

Artículo original

## Variación de presión de pulso como indicador de carga de volumen en neurocirugías en el Hospital de Clínicas, año 2025

Pulse pressure variation as an indicator of volume load in neurosurgery at the Hospital de Clínicas, year 2025

Kiara Espínola<sup>1</sup>, Juan Meza<sup>1</sup>, Luis Salomón<sup>1</sup> Walter Delgado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Programa de Especialización en Anestesiología, Reanimación y Dolor.

Recibido el 25 de febrero del 2026. Aceptado el 19 de marzo del 2026

**Autor correspondiente:** Kiara Espínola, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Programa de Especialización en Anestesiología, Reanimación y Dolor. San Lorenzo, Paraguay. E-mail: kiaramica@gmail.com

### Resumen

**Introducción:** La optimización de fluidos intraoperatorios es crucial en neurocirugía para garantizar la perfusión cerebral y evitar el edema tisular. Las mediciones estáticas tradicionales poseen un bajo valor predictivo, lo que ha impulsado el uso de parámetros dinámicos basados en la interacción corazón-pulmón. **Objetivo:** Determinar la utilidad de la variación de presión de pulso (VPP) en el manejo hemodinámico y la discriminación de requerimientos terapéuticos en pacientes sometidos a neurocirugías electivas. **Métodos:** Estudio piloto, observacional, descriptivo y transversal en el Hospital de Clínicas (San Lorenzo, Paraguay) entre septiembre y octubre de 2025. Se incluyeron 8 pacientes adultos, ASA I-II, ventilados mecánicamente. Se registraron de forma invasiva la frecuencia cardíaca (FC), presión arterial media (PAM) y VPP en cuatro momentos: post-inducción, inicio quirúrgico, resección/clipado y cierre. Se analizó la necesidad de fluidos o vasopresores según el comportamiento de la VPP. **Resultados:** La FC y la PAM se mantuvieron estables sin variaciones estadísticas significativas a lo largo de la cirugía ( $p = 0,42$  y  $p = 0,19$  respectivamente). Por el contrario, la VPP mostró fluctuaciones significativas entre las etapas quirúrgicas ( $x^2 = 10,37$ ;  $p = 0,016$ ). Los momentos que requirieron cargas de volumen (SF 0,9%) se asociaron con una VPP significativamente elevada (mediana 15%;  $p = 0,014$ ). En contraste, los episodios de hipotensión manejados con vasopresores (noradrenalina) cursaron con valores de VPP bajos ( $p = 0,036$ ). **Conclusiones:** La VPP demostró ser un indicador dinámico útil y sensible en neurocirugía. A diferencia de las variables estáticas tradicionales, permitió discernir con precisión la etiología de la inestabilidad hemodinámica, diferenciando la hipovolemia verdadera de la vasodilatación inducida por anestésicos.

**Palabras clave:** Variación de presión de pulso; Monitoreo hemodinámico; Terapia dirigida por objetivos; Fluidoterapia; Anestesia

### Abstract

**Background:** Intraoperative fluid optimization is critical in neurosurgery to ensure cerebral perfusion and prevent tissue edema. Traditional static measurements have low predictive value, which has driven the use of dynamic parameters based on heart-lung interactions. **Objective:** To determine the utility of pulse pressure variation (PPV) in hemodynamic management and the discrimination of therapeutic requirements in patients undergoing elective neurosurgery. **Methods:** A descriptive, cross-

sectional pilot study was conducted at the Hospital de Clínicas (San Lorenzo, Paraguay) between September and October 2025. Eight adult patients, ASA I-II, under mechanical ventilation were included. Heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), and PPV were invasively recorded at four stages: post-induction, surgical incision, tumor resection/clipping, and closure. The requirement for fluid boluses or vasopressors was analyzed according to PPV behavior. **Results:** HR and MAP remained stable with no statistically significant variations throughout the surgery ( $p = 0.42$  and  $p = 0.19$ , respectively). In contrast, PPV showed significant fluctuations between surgical stages ( $\chi^2 = 10.37$ ;  $p = 0.016$ ). Episodes requiring fluid volume expansion (0.9% saline) were associated with a significantly elevated PPV ( $p = 0.014$ ). Conversely, hypotensive episodes managed with vasopressors (norepinephrine) presented low PPV values ( $p = 0.036$ ). **Conclusions:** PPV proved to be a useful and sensitive dynamic indicator in neurosurgery. Unlike traditional static variables, it accurately discerned the etiology of hemodynamic instability, differentiating true hypovolemia from anesthetic-induced vasodilation.

