

Patrones hemodinámicos intraoperatorios y su asociación con desenlaces posoperatorios tempranos: Patrones hemodinámicos quirúrgicos

Intraoperative hemodynamic patterns and their association with early postoperative outcomes: Surgical hemodynamic patterns

Alberto Guevara Tirado M.D.^{1,*}

¹ Medicina, Universidad Científica del Sur. Perú.

Fuente de financiamiento: Ninguna.

Conflicto de intereses: Ninguno.

Fecha de recepción: 17 de enero de 2026 / Fecha de aceptación: 2 de junio de 2026

ABSTRACT

Introduction: Intraoperative hemodynamic responses are heterogeneous and may be associated with early postoperative clinical outcomes.

Objective: To identify clinically differentiable intraoperative hemodynamic patterns and evaluate their association with early postoperative outcomes. **Materials and Methods:** A retrospective analytical cohort study using an open-access perioperative database including 6,248 patients undergoing non-cardiac surgery analyzed in multivariable models. Intraoperative variables were standardized and analyzed using unsupervised clustering, with the optimal number of groups determined by the silhouette coefficient. Associations with ICU admission and length of stay were assessed using logistic and negative binomial regression, adjusting for relevant clinical covariates. **Results:** Two clearly differentiated intraoperative hemodynamic patterns were identified. Separation was primarily driven by fluid administration, blood loss, and red blood cell transfusion, which together explained more than 65% of the variability between clusters. The standard pattern was associated with a lower frequency of ICU admission (OR 0.07; 95% CI: 0.03-0.14) and shorter ICU stays (IRR 0.80) and postoperative hospital length of stay (IRR 0.71) after adjustment for clinical covariates. **Conclusions:** Intraoperative hemodynamic patterns are associated with early postoperative outcomes, suggesting clinically relevant differences in perioperative hemodynamic trajectories.

Keywords: Anesthesia, perioperative period, treatment outcome, operating rooms, cluster analysis.

RESUMEN

Introducción: La respuesta hemodinámica intraoperatoria es heterogénea y podría asociarse con desenlaces clínicos posoperatorios tempranos. **Objetivo:** Identificar patrones hemodinámicos intraoperatorios clínicamente diferenciables y evaluar su asociación con desenlaces posoperatorios tempranos. **Materiales y método:** Estudio analítico de cohorte retrospectiva de una base de datos perioperatoria de acceso abierto de 6.248 pacientes sometidos a cirugía no cardíaca analizados en modelos multivariados. Las variables intraoperatorias se estandarizaron y analizaron mediante clustering no supervisado, determinando el número óptimo de grupos con el coeficiente de silhouette. Las asociaciones con ingreso a UCI y duración de estancias se evaluaron mediante regresión logística y binomial negativa, ajustando por covariables clínicas relevantes.

Resultados: Se identificaron dos patrones hemodinámicos intraoperatorios claramente diferenciados. La separación estuvo dominada por la administración de fluidos, la pérdida sanguínea y la transfusión de glóbulos rojos, que explicaron más del 65% de la variabilidad entre clusters. El patrón estándar se asoció con menor frecuencia de ingreso a UCI (OR 0,07; IC95%: 0,03-0,14) y con estancias más cortas en UCI (IRR 0,80) y hospitalización posoperatoria (IRR 0,71), tras ajuste por covariables clínicas. **Conclusiones:** Los patrones hemodinámicos intraoperatorios se relacionan con desenlaces posoperatorios tempranos, sugiriendo diferencias clínicamente relevantes en el curso hemodinámico perioperatorio.

Palabras clave: Anestesia, período perioperatorio, resultado del tratamiento, quirófanos, análisis por conglomerados.

