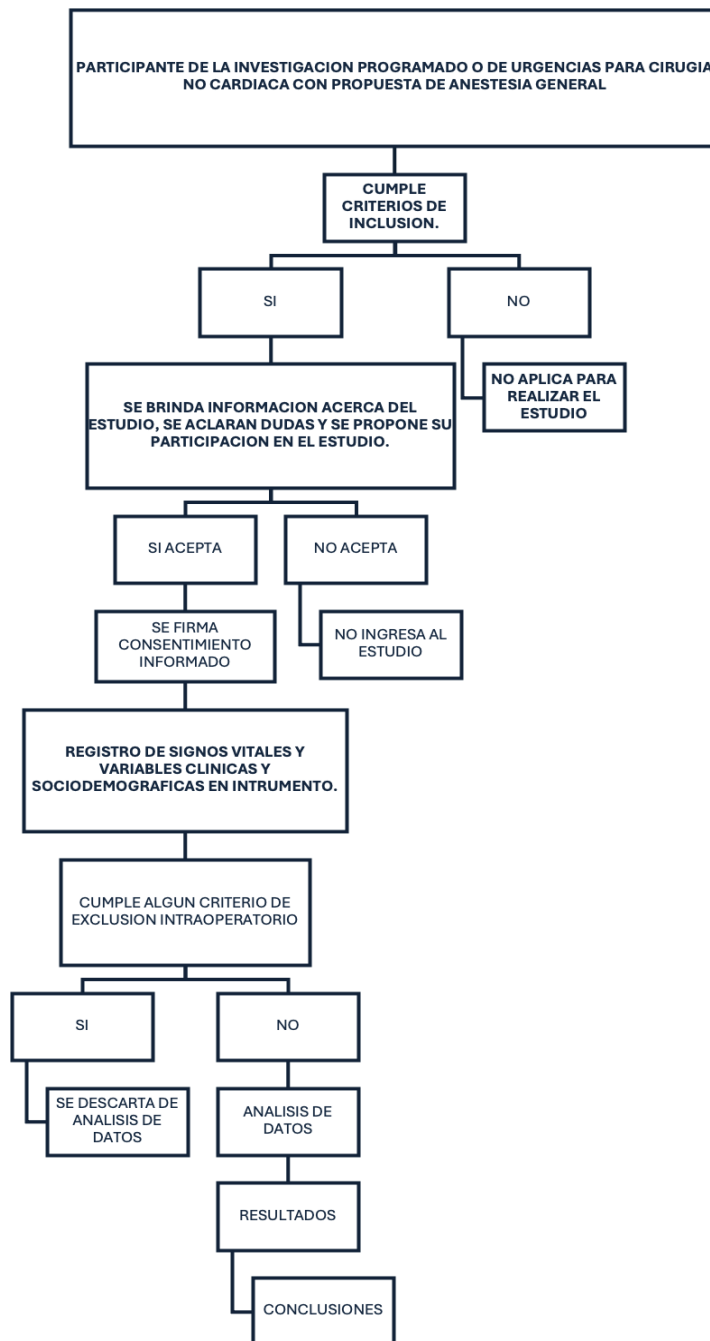
Posteriormente se creó una base de datos en Excel y se exportó a Stata para su análisis final. Las variables cualitativas ya sean nominales u ordinales se resumen mediante frecuencias absolutas y frecuencias relativas, para las continuas medidas de tendencia central y de dispersión, si aplica reportamos los IC 95%. Inicialmente se evaluó su distribución con el fin de determinar el coeficiente de correlación a usar. Si presentaban distribución normal se reportó la relación a través del coeficiente de correlación de Pearson en caso contrario utilizamos Spearman. Adicionalmente se reportó IC 95% cuando hubo necesidad. Un valor de  $p < 0,005$  se consideró para su significancia estadística.

Para la estimación de la correlación en el análisis bivariado se tendrá en cuenta que la variable dependiente será los datos aportados por la capnografía volumétrica y las variables independientes las otras variables hemodinámicas como, tensión arterial sistólica, tensión arterial diastólica, tensión arterial media, CO2 expirado, consumo de oxígeno y estabilidad hemodinámica definida como  $TAS > 90$  mmHg para el grupo estable y  $TAS < 90$  mmHg para el grupo inestable.

5.2 Flujograma de Selección de Pacientes.

Figura 1.

Flujograma de Selección de pacientes.



## **6. Logística del estudio**

### **6.1 Lugar de ejecución del protocolo**

Hospital Universitario de Santander (HUS).

## **7. Cronograma**

Inicio: Mayo de 2022 Finalización: Abril 2025

Toma de datos: Meses de Mayo 2024 y Diciembre de 2024

Tiempo de duración del estudio: 35 meses (Apéndice B)

## 8. Presupuesto y financiación

Protocolo y Discusión: Mario Andrés Villaveces Buelvas, investigador principal, Dr. Saul Álvarez Robles, Director del proyecto, Dr. Héctor Julio Meléndez, Codirector y Asesor Metodológico.

Recolección de datos: Mario Andrés Villaveces Buelvas, Investigador principal.

Análisis Estadístico, Dr. Héctor Julio Meléndez, Codirector y Asesor Metodológico.

Publicación: Mario Andrés Villaveces Buelvas, investigador principal, Dr. Saul Álvarez Robles, Director del proyecto, Dr. Héctor Julio Meléndez, Codirector y Asesor Metodológico.

Recursos: Los recursos para la financiación del estudio estuvieron a cargo del investigador principal. No se ofrecieron estímulos económicos a los pacientes participantes. (Apéndice A)

### **9. Aspecto Éticos y Consentimiento Informado.**

Según lo establecido en el artículo 11 de la Resolución 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, la presente investigación es catalogada como una investigación sin riesgo, pues se trata de un estudio observacional, corte transversal que realizará la evaluación de la capnografía volumétrica en pacientes bajo anestesia general en cirugía no cardíaca así mismo se obtendrán otros datos de historia clínica de interés, no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio. Dentro del algoritmo de manejo propuesto se realizará previo a la participación un consentimiento informado verbal y escrito en el cual se explicará la participación en el estudio, como se estipula en la Declaración de Helsinki, última revisión establecida en el marco de la 64ª Asamblea General de la Asociación Médica Mundial, Fortaleza, Brasil, en octubre de 2013 y la Resolución 8430/93 del Ministerio de Salud de Colombia.

Al tratarse de una investigación sin riesgo se respetará los principios básicos en Medicina de la siguiente manera:

**Autonomía:** La participación del paciente en el estudio será su propia elección, sin que se interfiera en el curso del tratamiento definitivo por el que el paciente consulta; además se llevará a cabo el diligenciamiento del consentimiento informado donde se explicará la razón y utilidad de su participación así como también al procedimiento al que será sometido y los eventuales efectos que estos pudieran desencadenar.

**No maleficencia:** La consulta y la valoración preanestésica es una práctica universalmente aceptada en el ejercicio de la profesión médica en diferentes escenarios y no desencadena efectos

adversos ni complicaciones adicionales a las de los procedimientos quirúrgicos a los cuales se someterán los pacientes según su naturaleza (cirugía de urgencia o electiva)

Justicia: La participación de los pacientes se hará aplicándoles los criterios de inclusión con igualdad de condiciones sin tener ninguna discriminación así como tampoco recibirán compensación de ningún tipo por participar en el estudio. Adicionalmente se aclara que el protocolo del presente estudio antes de su ejecución se sometieron a la aprobación del Comité de Ética en Investigación Científica de la Universidad Industrial de Santander, el Comité de Ética en Investigación Científica (CIENCI), El Comité de Ética en Investigación – CEI y el Comité Técnico Científico de Investigación – CTCI de la ESE Hospital Universitario de Santander.

### **9.1 Tratamiento de Datos Personales**

Los datos personales obtenidos del instrumento se manejarán bajo lo estipulado en la Ley 1581 de 2012 que tiene por objeto desarrollar el derecho constitucional que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos, y los demás derechos, libertades y garantías constitucionales a que se refiere el artículo 15 de la Constitución Política; así como el derecho a la información consagrado en el artículo 20 de la misma, garantizándose la intimidad y confidencialidad de la información personal, la cual será utilizada solo por los investigadores a cargo, restringiéndose el acceso a la misma a cualquier otra persona ajena a la investigación. Para garantizar la confidencialidad, en la base de datos, cada historia clínica tendrá un consecutivo y se evitará registrar nombre del paciente, los datos se almacenaran en un base de datos privada a la cual solo tendrán acceso los investigadores y será custodiada por el investigador principal Mario Andrés Villaveces Buelvas

durante máximo 1 año posterior a la finalización de la recolección de datos, Adicionalmente los investigadores asociados al estudio cuentan con la capacitación de “Protección de los participantes humanos de la investigación” dictada por el NIH.

## 10. Resultados

Durante un periodo de 8 meses comprendido desde mayo del 2024 hasta diciembre del 2024, se logró completar la muestra propuesta con un 20% superior a la muestra calculada sin pérdidas. Llegando a 127 pacientes quienes cumplieron criterios de inclusión y no presentaban exclusión ni en el preoperatorio ni en el intraoperatorio. Se obtuvieron 1396 mediciones hemodinámicas con un promedio de 12 mediciones por paciente y con tiempo promedio del acto anestésico quirúrgico de 100.3 minutos.

### 10.1 Características basales y clínicas de los pacientes

Del total de la muestra, el promedio de edad fue 48.02 años, con predominio del sexo femenino (50.3%), la HTA fue la comorbilidad más frecuente (18,8%), seguida por Diabetes mellitus en un 11.02% y por estado físico el ASA 1 predominó con un 38.58%, la Anestesia general balanceada fue la más utilizada (98%), en un 48.03% corresponden a cirugías menores, 37% mayores y complejas 14.9%, el resto de las características Sociodemográficas y clínicas de la muestra del estudio pueden verse en la tabla No. 4.