**Keywords:** Pulse pressure variation; Hemodynamic monitoring; Goal-directed therapy; Fluid therapy; Anesthesia.

## Introducción

La adecuada gestión de fluidos durante la anestesia general constituye uno de los pilares fundamentales de la práctica anestésica moderna, especialmente en cirugías de mediana y alta complejidad o con riesgo significativo de sangrado (1). La administración de fluidos tiene como objetivo mantener una perfusión tisular óptima y garantizar un aporte suficiente de oxígeno a los órganos vitales (1). Sin embargo, el equilibrio entre una reposición insuficiente y una sobrecarga de volumen representa un desafío constante: la hipovolemia puede conducir a hipoperfusión, acidosis láctica y disfunción orgánica múltiple, mientras que la sobrecarga de fluidos se asocia con edema intersticial, deterioro de la oxigenación y aumento de la morbilidad postoperatoria (1,2).

Durante décadas, la práctica anestésica se basó en parámetros hemodinámicos estáticos como la presión venosa central (PVC) o la presión de oclusión de la arteria pulmonar (PAOP) para orientar la terapia de fluidos (3). Sin embargo, múltiples estudios han demostrado que dichos indicadores poseen un bajo valor predictivo respecto a la respuesta a volumen (3,4). Estas mediciones reflejan solo un punto de presión dentro del sistema cardiovascular y no la forma en que el corazón responderá a un aumento de la precarga (4,5). Por este motivo, en los últimos años se produjo un cambio de

paradigma hacia parámetros dinámicos, que aprovechan las variaciones cíclicas inducidas por la ventilación mecánica para predecir si el paciente aumentará su gasto cardíaco tras una expansión de volumen (4,6).

En el ámbito quirúrgico, especialmente en pacientes ventilados y bajo anestesia general, la variación de presión de pulso (VPP) se ha consolidado como el parámetro dinámico más fiable para predecir la respuesta a fluidos, guiando estrategias de terapia dirigida por objetivos (TDO) y contribuyendo a una reanimación más segura y eficiente (6,7). Este cambio conceptual implica pasar de una evaluación estática del estado de volumen a una evaluación funcional basada en la respuesta a volumen (4,7). Este enfoque se ha asociado con menor incidencia de complicaciones, mejor estabilidad hemodinámica y reducción de la estancia hospitalaria (7,8).

Además, diversos trabajos recientes han demostrado que el uso de parámetros dinámicos como la VPP permite reducir el consumo total de fluidos, disminuir la incidencia de edema pulmonar y acortar la estancia hospitalaria, especialmente en procedimientos de alta complejidad (9,10). Estos resultados refuerzan la idea de que la terapia guiada por objetivos, apoyada en indicadores dinámicos, mejora los desenlaces clínicos y la estabilidad hemodinámica intraoperatoria (8,10). Por lo tanto, conocer los

principios fisiológicos, las limitaciones y las condiciones de validez de la VPP es esencial para la práctica anestésica moderna (4,6). Su implementación adecuada permite optimizar el manejo de fluidos e individualizar la respuesta terapéutica (6,9).

En el campo específico de la neuroanestesia, la monitorización precisa de la volemia adquiere una dimensión aún más crítica, dado que tanto la hipotensión como el edema cerebral iatrogénico impactan directamente sobre la presión de perfusión y el pronóstico neurológico final. Frente a este escenario, el presente estudio original se propuso determinar la utilidad clínica de la VPP como indicador dinámico de carga de volumen y herramienta de discriminación terapéutica intraoperatoria en una serie de pacientes sometidos a neurocirugías electivas en nuestro centro hospitalario.