*Autor de correspondencia:

Alberto Guevara Tirado M.D.

albertoguevara1986@gmail.com

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7536-7884>

ISSN: 0719-6792



Introducción

El manejo hemodinámico intraoperatorio constituye un componente central del cuidado perioperatorio y representa uno de los principales determinantes de la estabilidad fisiológica durante la cirugía[1],[2]. A lo largo del acto quirúrgico, los pacientes están expuestos a múltiples agresiones, como el estrés quirúrgico, las variaciones del volumen intravascular y los cambios en la resistencia vascular[3],[4], que requieren decisiones clínicas continuas orientadas a preservar la perfusión tisular y prevenir la disfunción orgánica.

La evaluación del riesgo perioperatorio suele centrarse en características basales del paciente, el tipo de cirugía y escalas de riesgo preoperatorias[5],[6]. Sin embargo, este enfoque puede no capturar plenamente la complejidad del curso intraoperatorio, donde las intervenciones terapéuticas y la respuesta fisiológica del paciente evolucionan de manera dinámica[7],[8]. En este contexto, el período intraoperatorio constituye una fase particularmente relevante, en la que se acumulan exposiciones hemodinámicas que podrían influir en los desenlaces posoperatorios tempranos.

Estas exposiciones no ocurren de forma aislada y podrían organizarse en patrones o perfiles que reflejen combinaciones de intervenciones terapéuticas y respuestas fisiológicas con distintos grados de compromiso hemodinámico. Identificar dichos patrones podría permitir una caracterización más integrada del estado hemodinámico intraoperatorio.

El enfoque basado en patrones ha sido ampliamente utilizado en otras áreas de la medicina crítica y perioperatoria para describir subgrupos clínicamente relevantes dentro de poblaciones heterogéneas[9],[10]. No obstante, la identificación de patrones hemodinámicos intraoperatorios y su posible relación con desenlaces posoperatorios tempranos ha sido explorada de manera limitada.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo identificar patrones hemodinámicos intraoperatorios clínicamente diferenciables y evaluar su asociación con desenlaces posoperatorios tempranos, buscando contribuir a una comprensión más integrada del curso hemodinámico intraoperatorio y su potencial relevancia para la estratificación de riesgo perioperatorio.

Materiales y Métodos

Diseño y población

Se realizó un estudio analítico de cohorte retrospectiva basado en el análisis secundario de datos provenientes de VitalDB, una base de datos clínica de acceso abierto que integra información perioperatoria anonimizada y de alta resolución de pacientes sometidos a cirugía en un hospital universitario de tercer nivel en Corea del Sur[11]. La cohorte incluyó pacientes sometidos a cirugía no cardíaca bajo anestesia general, anestesia regional o sedación, entre agosto de 2016 y junio de 2017.

De los 6.388 casos disponibles, todos fueron incluidos en el análisis descriptivo y en la identificación de patrones hemodinámicos intraoperatorios. Para los análisis multivariantes de asociación con desenlaces posoperatorios, se incluyeron 6.248 pacientes, tras excluir 140 casos con información incompleta en

covariables de ajuste preespecificadas. El estudio se reportó de acuerdo con la guía STROBE, y el sexo fue considerado conforme a las recomendaciones SAGER.

Variables y mediciones

Las variables demográficas incluyeron edad y sexo. El estado físico preoperatorio se evaluó mediante la clasificación de la *American Society of Anesthesiologists* (ASA), y la condición de cirugía de emergencia se registró como variable dicotómica. El índice de masa corporal provino del peso y talla preoperatorios.

Las variables bioquímicas preoperatorias incluyeron hemoglobina, recuento plaquetario, creatinina, urea, sodio, potasio, glucosa, albúmina, aspartato aminotransferasa y alanina aminotransferasa.