#### Tabla 4.

*Características Clínicas y Sociodemográficas.*

Variable	Promedio (DS)	Min. - Max
Edad (años)	48,02 (17,14)	19 -87
Tiempo Qx (Minutos)		

<b>Variable</b>	<b>Promedio (DS)</b>	<b>Min. - Max</b>
	<b>No</b>	<b>Fr</b>
<b>Sexo</b>		
<b>Hombre</b>	63	49,60%
<b>Mujer</b>	64	50,30%
<b>Comorbilidad</b>		
<b>HTA</b>	24	18.8%
<b>DM</b>	14	11.02%
<b>Neumopatía</b>	18	14,16%
<b>Tiroides</b>	12	9.44%
<b>Cáncer</b>	8	6.29%
<b>Enf. Coronaria</b>	3	2.36%
<b>Enf. Renal Crónica</b>	2	1.57%
<b>Convulsiones</b>	2	1.57%
<b>Otros</b>	10	7.87%
<b>Clasificación de la Cx</b>		
<b>Menor</b>	61	48,03%
<b>Mayor</b>	47	37,00%
<b>Compleja</b>	19	14,90%
<b>Clasificación ASA</b>		
<b>ASA 1</b>	49	38,58%
<b>ASA 2</b>	46	36,22%
<b>ASA 3</b>	29	22,83%
<b>ASA 4</b>	3	2,36%
<b>Tipo De Anestesia</b>		
<b>Gral. Balanceada</b>	125	98,40%

Variable	Promedio (DS)	Min. - Max
TIVA	2	1,60%
<b>Total</b>	127	100,00%

## 10.2 Correlación entre Variables Hemodinámicas y Monitoreo de Capnografía Volumétrica

Para el análisis de la correlación entre el estado hemodinámico y la capnografía volumétrica, inicialmente analizamos si estas variables presentaban distribución normal utilizando prueba de Shapiro-Wilk, la cual indicó que las variables TAS, ETCO<sub>2</sub> y VMCO<sub>2</sub> se desvían significativamente de la normalidad ( $W =$  entre 0,93 y 0,99 con valores de  $p < 0.005$ ), por lo que podemos decir que los datos no siguen una distribución normal, por tal motivo evaluaremos la correlación mediante el coeficiente de Spearman. una medida resumen de cada paciente (promedio) de las diferentes variables aportadas por la capnografía, y obtuvimos los siguientes resultados. Ver Tabla 5

**Tabla 5.**

*Variables Hemodinámicas y Monitoreo de Capnografía Volumétrica*

Variable	Promedio	Desv. Stand.	Min - Max	Shapiro Wilk*	Valor p*
<b>TAS</b>	101,99	19,13	53 -215	0.93793	0.00000
<b>TAD</b>	59,92	12,77	21-117	0.98088	0.00000
<b>TAM</b>	76,4	13,65	31-141	0.98231	0.00000
<b>ETCO<sub>2</sub></b>	34,4	4,06	16-85	0.93202	0.00000
<b>VMCO<sub>2</sub></b>	282,86	62,45	30-487	0.99642	0.00250

<b>VO2</b>	357,65	91,73	34-950	0.95613	0.00000
<b>VT</b>	427,54	62,31	106-753	0.97640	0.00230

\*Prueba de normalidad (w)

### 10.3 Análisis de Correlación.

Para evaluar la correlación entre los valores de variables hemodinámicas aportadas por la capnografía volumétrica y “estabilidad hemodinámica”, nosotros realizamos una clasificación de la variable según valores de TAS menor de 90 (Inestable) y Mayor o igual a 90 mmHg(estable), al realizar la evaluación de correlación de las variables TAS con ETCO2, VMCO2 y Consumo O2 en los grupos de pacientes estables e inestables. Este análisis de correlación mediante el coeficiente de Spearman (Srho), en el grupo estable el coeficiente de correlación entre la TAS y ETCO2 fue de  $\rho=0.1747$ (ver figura 2), entre TAS y VMCO2 fue de  $\rho=0.1980$ (ver figura 3), entre TAS y VO2 fue de  $\rho=0.1160$ (ver figura 4), así mismo en el grupo inestable el coeficiente de correlación de Spearman entre la TAS y ETCO2 fue de  $\rho=0.1590$ (ver figura 5), entre TAS y VMCO2 fue de  $\rho=0.1525$ (ver figura 6) y entre TAS y VO2 fue de  $\rho=0.1395$  (ver figura 7), todos estos valores Srho positivos, consecuentes con relación positiva débil entre cada una de las variables y el monitoreo. Vale resaltar que la correlaciones entre el grupo de estables e inestables fue mayor para la relación TAS/ETCO2 en pacientes inestables con un coeficiente de Spearman  $\rho=0.1590$  (ver figura 2) y para VMCO2 para los pacientes estables con un coeficiente de Spearman  $\rho=0.1980$  (ver figura 3), pero sin diferencias entre los dos grupos. (Ver Tabla 6).

Adicionalmente la correlación de los de TAS y TAM con las variables del monitoreo capnografía, se obtuvo entre TAS y ETCO2 un  $\rho=0.1697$  (ver figura8), entre TAS y VMCO2

un rho= 0.2347 (ver figura 9), entre TAS y VO2 un rho=0.1799 (ver figura 10), entre TAM y ETCO2 un rho=0.1717 (ver figura 11), entre TAM y VMCO2 rho=0.1747(ver figura 12), entre TAM y VO2 un rho=0.17179(ver figura 13), por lo cual la correlación más alta fue para VMCO2 con un coeficiente de correlación Spearman rho de 0,2347 y una menor correlación para TAM y ETCO2 con un rho de 0,017. A pesar de estos valores la correlación siempre fue positiva y significativa. Hallazgo que será motivo de discusión. (Ver Tabla 6).

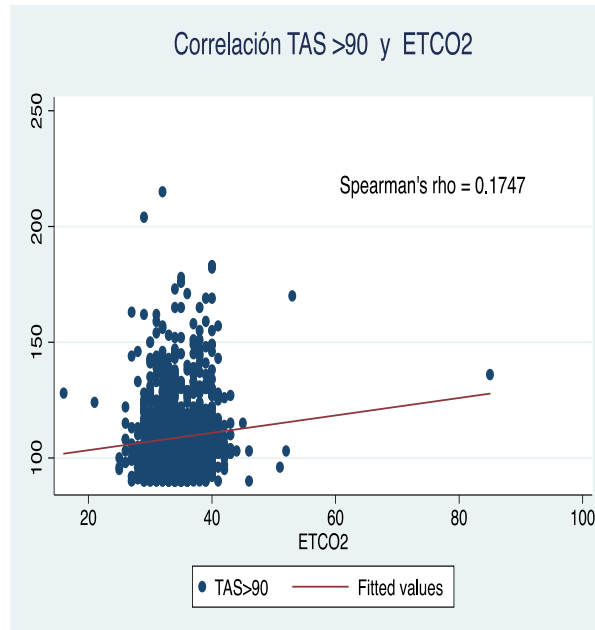
**Tabla 6.**

*Correlación entre Capnografía Volumétrica y estado Hemodinámico.*

		<b>Coefficiente Spearman rho</b>	<b>Valor p</b>
<b>TAS mmHg</b>	<b>ETCO2</b>	0.1697	0,000
	<b>VMCO2</b>	0,2347	0,000
	<b>Consumo O2</b>	0,1799	0,000
<b>TAM mmHg</b>	<b>ETCO2</b>	0,0171	0,000
	<b>VMCO2</b>	0,1747	0,000
	<b>Consumo O2</b>	0,1717	0,000
<b>Grupo Estable TAS &gt;= 90 mmHg</b> <b>74,86%</b>	<b>ETCO2</b>	0,1747	0,0002
	<b>VMCO2</b>	0,198	0,000
	<b>Consumo O2</b>	0.1160	0,000
	<b>ETCO2</b>	0,159	0,0028
<b>Grupo Inestable TAS &lt;90 mmHg</b> <b>25,14%</b>	<b>VMCO2</b>	0,1525	0,0042
	<b>Consumo O2</b>	0,1395	0,009