## Metodología

**Diseño y Población:** Se realizó un estudio piloto, observacional, descriptivo y de corte transversal en el Hospital de Clínicas (San Lorenzo, Paraguay) entre septiembre y octubre del año 2025. Se incluyeron pacientes adultos programados para neurocirugías electivas.

**Criterios de Selección:** Se seleccionaron pacientes de 18 a 60 años, de ambos sexos, con estado físico ASA I o II, índice de masa corporal (IMC) entre 18 y 30, y estabilidad hemodinámica previa. Se excluyeron gestantes, pacientes con patologías respiratorias concomitantes, alteración del sensorio basal o cardiopatías severas.

**Protocolo Perioperatorio:** Tras el consentimiento informado, y previo a la inducción anestésica, se colocó una línea arterial invasiva (catéter calibre 22G en arteria radial). La monitorización continua se realizó con un monitor multiparamétrico CARESCAPE B650 (GE Healthcare), que calcula automáticamente la VPP mediante el análisis de la onda de pulso según la fórmula:

$$VPP(\%) = \frac{(PP_{\text{máx}} - PP_{\text{mín}})}{\left(\frac{PP_{\text{máx}} + PP_{\text{mín}}}{2}\right)} \times 100$$

Todos los pacientes recibieron ventilación mecánica controlada por volumen con un volumen corriente de 6–8 mL/kg de peso ideal y frecuencia respiratoria de 12–14 r.p.m., garantizando la ausencia de esfuerzo espontáneo.

**Recolección de Variables:** Se registraron la frecuencia cardíaca (FC), la presión arterial media (PAM) y la VPP en cuatro momentos quirúrgicos específicos: 1) Post-inducción, 2) Inicio quirúrgico (apertura), 3) Momento de resección tumoral o clipado de aneurisma, y 4) Cierre cutáneo. Se cuantificó el volumen de sangrado estimado y las intervenciones terapéuticas ejecutadas: administración de cargas de fluidos (bolos de 250–500 mL de SF 0,9%) ante sospecha de respuesta a volumen (VPP > 13), o uso de vasopresores (noradrenalina) en caso de hipotensión con VPP normal o baja.

**Tabla 1.** Interpretación clínica de valores de la VPP

VPP (%)	Interpretación clínica	Probabilidad de respuesta a fluidos	Conducta sugerida
< 9 %	Precarga independiente	Muy baja	Evitar expansión de volumen
9-13 %	Zona gris	Intermedia	Evaluar con reto de volumen
> 13 %	Precarga dependiente	Alta	Indicado administración de fluidos

Fuente: Adaptado de Michard F, Anesthesiology 2005;103:419–428)

**Análisis Estadístico:** El tamaño de la muestra final para este estudio piloto fue de 8 pacientes. Los datos se tabularon en Microsoft Excel y se analizaron con el software estadístico JASP.

## Resultados

Se evaluó de forma continua a 8 pacientes sometidos a procedimientos neuroquirúrgicos. El comportamiento de las variables hemodinámicas estáticas tradicionales (FC y PAM) se caracterizó por una notable estabilidad clínica a lo largo del acto quirúrgico, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas mediante la prueba de Friedman para la FC ( $p = 0,42$ ) ni para la PAM ( $p = 0,19$ ).