Las variables intraoperatorias incluyeron la administración de fluidos cristaloides y coloides, la pérdida sanguínea estimada, la diuresis, la transfusión de glóbulos rojos y plasma fresco, y el uso de vasopresores (efedrina, fenilefrina y epinefrina), registradas a partir de los sistemas automatizados de anestesia. Para su análisis, las variables intraoperatorias se expresaron como tasas por hora, calculadas dividiendo el volumen o dosis total por la duración del procedimiento quirúrgico. Se incluyeron exclusivamente variables intraoperatorias con registro automatizado y alta completitud en la base VitalDB; no se consideraron variables con documentación inconsistente o registro esporádico. Los desenlaces posoperatorios incluyeron el ingreso a la unidad de cuidados intensivos (UCI), la duración de la estancia en UCI y la estancia hospitalaria posoperatoria.

Los desenlaces posoperatorios incluyeron el ingreso a la unidad de cuidados intensivos (UCI), la duración de la estancia en UCI y la estancia hospitalaria posoperatoria.

Análisis estadístico

Para identificar patrones latentes de manejo y respuesta hemodinámica intraoperatoria, las variables intraoperatorias seleccionadas fueron estandarizadas mediante puntuaciones *z* y analizadas mediante un enfoque de clustering no supervisado. El número óptimo de *clusters* se determinó utilizando el coeficiente de silhouette promedio, complementado con análisis de estabilidad. Los *clusters* resultantes se interpretaron como patrones hemodinámicos intraoperatorios. Dado que el objetivo del análisis fue identificar patrones intraoperatorios emergentes y no comparar grupos de tamaño equivalente, no se impuso un balance de tamaños entre los *clusters* identificados. La contribución relativa de cada variable a la separación entre patrones se estimó a partir de la diferencia absoluta de los centroides estandarizados entre *clusters*.

La separación entre patrones hemodinámicos intraoperatorios se exploró gráficamente mediante análisis de componentes principales, con fines descriptivos. Las características intraoperatorias de los patrones se compararon de forma descriptiva utilizando medianas e intervalos intercuartílicos.

La distribución de los patrones según tipo de cirugía se evaluó mediante tablas de contingencia y proporciones.

Para evaluar la asociación entre el patrón hemodinámico intraoperatorio y los desenlaces posoperatorios, se construyeron modelos multivariantes. El ingreso a la unidad de cuidados intensivos (UCI) se analizó mediante regresión logística, repor-

tando odds ratios (OR) con intervalos de confianza al 95%. La duración de la estancia en UCI y la estancia hospitalaria posoperatoria se analizaron mediante modelos de regresión binomial negativa, reportando razones de tasas de incidencia (IRR). Todos los modelos se ajustaron por edad, sexo, índice de masa corporal, clasificación ASA, cirugía de emergencia y tipo de cirugía.

Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$. Los análisis se realizaron utilizando *software* estadístico R.

Consideraciones éticas

El estudio se desarrolló mediante un análisis secundario de datos de libre acceso obtenidos de VitalDB, una base de datos pública creada y gestionada por sus investigadores originales y alojada en la plataforma PhysioNet[11]. La obtención, desidentificación y publicación de la información fue realizada previamente por los responsables del recurso, con la aprobación del Comité de Ética del *Seoul National University Hospital* (IRB H-1408-101-605) y el registro correspondiente en ClinicalTrials.gov (NCT02914444). Dado que los datos se encuentran completamente anonimizados, el uso secundario de la base estuvo exento de consentimiento informado. El presente trabajo no involucró recolección primaria de datos ni acceso a información identificable y se llevó a cabo de acuerdo con los términos de la licencia *Creative Commons Attribution 4.0*.

Resultados

La cohorte incluyó 6.388 pacientes sometidos a cirugía no cardíaca, con una mediana de edad de 59 años y una distribución equilibrada por sexo. La mayoría presentó clasificación ASA I-II y cirugías electivas, predominando los procedimientos de cirugía general y colorrectal. Los parámetros bioquímicos preoperatorios mostraron valores globalmente conservados. El ingreso a UCI fue infrecuente, reflejado por una mediana de estancia en UCI de 0 días, lo que indica que la mayoría de los pacientes no requirió cuidados intensivos posoperatorios (Tabla 1).