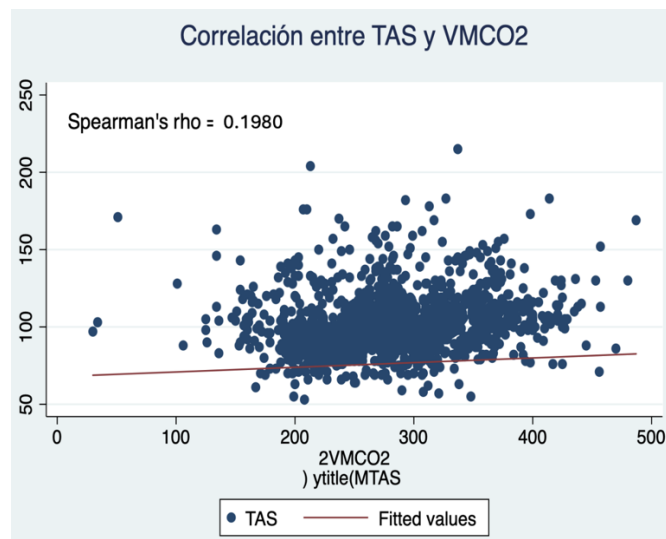
**Figura 2.**

*Relación entre TAS y ETCO2, en el grupo estable.*



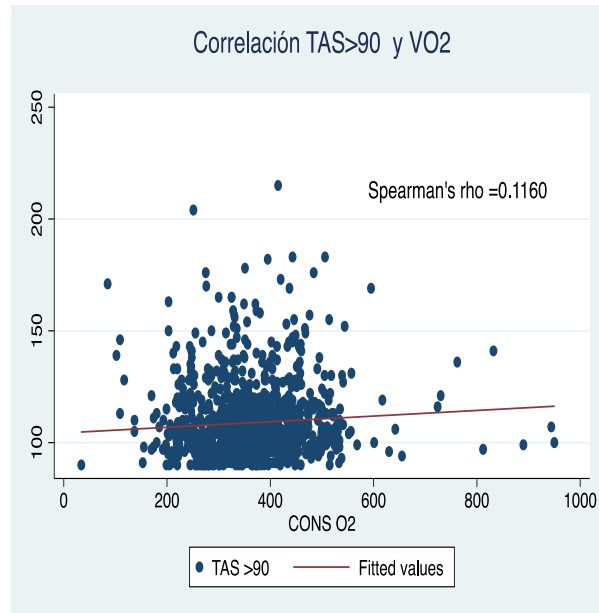
**Figura 3.**

*Relación entre TAS y VMCO2, en el grupo estable.*



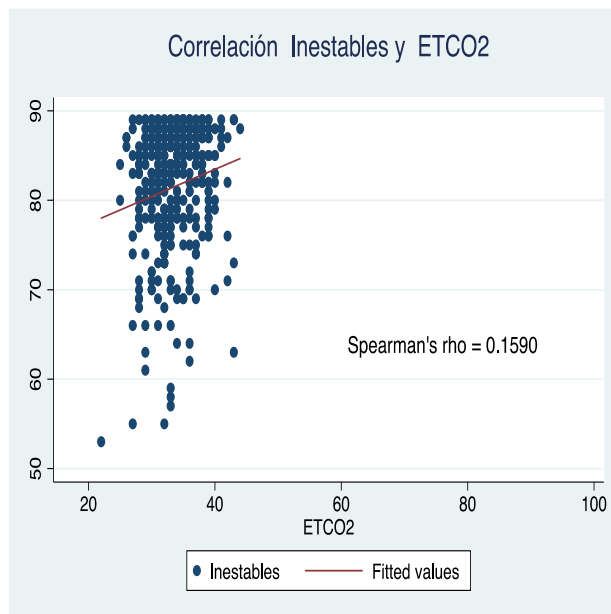
**Figura 4.**

*Relación entre TAS y VO2, en el grupo estable.*



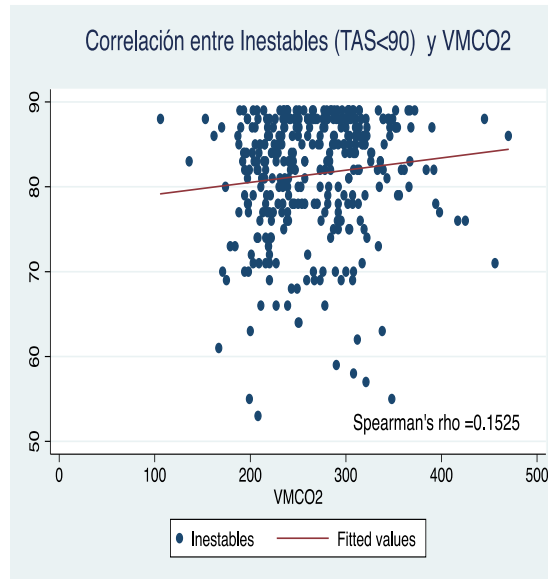
**Figura 5.**

*Relación entre TAS y ETCO2, en el grupo inestable.*



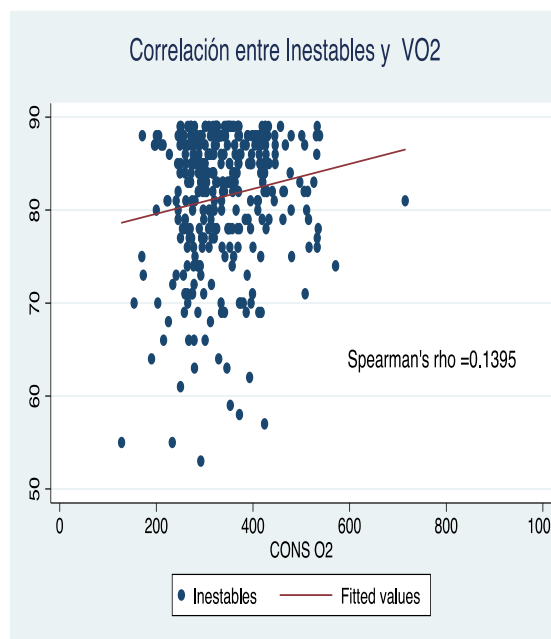
**Figura 6.**

*Relación entre TAS y VMCO2, en el grupo inestable.*



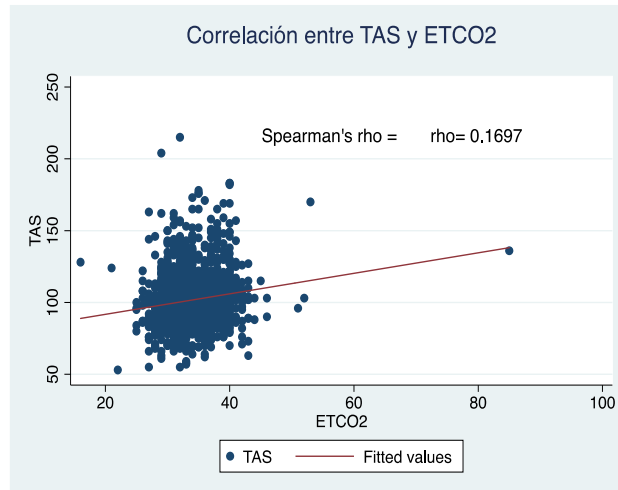
**Figura 7.**

*Relación entre TAS y VO2, en el grupo inestable.*



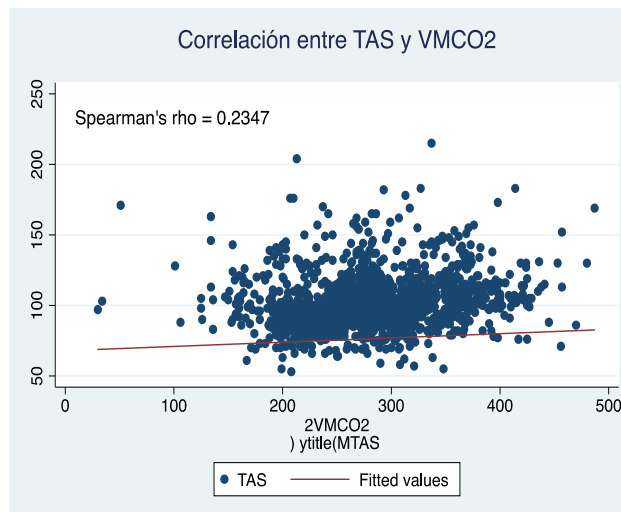
**Figura 8.**

*Relación entre TAS y ETCO2.*



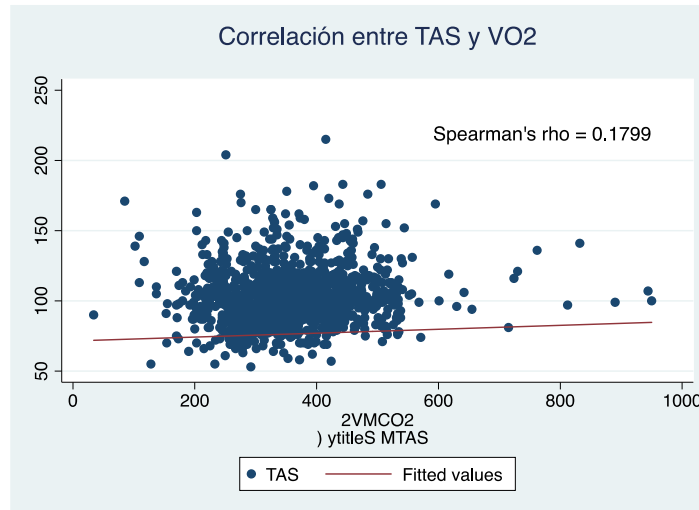
**Figura 9.**

*Relación entre TAS y VMCO2.*



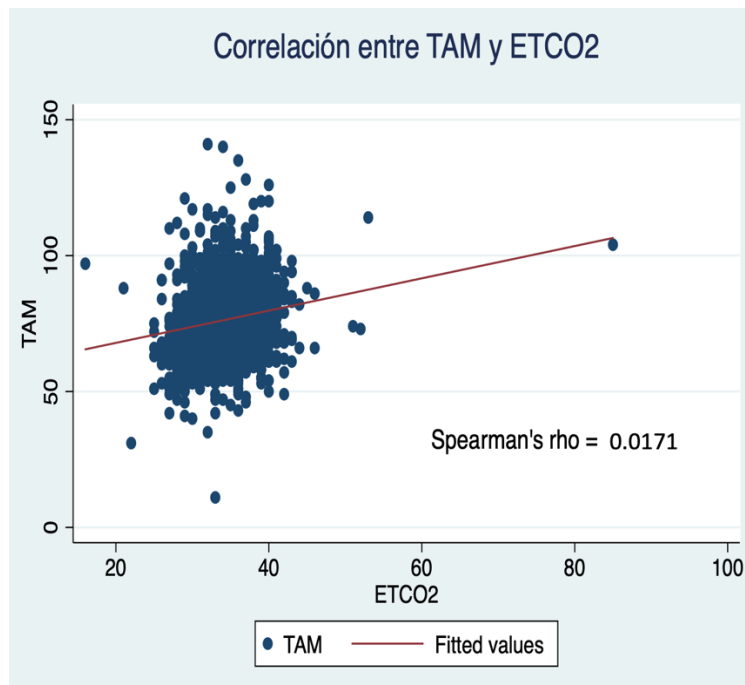
**Figura 10.**

*Relación entre TAS y VO2.*



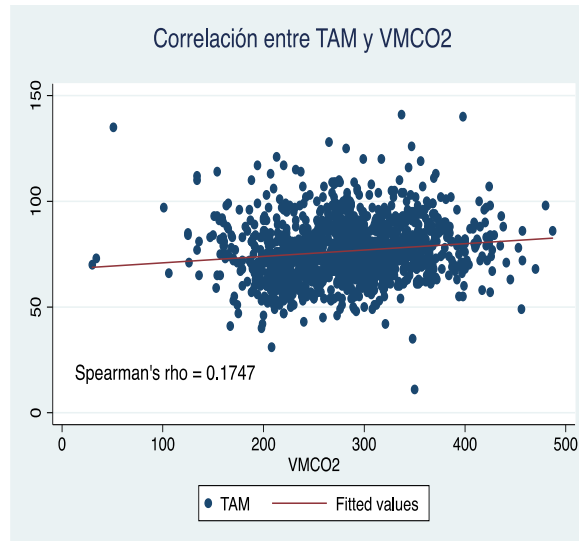
**Figura 11.**

*Relación entre TAM y ETCO2.*



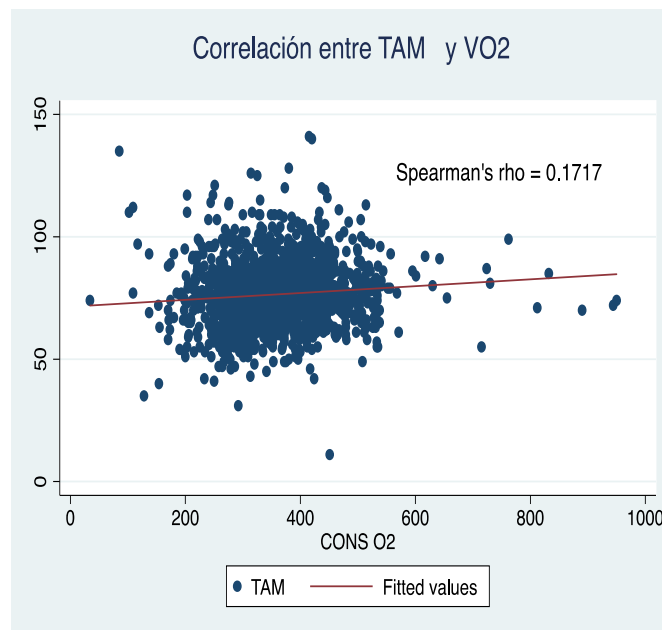
**Figura 12.**

*Relación entre TAM y VMCO2.*



**Figura 13.**

*Relación entre TAM y VO2.*



#### 10.4 Correlación entre producción de CO<sub>2</sub> y gasto energético.

Para cumplir nuestro último objetivo y evaluar la relación entre producción de CO<sub>2</sub> y gasto energético, primero realizamos medidas resumen para cada paciente, pues el requerimiento energético se debe individualizar. Adicionalmente utilizamos la ecuación de Weir simplificada, que relaciona el VCO<sub>2</sub> (producción de CO<sub>2</sub> en mL/min) con el gasto energético (kcal/día) (3) y asumimos cociente respiratorio de 0,7.

Gasto Calórico (kcal/día)=(3.94×VCO<sub>2</sub>(mL/min)+1.11×VO<sub>2</sub>(mL/min))×1.44 Calorías Diarias = 6.63 \* VMCO<sub>2</sub> (ml/min)

Kcal= (3.94 \* VCO<sub>2</sub> promedio \* 1.44) / RQ (cociente respiratorio).

Obtuvimos una media de calorías-día de 1860 con un DS de 367,41, las mediciones de calorías-día y kilocalorías promediadas se muestran en la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Requerimiento calórico según Capnografía Volumétrica*

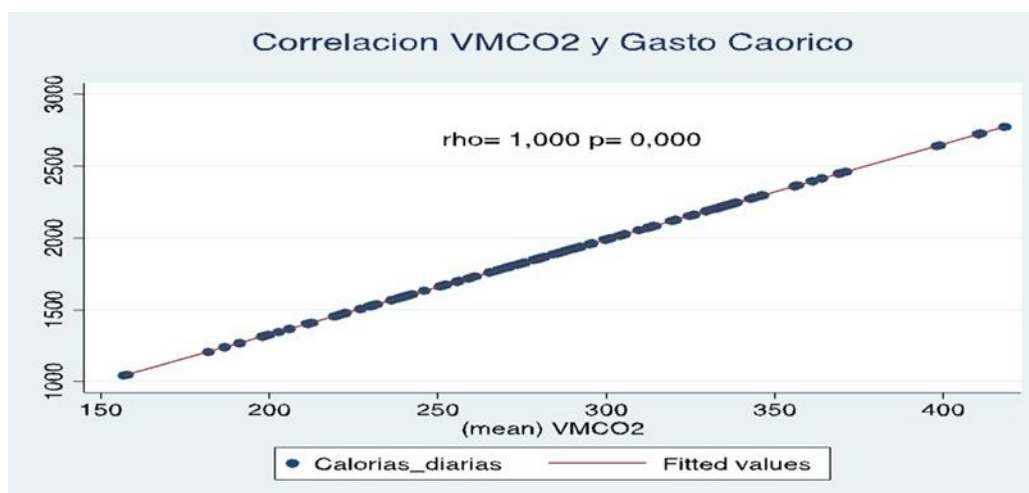
Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
<b>Calorías Día</b>	127	1860437	367.4133	1040468	2772287
<b>Kcal</b>	127	2274376	449161	1271967	3389108