Por el contrario, la variación de presión de pulso (VPP) experimentó fluctuaciones estadísticamente significativas entre las diferentes etapas de la cirugía ( $\chi^2 = 10,37$ ;  $p = 0,016$ ), demostrando una mayor sensibilidad para identificar variaciones funcionales del estado de volumen. Los promedios de los parámetros evaluados en la muestra general se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Promedio de los valores hemodinámicos en los diferentes momentos de las neurocirugías. Hospital de Clínicas. Septiembre-octubre, 2025.  $n=8$

Momento	FC (media $\pm$ DE)	PAM (media $\pm$ DE)	VPP (media $\pm$ DE)
Post Inducción	71,8 $\pm$ 14,5	98,0 $\pm$ 21,4	21,6 $\pm$ 12,1
Inicio quirúrgico	71,1 $\pm$ 6,2	78,6 $\pm$ 8,8	15,8 $\pm$ 11,9
Clipado/resección	66,1 $\pm$ 10,0	82,6 $\pm$ 4,5	9,8 $\pm$ 7,6
Cierre quirúrgico	68,3 $\pm$ 12,1	77,1 $\pm$ 9,7	11,6 $\pm$ 8,1

A nivel individual, el análisis pormenorizado permitió validar la utilidad de la VPP para guiar la toma de decisiones terapéuticas fluidas frente a vasopresores:

- **Cargas de fluidos:** En los momentos específicos en que los pacientes presentaron criterios de precarga-dependencia (VPP  $\geq 13\%$ ), la administración dirigida de bolos de SF 0,9%

(que sumaron acumulados de entre 1.800 y 3.000 mL en los pacientes respondedores) resultó en una reducción inmediata y sostenida de la VPP, evidenciando una optimización de la volemia funcional. En la muestra general, la mediana de la VPP en los momentos de expansión hídrica fue del 15%, significativamente mayor que cuando no se requirió ( $p = 0,014$ ). El Paciente 1 actuó como control fisiológico inverso: se le administraron 1.500 mL de carga con valores de VPP persistentemente bajos ( $\leq 9\%$ ), confirmando que la fluidoterapia empírica no modifica los indicadores en estados de precarga-independencia.

- **Uso de vasopresores:** Los episodios de hipotensión arterial que requirieron soporte con infusión de noradrenalina (Pacientes 1, 5, 7 y 8) coincidieron con rangos de VPP marcadamente bajos o normalizados (mediana del 8%), lo que descartó una etiología hipovolémica y confirmó un origen puramente vasodilatador o distributivo inducido por el plano anestésico. Esta diferencia entre el requerimiento de volumen y vasopresores según la VPP fue estadísticamente significativa ( $p = 0,036$ ).

No se demostraron asociaciones estadísticamente significativas entre las variables demográficas y la VPP, aunque se observó una correlación positiva no significativa entre una mayor edad y valores basales de VPP más elevados ( $\rho = 0,61$ ;  $p = 0,11$ ). La monitorización en tiempo real y los registros gráficos del software CARESCAPE permitió documentar de manera objetiva los picos de VPP elevados.

## Discusión

El presente análisis evidenció que la variación de presión de pulso (VPP) constituye un parámetro dinámico sustancialmente más sensible que la frecuencia cardíaca (FC) o la presión arterial media (PAM) para detectar las fluctuaciones del estado de volumen

intraoperatorio en el paciente neuroquirúrgico. Mientras que las variables estáticas y de presión macrohemodinámica habituales de nuestra muestra se mantuvieron en rangos de aparente estabilidad clínica y sin diferencias estadísticas a lo largo de las fases quirúrgicas ( $p > 0,19$ ), la VPP demostró una variabilidad interetapas altamente significativa ( $p = 0,016$ ). Este hallazgo corrobora el extendido consenso fisiológico de que los indicadores de presión estática fallan estructuralmente en predecir la respuesta cardiovascular a fluidos, ya que la estimación de la precarga requiere de una evaluación funcional basada en la interacción corazón-pulmón bajo ventilación a presión positiva (1,3).