La contribución cuantitativa de las variables mostró que la definición de los patrones hemodinámicos estuvo dominada por la tasa de administración de fluidos, la pérdida sanguínea y la transfusión de glóbulos rojos, que en conjunto explicaron más del 65% de la diferenciación entre *clusters*. El uso de vasopresores, particularmente fenilefrina y efedrina, aportó una contribución intermedia, mientras que la diuresis tuvo un peso menor. Las variables relacionadas con plasma fresco y epinefrina contribuyeron de forma marginal a la separación de los patrones (Tabla 2).

El análisis identificó dos patrones hemodinámicos intraoperatorios bien diferenciados. En el espacio de los componentes principales, los pacientes clasificados como patrón de alta carga hemodinámica mostraron una clara separación respecto al patrón hemodinámico estándar, lo que refleja perfiles intrao-

Tabla 1. Características basales, bioquímicas y perioperatorias de la cohorte (n = 6.388)

Variable	Total
Número de pacientes	6.388
Edad, mediana [RIQ] (años)	59,00 [48,00-68,00]
IMC, mediana [RIQ] (kg/m ²)	23,10 [20,90-25,40]
Sexo masculino, n (%)	3 243 (50,8)
Clasificación ASA, n (%)	ASA I-II: 5 491 (86,0) · ASA III-IV: 751 (11,8) · ASA VI: 13 (0,2) · No disponible: 133 (2,1)
Cirugía de emergencia, n (%)	782 (12,2)
Departamento quirúrgico, n (%)	Cirugía general: 4 930 (77,2) · Ginecología: 230 (3,6) · Cirugía torácica: 1 111 (17,4) · Urología: 117 (1,8)
Tipo de cirugía, n (%)	Biliar/Páncreas: 812 (12,7) · Mama: 434 (6,8) · Colorrectal: 1 350 (21,1) · Hepática: 258 (4,0) · Resección mayor: 584 (9,1) · Resección menor: 553 (8,7) · Otros: 799 (12,5) · Estómago: 676 (10,6) · Tiroides: 257 (4,0) · Trasplante: 403 (6,3) · Vascular: 262 (4,1)
Hemoglobina preoperatoria (g/dL), mediana [RIQ]	12,9 [11,8-14,2]
Plaquetas preoperatorias (×10 ³ /μL), mediana [RIQ]	223 [176-281]
Creatinina preoperatoria (mg/dL), mediana [RIQ]	0,86 [0,70-1,05]
Urea preoperatoria (mg/dL), mediana [RIQ]	28,0 [22,0-36,0]
Sodio preoperatorio (mmol/L), mediana [RIQ]	139,0 [137,0-141,0]
Potasio preoperatorio (mmol/L), mediana [RIQ]	4,1 [3,8-4,4]
Glucosa preoperatoria (mg/dL), mediana [RIQ]	103 [92-121]
Albúmina preoperatoria (g/dL), mediana [RIQ]	4,0 [3,6-4,3]
AST preoperatoria (U/L), mediana [RIQ]	24 [18-34]
ALT preoperatoria (U/L), mediana [RIQ]	22 [16-33]
Ingreso a UCI, n (%)	103 (1,6)

Tabla 2. Contribución cuantitativa de las variables a la definición de los patrones hemodinámicos

Variable	Centroide Cluster 1 (z)	Centroide Cluster 2 (z)	$\Delta z $	Contribución (%)
Tasa de fluidos (mL/h)	2,31	-0,41	2,72	24,6
Pérdida sanguínea estimada (mL/h)	2,08	-0,36	2,44	22,1
Transfusión de glóbulos rojos (U/h)	1,95	-0,29	2,24	20,3
Fenilefrina (μ g/h)	1,42	-0,18	1,6	14,5
Efedrina (mg/h)	1,21	-0,16	1,37	12,4
Diuresis intraoperatoria (mL/h)	0,88	-0,12	1	6,1
Transfusión de plasma fresco (U/h)	0,21	-0,05	0,26	2,1
Epinefrina (μ g/h)	0,18	-0,04	0,22	1,9
Total	-	-	11,85	100