Finalmente, la correlación de esta relación fue muy positiva y perfecta con valores de coeficientes de 1, como podemos observar al graficar un diagrama de dispersión (scatter plot) con una línea de tendencia lineal (lfit) visualizando más objetivamente la relación entre dos variables y confirmando el coeficiente de Spearman de 1,0, concordante con una correlación fuerte y

positiva, la tendencia de datos de capnografía volumétrica vs calorías día se muestra en la Figura 14.

**Figura 14.**

*Correlación VMCO<sub>2</sub> y Gasto Calórico.*



Adicionalmente, se evaluó la correlación entre el Gasto Energético Calórico estimado mediante la fórmula de Weir y diversas fórmulas abreviadas que lo calculan exclusivamente a partir de la producción de dióxido de carbono (VCO<sub>2</sub>) y constantes derivadas de diferentes cocientes respiratorios. Estas fórmulas simplificadas se basan en la relación entre la producción de CO<sub>2</sub> y el gasto energético, asumiendo un cociente respiratorio (RQ) específico que permite simplificar la ecuación original de Weir (Mehnta , N. M et al.,2014). El RQ, definido como la relación entre la producción de CO<sub>2</sub> y el consumo de oxígeno, sustenta la premisa de que la producción de CO<sub>2</sub> está directamente relacionada con el gasto energético. En este contexto, la constante utilizada en dichas fórmulas refleja dicha relación de manera estimativa.

**Fórmulas abreviadas:** VCO<sub>2</sub> es la producción de CO<sub>2</sub> en litros por minuto.

1. **Kcal = VCO2 (L/min) x 5,52)**
2. **Kcal = VO2 (L/min) x 4,83 (asumiendo un RQ de 0,85)**
3. **Kcal = VCO2 (L/min) x 5,04 (asumiendo un RQ de 0,80)**

Los valores promedio de gasto energético que se calcularon se muestran en la tabla 8, así mismo se pudo establecer que todos los valores mostraban una distribución normal. (tabla 9).

**Tabla 8.**

*Valores Promedio de Gasto Energético.*

	Promedio	Mediana	Desv. Estándar	Min- Max
<b>Formula Weir</b>	<b>2454.412</b>	<b>2389,5</b>	<b>486.3738</b>	<b>1516.972 - 3640.483</b>
<b>Formula 1</b>	<b>2230.504</b>	<b>2216,9</b>	<b>440.497</b>	<b>1247.432 - 3323.734</b>
<b>Formula 2</b>	<b>1951.691</b>	<b>1939,8</b>	<b>385.4349</b>	<b>1091.503 - 2908.267</b>
<b>Formula 3</b>	<b>2036.547</b>	<b>2024,2</b>	<b>402.1929</b>	<b>1138.959 - 3034.714</b>