Fisiológicamente, los cambios cíclicos en la presión intratorácica inducidos por el ventilador mecánico modulan el retorno venoso, modificando transitoriamente la precarga del ventrículo derecho y, posteriormente, el volumen sistólico (VS) del ventrículo izquierdo (1,5). En pacientes con depleción real o relativa de volumen (precarga-dependientes), las oscilaciones de la presión de pulso se amplifican marcadamente, un fenómeno que sustenta el uso clínico de la VPP (3,6). En nuestra serie, los momentos asociados a inestabilidad hemodinámica que requirieron expansión hídrica con Solución Fisiológica al 0,9% se caracterizaron por una mediana de VPP del 15%. Este valor se alinea de forma precisa con el punto de corte dicotómico clásico ( $\geq 13\%$ ) reportado originalmente por Michard (6) y ampliamente respaldado por el metaanálisis de Marik y colaboradores (10), consolidando a la VPP como el indicador dinámico predictivo con mayor precisión diagnóstica en el perioperatorio.

La especificidad de la VPP para discernir la etiología del compromiso circulatorio quedó demostrada al analizar los episodios de hipotensión de este estudio que requirieron soporte con noradrenalina. Durante dichos eventos, los pacientes cursaron con una VPP deprimida o normalizada (mediana del 8%). En términos de función ventricular, un valor de VPP  $< 9\%$  ubica al sistema cardiovascular en

la porción plana de la curva de Frank-Starling (precarga-independencia), lo que significa que un aporte hídrico adicional no incrementará el gasto cardíaco y, por el contrario, exacerbará el riesgo de edema tisular (4,12). En este contexto, la caída de la PAM responde a una pérdida del tono vasomotor arterial inducido por fármacos como el propofol o los halogenados, patología cuyo tratamiento de elección es la restauración de la resistencia vascular sistémica mediante vasopresores y no la sobrecarga de volumen (12,13).

El uso de la VPP para discriminar entre el requerimiento de fluidos y vasopresores resultó estadísticamente significativo en nuestra investigación ( $p = 0,036$ ), sirviendo como eje para la Terapia Dirigida por Objetivos (TDO). Diversos ensayos clínicos controlados y aleatorizados, como los desarrollados por Pearse (11) y Cannesson (14), han demostrado de forma sistemática que la implementación de algoritmos perioperatorios guiados por objetivos dinámicos reduce la variabilidad hemodinámica, optimiza el transporte de oxígeno y previene tanto la hipoperfusión como la hiperhidratación iatrogénica, lo que impacta directamente en una disminución de las complicaciones postoperatorias y en una reducción de la estancia hospitalaria total.

En neuroanestesia, la restricción racional de fluidos cobra una relevancia crítica debido a que la barrera hematoencefálica se encuentra frecuentemente alterada por el tumor o la lesión vascular subyacente (15). La administración empírica excesiva de cristaloides altera las presiones hidrostáticas y favorece la extravasación de líquido al intersticio cerebral, incrementando el edema peri-lesional y comprometiendo la presión de perfusión cerebral (13,15). Los resultados de este piloto ilustran este peligro mediante el análisis del Paciente 1, quien recibió 1.500 mL de volumen de manera empírica a pesar de mantener valores de VPP de control persistentemente bajos ( $\leq 9\%$ ), una práctica que el monitoreo dinámico demostró ineficaz para modificar los parámetros cardiovasculares y potencialmente nociva para el tejido cerebral.

Por último, se observó una correlación positiva, aunque no estadísticamente significativa debido al tamaño de nuestra muestra, entre una mayor edad de los pacientes y niveles basales elevados de VPP ( $\rho = 0,61$ ;  $p = 0,11$ ). Es bien sabido que los cambios estructurales del envejecimiento, tales como la senescencia endotelial y la pérdida de elasticidad de las grandes arterias conductoras, reducen la distensibilidad arterial (compliance) (1,4). Al disminuir la compliance, los cambios mecánicos intratorácicos sobre el volumen sistólico se traducen en oscilaciones de presión de pulso artificialmente magnificadas (4). Como enfatizan Monnet y colaboradores (4,5), estas situaciones clínicas, junto con la presencia de arritmias cardíacas o volúmenes corrientes bajos ( $< 6$  mL/kg), constituyen limitaciones bien descritas de la VPP, obligando al anestesiólogo a evaluar el parámetro dentro de una "zona gris" de incertidumbre e integrar la información con el contexto clínico y otras pruebas funcionales dinámicas.