**Tabla 9.**

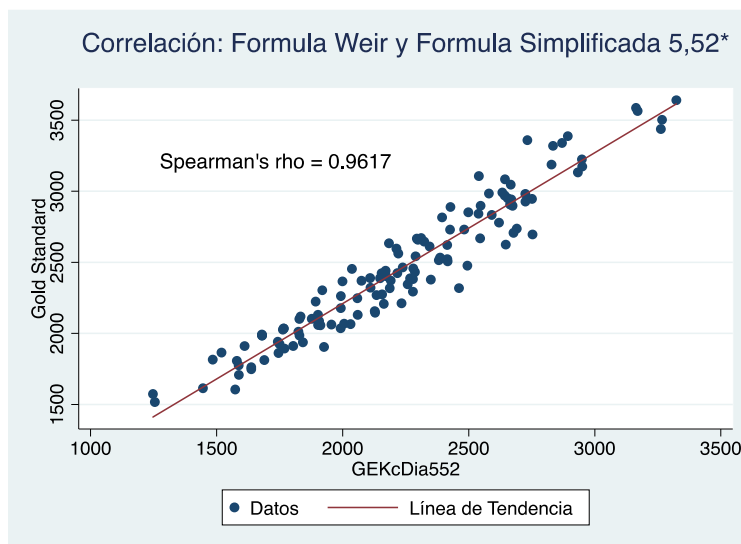
*Valores de normalidad.*

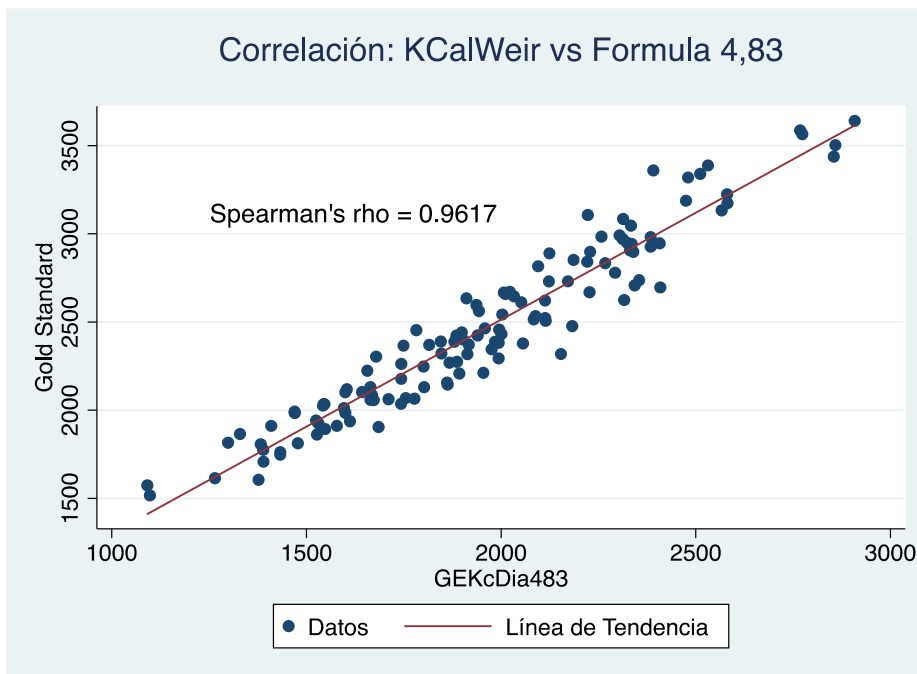
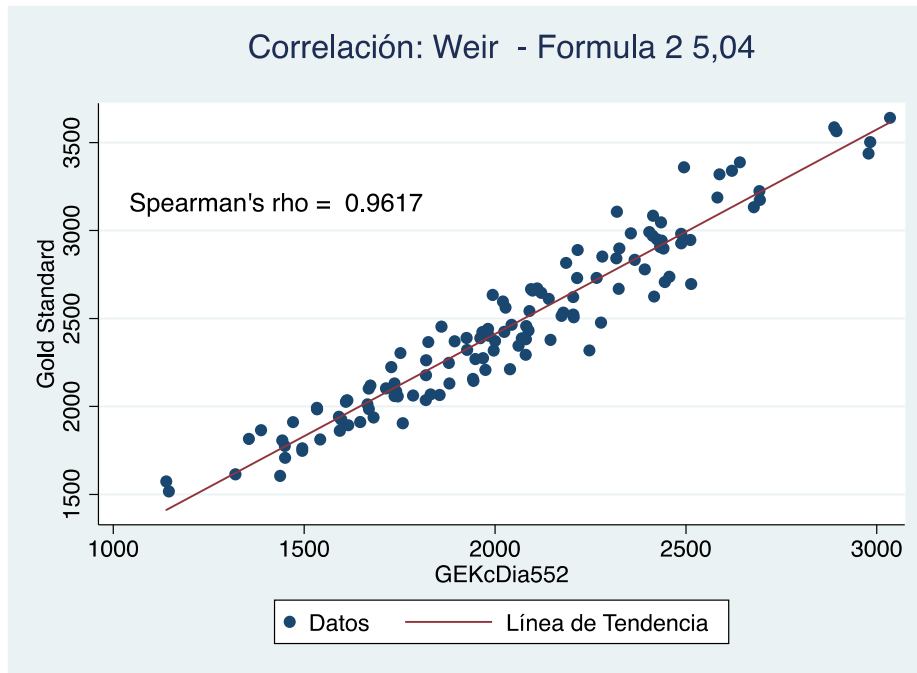
	Skewness	Kurtosis	Prob Chi2
<b>Kcal/día según Weir</b>	0,0668	0,2272	0,0886
<b>Formula (1) Kte 5,52</b>	0.3526	0.4190	0.4620
<b>Formula (2) Kte 4,83</b>	0.3526	0.4190	0.4620
<b>Formula (3) Kte 5,04</b>	0.3526	0.4190	0.4620

Dado que la prueba de normalidad aplicada al “Gold Estándar” (fórmula de Weir) no mostró una evidencia concluyente de normalidad ( $p = 0,0886$ ) (tabla 10), y aunque el valor de  $p$  es mayor a 0,05, se optó por utilizar pruebas no paramétricas, como el coeficiente de correlación de Spearman, para evaluar la relación entre los valores estimados por cada fórmula abreviada y los obtenidos mediante la fórmula de Weir. Los coeficientes de correlación obtenidos fueron idénticos para todas las fórmulas abreviadas en relación con la fórmula de Weir ( $\rho = 0,9617$ ) (Figura 15), lo cual sugiere una fuerte relación entre ellas. Esta alta concordancia podría deberse a el hecho de que las fórmulas simplificadas derivan unas de otras mediante transformaciones lineales, manteniendo estructuras matemáticas muy similares (por ejemplo: Fórmula 2  $\approx a + b \times$  Fórmula 1). Esta hipótesis se evaluó mediante análisis de regresión lineal, obteniéndose un coeficiente de determinación  $R^2 > 0,99$ , lo cual confirma que las fórmulas presentan prácticamente la misma estructura lineal.

### Figura 15.

*Correlación entre Formulas Abreviadas y Formulas de Weir.*





## 11. Discusión

El monitoreo hemodinámico de pacientes bajo anestesia general en cirugía no cardíaca ha sido, históricamente, uno de los campos más fascinantes y relevantes dentro de la investigación médica. Su importancia radica en que, mediante un monitoreo hemodinámico preciso, confiable y seguro, es posible influir de manera significativa en la toma de decisiones durante el acto quirúrgico. Esto cobra especial relevancia en aquellos pacientes con comorbilidades significativas o con patologías graves que los predisponen a estados de hipoperfusión tisular que se acentúan cuando son sometidos a anestesia general, así mismo cabe señalar que cualquier paciente tiene el riesgo potencial de enfrentarse a una crisis circulatoria en cualquier momento del acto quirúrgico. Por lo tanto, una intervención oportuna y adecuada por parte del anestesiólogo puede marcar la diferencia entre una recuperación óptima o la aparición de complicaciones postoperatorias y desenlaces deletéreos para los pacientes, la evidencia ha demostrado que el monitoreo no invasivo con ETCO<sub>2</sub> se correlaciona de manera significativa con mortalidad de los pacientes sometidos a anestesia general (8) y así mismo, se ha demostrado la correlación entre la VMCO<sub>2</sub> y el estado hemodinámico del paciente en unidades de cuidado intensivo (28), mostrando así la imperativa necesidad de esclarecer su utilidad en el escenario quirúrgico y poder posicionar la capnografía volumétrica como una herramienta de monitoreo hemodinámico avanzada, segura y no invasiva que ofrece información en tiempo real sobre el estado hemodinámico y ventilatorio del paciente.

### 11.1 Correlación Entre El Estado Hemodinámico Y La Capnografía Volumétrica.

En este estudio de carácter observacional y analítico, se evaluó la correlación entre el estado hemodinámico y la capnografía volumétrica mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Los resultados obtenidos mostraron una relación positiva, aunque débil, entre ambas variables, siendo esta estadísticamente significativa. Este hallazgo resulta particularmente interesante, ya que, a diferencia de estudios previos que se han centrado en pacientes sometidos a cirugía cardíaca, como el reportado por Ingrid Elise Hoff et al., donde se evidenciaron cambios significativos en la capnografía volumétrica en contextos de inestabilidad hemodinámica (10), en nuestro caso, el estudio se realizó en pacientes en cirugía no cardíaca.

Hoff y colaboradores plantearon que la capnografía volumétrica posee mayor sensibilidad para detectar inestabilidad hemodinámica en comparación con la capnografía convencional (10). No obstante, nuestros hallazgos sugieren que la variable  $VMCO_2$  podría tener incluso mayor sensibilidad en contextos de estabilidad hemodinámica, lo cual abre una nueva línea de interpretación sobre su utilidad clínica en diferentes escenarios quirúrgicos.

Observamos una correlación débil pero positiva y estadísticamente significativa entre variables hemodinámicas como la presión arterial sistólica (TAS), la presión arterial media (TAM), y la presión arterial diastólica (TAD), en relación con la capnografía volumétrica y el consumo de oxígeno. Este resultado está en concordancia con lo reportado por Verscheure et al., quienes hallaron que la capnografía volumétrica predice la disminución del gasto cardíaco ante el incremento de la PEEP durante cirugía cardíaca (Verscheure et al., 2016), lo cual refuerza la hipótesis de una clara relación entre variables hemodinámicas y parámetros derivados de la

capnografía volumétrica. Este tipo de información es de gran utilidad clínica, sobre todo en el contexto de pacientes críticos bajo anestesia general.

Adicionalmente, investigaciones como la de K. Lakhali et al. han demostrado que el  $\text{ETCO}_2$  tiene un rendimiento diagnóstico similar al de la presión de pulso y la variación del volumen sistólico (VPP y VVS) en pacientes sometidos a cargas de volumen en unidades de cuidado intensivo, específicamente en aquellos bajo ventilación mecánica controlada (14). Del mismo modo, Álvarez, S. y Serrano, R. encontraron una concordancia significativa entre la capnografía volumétrica y métodos tradicionales de medición del gasto cardíaco, como la biorreactancia torácica (2). Estos hallazgos, en conjunto, sustentan la posibilidad de plantear nuevos estudios enfocados en la reanimación volumétrica bajo anestesia general, especialmente en pacientes en estado de choque.

La evidencia acumulada apoya de forma sólida nuestra hipótesis principal: la capnografía volumétrica, aplicada en pacientes bajo anestesia general, puede convertirse en una herramienta viable para el monitoreo hemodinámico no invasivo.

Por último, es importante resaltar las bondades de la estación de anestesia DRAGER Primus, que además del cálculo del  $\text{VMCO}_2$ , calcula el  $\text{VO}_2$  (consumo de oxígeno) mediante la medición de la diferencia entre la cantidad de oxígeno inspirado y espirado por el paciente, utilizando sensores de oxígeno y mide el flujo de gas inspirado y espirado mediante un neumotacógrafo o un sensor de flujo, lo cual da una alta precisión y confiabilidad.

Formula del Cálculo del VO<sub>2</sub>:

$$VO_2 = (FiO_2 \times Vi) - (FeO_2 \times Ve)$$

Donde:

FiO<sub>2</sub> es la fracción de oxígeno inspirado

Vi es el volumen de gas inspirado

FeO<sub>2</sub> es la fracción de oxígeno espirado

Ve es el volumen de gas espirado

En anestesia para cirugía compleja y/o en pacientes de alto riesgo que estarán monitorizados con línea arterial y CVC, nosotros podríamos calcular el gasto cardiaco, evaluar la función cardíaca y guiar el tratamiento; utilizando la fórmula de Fick que relaciona el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) con el gasto cardíaco (GC).

Mediante la fórmula de Fick ( $GC = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$ ), solo tendríamos que calcular contenidos cuyas fórmulas conocemos y estaríamos “dándole un excelente uso” al monitoreo que nos ofrece esta máquina todo en pro del paciente y creemos se está “subutilizando”. Está es una oportunidad para un nuevo trabajo de investigación. Esta formula es aplicable igualmente a la VMCO<sub>2</sub>.

## **11.2 Correlación Entre La Capnografía Volumétrica Y El Gasto Energético**

La correlación entre la capnografía volumétrica y el gasto energético, ha sido estudiada de manera consistente en el contexto de cuidado intensivo con beneficios claros sobre el uso de la

calorimetría indirecta para el cálculo del gasto energético total del paciente crítico, mejorando los desenlaces clínicos de los mismos (23), (9) , por lo cual consideramos que el monitoreo de la capnografía volumétrica y del consumo de oxígeno, puede tener un impacto significativo en el manejo postoperatorio del paciente, ya que en nuestro estudio identificamos una relación directa, fuerte y estadísticamente significativa entre la capnografía volumétrica y el gasto energético, con un coeficiente de Spearman ( $\rho$ ) de 1, lo que indica una consistencia notable en los resultados obtenidos. Este hallazgo se alinea con lo reportado por Abel Salvador Arroyo-Sánchez, quien demostró que la calorimetría indirecta, calculada mediante el consumo de oxígeno y parámetros de capnografía volumétrica, tiene aplicación clínica en la medición del gasto energético en unidades de cuidado intensivo (4).

Adicionalmente es importante tener en cuenta, que las fórmulas simplificadas presentan limitaciones, por lo tanto, no tienen la precisión de la ecuación original de Weir. Su exactitud depende en gran medida de las mediciones de  $VO_2$  y  $VCO_2$ , así como también de la validez de las suposiciones realizadas sobre el cociente respiratorio (RQ) (17). Los valores idénticos del coeficiente de correlación de Spearman entre las fórmulas abreviadas y la fórmula de Weir pueden deberse a que todas las fórmulas simplificadas tienen en común el mismo parámetro dominante ( $VO_2$  o  $VMCO_2$ ), y utilizan coeficientes similares. Como resultado, se obtienen patrones de correlación prácticamente idénticos con el estándar de referencia. Lo cual sugiere que las variables están altamente correlacionadas; es decir, una puede expresarse como una transformación lineal exacta de las otras. En la práctica, este tipo de relación tan estrecha es poco común y refuerza la idea de que las fórmulas comparten una estructura matemática muy similar, o incluso que algunas fueron derivadas directamente unas de otras. Por lo tanto, se recomienda utilizar una única fórmula abreviada, ya que las demás no aportarían valor adicional.

En el contexto quirúrgico, esta relación entre la capnografía volumétrica y el gasto energético adquiere especial relevancia, particularmente en pacientes hiperdinámicos, como aquellos con sepsis y metabolismo elevado. El monitoreo de estos parámetros podría proporcionar información crítica en tiempo real para optimizar la gestión anestésica y metabólica del paciente.

Aunque reconocemos ciertas limitaciones inherentes a este tipo de estudios, como el tamaño muestral o la variabilidad individual de los pacientes, destacamos como fortaleza el ser el primer estudio en América Latina que explora el uso de la capnografía volumétrica como herramienta de monitoreo hemodinámico en pacientes bajo anestesia general. Esto representa un avance significativo en el campo, especialmente considerando que hoy en día las máquinas de anestesia permiten una monitorización mínimamente invasiva del estado hemodinámico, lo que puede contribuir sustancialmente a mejorar la seguridad del paciente durante procedimientos quirúrgicos.

En este sentido, consideramos que este trabajo marca el inicio de un proceso de optimización del uso de la capnografía volumétrica con fines diagnósticos y de monitoreo, y abre la puerta para futuras investigaciones que comparen su eficacia y seguridad frente a otros métodos existentes.

## 12. Conclusión

La capnografía volumétrica, puede posicionarse como método de monitoreo hemodinámico no invasivo para el paciente sometido a anestesia general en cirugía no cardíaca, la correlación entre la capnografía volumétrica y variables hemodinámicas como TAS y TAM, demuestra de manera significativa su fiabilidad para evaluar el estado hemodinámico del paciente. Al comparar ETCO<sub>2</sub> y VMCO<sub>2</sub> con las mismas variables hemodinámicas hemos visto la mayor sensibilidad de esta última para evaluar el estado hemodinámico.

Del mismo modo la fuerte correlación que encontramos entre el gasto energético y la capnografía volumétrica, nos da a conocer su potencial para mejorar el manejo del paciente bajo anestesia general en cirugía no cardíaca y en la unidad de cuidados intensivos, generando múltiples beneficios desde guiar la terapia nutricional del paciente crítico en su postoperatorio inmediato hasta la comprensión de como el estrés quirúrgico influye en el paciente hiperdinámico.

Finalmente, podemos concluir que se responde nuestra pregunta de investigación con una probable certeza de correlación entre la capnografía volumétrica y parámetros del monitoreo hemodinámico intraoperatorio. Aunque las correlaciones no son perfectas, los resultados obtenidos son suficientemente sólidos para sustentar el desarrollo de nuevas líneas de investigación, enfocadas en el uso de técnicas estandarizadas que minimicen los sesgos y aumenten la precisión de las mediciones. Especialmente relevantes fueron las correlaciones encontradas con el gasto energético, las cuales podrían tener un gran impacto en la confianza diagnóstica y en la toma de decisiones clínicas por parte del anesestesiólogo en el entorno quirúrgico.

### **13. Recomendaciones**

A partir de los hallazgos obtenidos en el presente estudio, consideramos importante fomentar nuevas líneas de investigación centradas en la capnografía volumétrica como herramienta complementaria de monitoreo hemodinámico intraoperatorio.

En particular, se sugiere explorar con mayor profundidad la correlación entre los parámetros obtenidos mediante capnografía volumétrica y las variables hemodinámicas invasivas, con el objetivo de establecer su utilidad como marcador indirecto del estado hemodinámico en pacientes críticos. Dichas investigaciones permitirían no solo ampliar el conocimiento existente sobre esta técnica, sino también potenciar su integración en protocolos anestésicos y de monitoreo avanzado, mejorando así la toma de decisiones clínicas en situaciones de crisis y alto riesgo.