## Conclusión

---

El presente estudio demostró que la variación de presión de pulso (VPP) es un parámetro dinámico útil, sensible y clínicamente superior a las variables tradicionales para el manejo hemodinámico intraoperatorio en neurocirugía. Mientras que la frecuencia cardíaca y la presión arterial media permanecieron estables y resultaron insensibles para detectar cambios en la volemia, la VPP fluctuó significativamente entre las etapas quirúrgicas ( $p = 0,016$ ), alcanzando su punto máximo en la post-inducción y normalizándose tras las intervenciones analizadas.

La VPP validó su rol predictivo al asociarse de manera clara con las necesidades terapéuticas: valores elevados identificaron con precisión los estados de hipovolemia que respondieron favorablemente a cargas de Solución Fisiológica al 0,9%, mientras que valores bajos discriminaron adecuadamente los episodios de hipotensión por vasodilatación que requerían vasopresores. Se concluye que la incorporación de la VPP en los protocolos de Terapia Dirigida por Objetivos optimiza la toma de decisiones médicas en tiempo real, previniendo la sobrecarga hídrica innecesaria y garantizando la estabilidad hemodinámica del paciente neuroquirúrgico.

## Referencias bibliográficas

---

1. Pinsky MR. Cardiopulmonary interactions: The effects of lung inflation on the circulation. *Crit Care Med.* 2015;43(12):2636–48.
2. Marik PE. Goal-directed therapy: A systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med.* 2014;42(10):2163–70.
3. Michard F, Teboul JL. Using dynamic indicators to assess fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care.* 2002;6(3):222–9.
4. Monnet X, Pinsky MR, Teboul JL. Predicting fluid responsiveness. *Intensive Care Med.* 2021;47(8):910–2.
5. Monnet X, Teboul JL. Assessment of volume responsiveness during mechanical ventilation: recent advances. *Crit Care.* 2017;21(1):269.
6. Michard F. Changes in arterial pressure during mechanical ventilation. *Anesthesiology.* 2005;103(2):419–28.
7. Scheeren TWL, Wiesenack C, Gerlach H, Marx G. Goal-directed fluid therapy in adults: a European perspective. *Crit Care.* 2013;17(Suppl 1):S1.

8. Cecconi M, De Backer D, Antonelli M, et al. Consensus on circulatory shock and hemodynamic monitoring. *Intensive Care Med.* 2014;40(12):1795–815.
9. Marik PE, Cavallazzi M, Vasu T, Hirani R. Dynamic changes in arterial waveform derived parameters and fluid responsiveness in critically ill patients: a systematic review of the literature. *Crit Care Med.* 2009;37(9):2642–7.
10. Marik PE, Monnet X, Teboul JL. Hemodynamic parameters to guide fluid therapy. *Annals of Intensive Care.* 2011;1(1):1.
11. Pearse RM, Harrison DA, MacDonald N, et al. Effect of a perioperative, cardiac output-guided hemodynamic therapy algorithm on outcomes following major gastrointestinal surgery: a randomized clinical trial and overall survival study. *JAMA.* 2014;311(21):2187–97.
12. Teboul JL, Monnet X, Chemla D, Michard F. Functional hemodynamic monitoring with pulse pressure variation: a review. *Intensive Care Med.* 2019;45(10):1352–64.
13. Joosten A, Rinehart J, Bardaji L, et al. Goal-directed fluid therapy using stroke volume variation for patients undergoing major neurosurgical procedures. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2018;30(3):214–21.
14. Cannesson M, Salmi LR, Chen G, et al. The effect of cardiac output monitoring on perioperative fluid management and outcome in patients undergoing high risk surgery: a randomized controlled trial. *Anesthesiology.* 2011;115(4):754–61.
15. Rasmussen M, Cold GE. Fluid management in neurosurgical patients: a balance between cerebral perfusion and brain edema. *Curr Opin Anaesthesiol.* 2013;26(5):535–41.