### Referencias Bibliográficas

1. Albanese M , H. B., Barrera , F. P., Valenzuela , C. C., Gil , D., Riquelme , C., Olive , F., . . . Heskia , T. R. (s.f.). Capnografía volumétrica y su aplicación en la monitorización de la ventilación mecánica. *Medicina-intensiva.cl*,. <https://www.medicina-intensiva.cl/revista/pdf/68/2.pdf>
2. Alvarez Robles , S., y Serrano Vasquez , R. E. (2019). Concordancia entre Capnografía Volumétrica y Biorreactancia Torácica en medición de Gasto Cardíaco en pacientes en Choque Séptico sometidos a carga volumétrica. *Univdersidad Autonoma de Bucaramanga, Facultad, & Comisión de Investigación* .
3. Arnal , J. M., Ste Musse Hospital , Blankman , P., Shono , A., Hemans B , J. M., Wesselius , T., . . . Gommers , D. (2019). Bedside tip: Using volumetric capnography to set PEEP. *116-6*, 862-869.
4. Arroyo Sanchez, A. S. (2020). a indirecta en cuidado crítico: una revisión narrativa. *Revista de Nutricion Clinica y Metabolista*, 3(2), 45-56. <https://doi.org/10.35454/rncm.v3n2.88>
5. Blanch , L., Romero , P. V., y Lucangelo , U. (s.f.). Critical Care Center, Hospital of Sabadell Corporació Parc Taulí, University Institute Parc Taulí Foundation Independent University of Barcelona Sabadell, Spain, Experimental Pulmonary Laboratory University Hospital of Bellvitge, IDIBELL L'Hospitalet. *Minerva Anesthesiol* , 72, 577-586.
6. Briesenick , L., Schaade , A., Bergholz , A., Hoppe , P., Kouz , K., Krause , L., . . . Saugel , B. (2023). Energy expenditure under general anesthesia: An observational study using

- indirect calorimetry in patients having noncardiac surgery. *Anesthesia & Analgesia*.  
<https://doi.org/10.1213/ane.0000000000006343>
7. Committee on Standards and Practice Parameters (CSPP) . (2020). Last Affirmed: December 13, 2020 (last amended October 20, 2010) (original approval: October 21, 1986), Standards for Basic Anesthetic Monitoring.
  8. Dony , P., Dramaix , M., y Boogaerts , J. G. (2016). Hypocapnia measured by end-tidal carbon dioxide tension during anesthesia is associated with increased 30-day mortality rate. *Journal of Clinical Anesthesia*, 36, 123-126.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.10.028>
  9. Haugen , H. A., Chan , L., y Li , F. (2007). Indirect Calorimetry: A Practical guide for Clinicians. *Nutrition in Clinical practice*, 22(4), 377-388.  
<https://doi.org/10.1177/0115426507022004377>
  10. Hoff , I. E., Hoiseth , L. O., Kirkeboen , K. A., y Landsverk , S. A. (2019). Volumetric and End-Tidal Capnography for the Detection of Cardiac Output Changes in Mechanically Ventilated Patients Early after Open Heart Surgery. *Critical Care Research and Practice*.  
<https://doi.org/10.1155/2019/6393649>
  11. Idris , A. H. (1995). END-TIDAL CARBON DIOXIDE PHYSIOLOGY AND MONITORING DURING RESUSCITATION. *Anesthesiology Clinics of North America*, 13(4), 785-798. [https://doi.org/10.1016/s0889-8537\(21\)00580-0](https://doi.org/10.1016/s0889-8537(21)00580-0)
  12. Kreit , J. W. (2019). Volume capnography in the Intensive care Unit: physiological principles, measurements, and calculations. *Annals of the American Thoracic Society*.  
<https://doi.org/10.1513/annalsats.201807-501cme>

13. Kremeier , P., Bohm , S. H., y Tusman , G. (2019). Clinical use of volumetric capnography in mechanically ventilated patients. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*.  
<https://doi.org/10.1007/s10877-019-00325-9>
14. Lakhal , K., Nay , M., Kamel , T., Lortat Jacob , B., Ehrmann , S., Rozec , B., y Boulain , T. (2017). Change in end-tidal carbon dioxide outperforms other surrogates for change in cardiac output during fluid challenge. *British Journal of Anaesthesia*, 118(3), 355-362.  
<https://doi.org/10.1093/bja/aew478>
15. Lev , S., Cohen , J., y Singer , p. (2010). Indirect Calorimetry Measurements in the Ventilated Critically Ill Patient: Facts and Controversies—The Heat is On. *Critical Care Clinics*, 26(4), e1-e9. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2010.08.001>
16. Levine , J. A. (2005). Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutrition*, 8(7a), 1123-1132. <https://doi.org/10.1079/phn2005800>
17. Lopez Villegas , A., Gomez Gonzalez , M., Gonzalez Carrillo , P., y Instituto Mexicano del Seguro Social . (2023). Correlación de fórmulas para gasto energético con calorimetría indirecta en pacientes críticos. *In Rev Med Inst Mex Seguro Soc*, 61(2), S246-53.  
<http://revistamedica.imss.gob.mx/>
18. Mehnta , N. M., Smallwood , C. D., Joosten , K. F., Hulst , J. M., Tasker , R. C., y Duggan , C. P. (2014). Accuracy of a simplified equation for energy expenditure based on bedside volumetric carbon dioxide elimination measurement – A two-center study. *Clinical Nutrition*, 34(1), 151–155. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.02.008>, 34(1), 151-155.  
<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.02.008>
19. Mosing , M., Kutter A , P. N., Iff , S., Raszplewicz , J., Mauch, J., Bohm , S. H., y Tusman , G. (2014). The effects of cardiac output and pulmonary arterial hypertension on

- volumetric capnography derived-variables during normoxia and hypoxia. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 29(1), 187–196. <https://doi.org/10.1007/s10877-014-9588-0>. <https://doi.org/10.1007/s10877-014-9588-0>
20. Nassar , B. S., y Schmidt, G. A. (2022). Capnography for monitoring of the critically ill patient. *Clinics in Chest Medicine*, 43(3), 393-400. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2022.04.002>
21. Ornato , J. P., Garnett , A. R., y Glauser , F. L. (1990). Relationship between cardiac output and the end-trial carbon dioxide tension. *Annals of Emergency Medicine*, 19(10), 1104-1106. [https://doi.org/10.1016/s0196-0644\(05\)81512-4](https://doi.org/10.1016/s0196-0644(05)81512-4)
22. Peyton , P. J. (2013). Pulmonary carbon dioxide elimination for cardiac output monitoring in peri-operative and critical care patients: history and current status. *Journal of Healthcare Engineering*, 4(2), 203-222. <https://doi.org/10.1260/2040-2295.4.2.203>
23. Pinsky , M. R. (2012). Heart lung interactions during mechanical ventilation. *Current Opinion in Critical Care*, 18(3), 256-260. <https://doi.org/10.1097/mcc.0b013e3283532b73>
24. Singer , P., Anbar , R., Cohen , J., Shapiro , H., Shalita Chesner , M., Lev , S., . . . Madar , Z. (2011). The tight calorie control study (TICACOS): a prospective, randomized, controlled pilot study of nutritional support in critically ill patients. *Intensive Care Medicine*, 37(4), 601-609. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2146-z>
25. Suarez - Sipmann , F., Bohm , S. H., y Tusman , G. (2014). Volumetric capnography. *Current Opinion in Critical Care*, 20(3), 333-339. <https://doi.org/10.1097/mcc.0000000000000095>

26. Verscheure , S., Massion , P. B., Verschuren , F., Damas , P., y Magder , S. (2016). Volumetric capnography: lessons from the past and current clinical applications. *Critical Care*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s13054-016-1377-3>
27. Weil , M., Bisera , J., Trevino , R., y Rackow , E. (1985). Cardiac output and end-tidal carbon dioxide. *Critical Care Medicine.*, 13(11), 907-909. <https://doi.org/10.1097/00003246-198511000-00011>. PMID: 3931979.
28. Young , A., Marik , P. E., Sibole , S., Groom, D., y Levitov , A. (2012). Changes in End-Tidal carbon dioxide and volumetric carbon dioxide as predictors of volume responsiveness in hemodynamically unstable patients. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia.*, 27(4), 681-684. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2012.09.025>

## Apéndices

### Apéndice A. Presupuesto

RUBRO	JUSTIFICACION	VALOR COP
<b>Materiales papelería</b>	Papelería para instrumento y consentimiento informado	\$ 2.000.000
<b>Equipos, software</b>	Análisis de datos	\$ 2.000.000
<b>Servicios, personal de apoyo</b>	Recolección de datos.	\$ 2.000.000
<b>Evaluación de comités.</b>	Evaluación de comité técnico científico y comité de ética.	\$ 1.500.000
<b>Divulgación, viáticos ponencia</b>	Presentación en eventos académicos.	\$ 1.500.000
<b>Dr. Saul Álvarez</b>	Honorarios	\$2.000.000
<b>Dr. Mario Villaveces.</b>	Honorarios	\$2.000.000
<b>Dr. Héctor Meléndez</b>	Honorarios	\$2.000.000
<b>TOTAL</b>		<b>\$15.000.000</b>

**Apéndice B.** *Cronograma de Actividades.*

**Apéndice C. Instrumento de Recolección.**

<b>Plan de Actividades</b>	<b>Desde mayo 2022 hasta septiembre 2023.</b>	<b>Desde octubre 2023 hasta enero 2024</b>	<b>Desde febrero 2024 hasta mayo 2024</b>	<b>Desde mayo 2024 hasta diciembre 2024</b>	<b>Desde enero 2025 hasta marzo 2025</b>	<b>Desde diciembre 2024 hasta abril 2025.</b>
<b>Definir propuesta de investigación y desarrollo de protocolo de investigación.</b>	XXX					
<b>Aprobación de la ejecución del proyecto por parte del Comité de Ética en Investigación Científica de la UIS (CEINCI)</b>		XXX				
<b>Solicitud y aprobación por parte del Comité Técnico Científico de Investigación del Hospital Universitario de Santander.</b>			XXX			
<b>Recolección de datos</b>				XXX		
<b>Tabulación de datos</b>					XXX	
<b>Análisis de datos.</b>						XXX
<b>Ponencia y Publicación</b>						XX

<b>NOMBRE DEL PACIENTE:</b>															
<b>EDAD:</b>			<b>SEXO:</b>			<b>FECHA:</b>			<b>#HISTORIA:</b>			<b>PESO:</b>		<b>PARAMETROS DEL VENTILADOR:</b>	
<b>ASA:</b>		ANESTESIA GENERAL BALANCEADA [ ] / ANESTESIA TOTAL INTRAVENOSA [ ] / ANESTESIA INHALATORIA [ ]				<b>TALLA:</b>		<b>PESO IDEAL:</b>				<b>VC:</b>			
<b>PROCEDIMIENTO:</b>															
<b>RIESGOS ANESTESICOS:</b>		ENF. CORONARIA: [ ]		HTA: [ ]		ASMA: [ ]		CONVULSIONES: [ ]				<b>VM:</b>			
<b>GOLDMAN:</b>		DISTROFIA MUSCULAR: [ ]		INSF. RENAL: [ ]		DIABETES: [ ]		ENF. TIROIDES: [ ]				<b>FR:</b>			
<b>ARISCAT:</b>		CIRROCIS: [ ]		TOXICOS: [ ]		OTROS		ALERGIAS:				<b>P. PICO:</b>			
<b>APFEL:</b>		FARMACOS: [ ]		COAGULOPATIA: [ ]								<b>PEEP:</b>			
<b>GUPFA:</b>		SANGRADO:		HORA		A/V	PH	PCO2	PO2	HCO3	PAFI	SATO	SATV	<b>FIO2:</b>	
<b>OTROS:</b>		DIURESIS:													
<b>DIAGNOSTICO:</b>															
<b>PROCEDIMIENTO:</b>															
<b>TIPO DE ANESTESIA:</b>															
<b>SIGNOS VITALES DE INGRESO A QUIROFANO.</b>															
<b>PA:</b>			<b>FC:</b>			<b>FR:</b>			<b>TEMPERATURA:</b>			<b>SATO2:</b>			
<b>POSICION:</b>															
<b>HORA</b>															
<b>O2</b>															
<b>TAS</b>															
<b>TAD</b>															
<b>TAM</b>															
<b>FC</b>															
<b>SATO2</b>															
<b>ETCO2</b>															
<b>VMCO2</b>															
<b>PVA</b>															
<b>CONS O2</b>															
<b>CAM</b>															
<b>LIQUIDOS ENDOVENOSOS</b>															
<b>INFUSIONES</b>															
<b>INICIO DE ANESTESIA:</b>															
<b>INICIO DE CIRUGIA:</b>															
<b>TIEMPO ANESTESICO:</b>															
<b>TIPO DE MONITOREO</b>															
<b>FIN DE ANESTESIA:</b>															
<b>FIN DE CIRUGIA:</b>															

**Apéndice D. Consentimiento Informado.**

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**Versión 2****Código:** \_\_\_\_\_.**DOCUMENTO DE CONSENTIMIENTO****INFORMADO****Proyecto :****MONITOREO HEMODINAMICO CON CAPNOGRAFÍA VOLUMÉTRICA,  
DURANTE LA ANESTESIA GENERAL EN CIRUGÍA NO CARDIACA.****Investigadores Responsables:**

Posgrado de Anestesiología. Facultad de Salud. Universidad Industrial de Santander.

Apreciado Señor(a):

Queremos invitarlo a usted a participar voluntariamente en el estudio titulado  
**“MONITOREO HEMODINAMICO CON CAPNOGRAFÍA VOLUMÉTRICA,  
DURANTE LA ANESTESIA GENERAL EN CIRUGÍA NO CARDIACA.** “para lo  
cual solicitamos su autorización.

Este documento, que le entregaremos para que lo conserve, contiene la información necesaria para que usted pueda decidir libremente si desea participar en el estudio. A continuación, lo leeremos a usted y le solicitamos el favor de que escuche cuidadosamente y haga todas las preguntas que estime convenientes antes de informarnos su decisión.

**-¿Cuál es la importancia del estudio?**

Evaluar la utilidad de la capnografía volumétrica que consiste en realizar mediciones en la “respiración” durante el procedimiento quirúrgico y usarlo como monitoreo hemodinámico es decir para evaluar el estado del sistema cardiovascular, en pacientes sometidos a cirugía no cardiaca bajo anestesia general.

**-¿Qué deseamos hacer?**

El grupo de investigadores está interesado medir la capnografía volumétrica con el fin de determinar y establecer el estado hemodinámico del participante de la investigación de acuerdo con estas mediciones,  
Para poder obtener esta información estamos realizando el estudio |



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

titulado **“MONITOREO HEMODINAMICO CON CAPNOGRAFÍA VOLUMÉTRICA, DURANTE LA ANESTESIA GENERAL EN CIRUGÍA NO CARDIACA.”**

**-¿Cómo haremos el estudio y cómo sería su participación en él?**

Para poder realizar el estudio deseamos hacer lo siguiente:

1. Una vez sea de nuestro conocimiento que usted es candidato a cirugía de urgencia o cirugía electiva en el Hospital Universitario de Santander y en la consulta preanestésica, se confirmará su estado de ayuno, se procederá a firmar consentimiento informado y se convertirá en participante de la investigación
2. posterior a la obtención de estos datos, se le realizará un registro de los signos vitales durante el procedimiento.  
Finalmente se evaluará la correlación entre los signos vitales y la capnografía volumétrica, y se dejarán registrados los signos vitales en instrumento destinado para ello.

**Riesgos de su participación en el estudio:**

El registro de las diferentes variables en el instrumento no representa ningún riesgo para a su integridad física o mental.

**-Beneficios de su participación en el estudio:**

La valoración preanestésica es una herramienta diagnóstica que no representa ningún riesgo para su salud y que permite conocer el estado clínico previo al procedimiento por lo que junto a este resultado y los datos de su historia clínica proporcionará una herramienta adicional para optimizar la toma de decisiones en el manejo médico realizado por el anesthesiólogo antes y durante la anestesia para su cirugía. Se aclara adicionalmente que ni usted ni su familia tendrán que pagar por ellos y tampoco recibirán algún beneficio económico por su participación en el estudio.

**-Derechos de los participantes:**

Su participación es completamente libre, voluntaria y gratuita. Si usted decide rechazar esta invitación a participar o retirarse voluntariamente del estudio en cualquier momento, ello no afectará la atención que usted reciba en las entidades de salud, ni perderá ninguno de los beneficios que le corresponden por Ley. Toda la información acerca de usted será guardada en forma confidencial y anónima. Sólo el personal a cargo del estudio y el Comité de Ética que lo supervisará podrá tener acceso a sus datos personales.

Las imágenes tomadas no serán utilizadas para ningún otro estudio sin su



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

consentimiento.

**-Personas que pueden darle información adicional**

Si usted ahora o en cualquier otro momento desea hacer una consulta sobre el estudio puede contactar a:

Mario Andrés Villaveces Buelvas del Posgrado de Anestesiología y Reanimación. Facultad de Salud. Universidad Industrial de Santander.



Para preguntas, aclaraciones o inquietudes acerca de los aspectos éticos de esta investigación puede comunicarse con los Comités que han dado aprobación a este protocolo:

1.- Comité de Ética en Investigación Científica UIS (Universidad Industrial de Santander), se puede comunicar al teléfono: (607) 634 4000 ext. 3808, o enviar correo electrónico a: [comitedetica@uis.edu.co](mailto:comitedetica@uis.edu.co) (Si es el caso o el comité de su institución)

2.- Comité Técnico Científico de Investigación ESE HUS (Hospital Universitario de Santander), se puede comunicar al teléfono: (607) 691 0030 ext. 182 - 178, o enviar correo electrónico a: [tecnicocientificodeinvestigacion@hus.gov.co](mailto:tecnicocientificodeinvestigacion@hus.gov.co)

3.- Comité de Ética en Investigación ESE HUS (Hospital Universitario de Santander), se puede comunicar al teléfono: (607) 691 0030 ext. 182 - 178., o enviar correo electrónico al: [comiteeticaeinvestigacion@hus.gov.co](mailto:comiteeticaeinvestigacion@hus.gov.co)

**-Protección de sus derechos y seguridad**

Para garantizar la protección de sus derechos y su seguridad, este estudio fue revisado y aprobado por el Comité de Ética de ética de la UIS y HUS Adicionalmente, los lineamientos bajo los cuales se manejará su información están estipulados en la Ley estatutaria 1581 de 2012.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

**Declaración de Consentimiento Informado**

Yo, \_\_\_\_\_, identificado(a) con Cédula de Ciudadanía \_\_\_\_\_, declaro estar de acuerdo en participar en el estudio **"MONITOREO HEMODINAMICO CON CAPNOGRAFÍA VOLUMÉTRICA, DURANTE LA ANESTESIA GENERAL EN CIRUGÍA NO CARDIACA."**



Certifico que he sido informado(a), de forma clara sobre el objetivo de dicha investigación, que mi colaboración es voluntaria y que los datos por mi proporcionados, así como los derivados de la consulta de mi historia clínica serán tratados de forma ética, bajo los principios de confidencialidad e intimidad, siendo los mismos utilizados sólo para los fines académicos de esta investigación. Igualmente certifico que he entendido y comprendido la naturaleza del estudio, que he comprendido los objetivos, los procedimientos y demás aspectos relacionados con este estudio y que tuve la posibilidad de hacer preguntas para aclarar mis dudas.

Acepto voluntariamente mi participación en el estudio y en constancia, firmo a continuación:

\_\_\_\_\_  
Firma de la persona que entrega el consentimiento

Cédula de Ciudadanía No. \_\_\_\_\_

Fecha:      Día (\_\_\_\_) Mes      (\_\_\_\_) Año (\_\_\_\_)

(espacio para huella)

\_\_\_\_\_  
Nombre completo del profesional que obtuvo el consentimiento

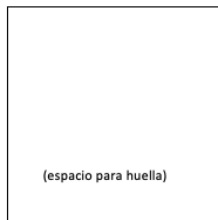
\_\_\_\_\_  
Firma del profesional que obtuvo el consentimiento

Cédula de Ciudadanía No. \_\_\_\_\_

Fecha:      Día (\_\_\_\_) Mes      (\_\_\_\_) Año (\_\_\_\_)

(espacio para huella)

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER



Testigo 1



Testigo 2



Nombre: \_\_\_\_\_ Nombre: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Cédula de Ciudadanía No.  
\_\_\_\_\_

Cédula de Ciudadanía No.  
\_\_\_\_\_