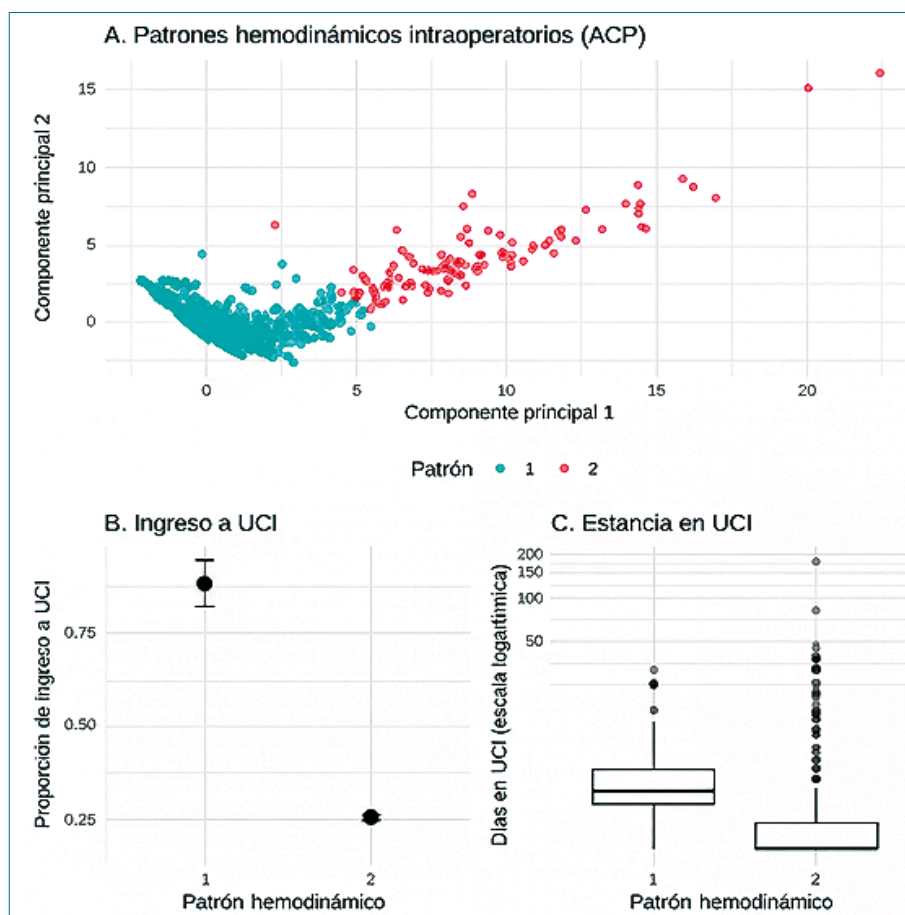


Figura 1. Patrones hemodinámicos intraoperatorios y desenlaces tempranos. (A) Separación de los patrones en el espacio de componentes principales; (B) Ingreso a UCI según patrón; (C) Estancia en UCI entre pacientes admitidos.

operatorios marcadamente distintos. El patrón de alta carga hemodinámica se asoció con una mayor proporción de ingreso a la unidad de cuidados intensivos (UCI) en comparación con el patrón estándar. Asimismo, entre los pacientes que ingresaron a UCI, el patrón de alta carga presentó una mayor duración de la estancia en UCI, mientras que el patrón estándar se caracterizó por estancias más cortas. En conjunto, estos hallazgos indican que los patrones hemodinámicos intraoperatorios no solo difieren en su perfil fisiológico, sino que también se asocian con desenlaces clínicos tempranos relevantes (Figura 1).

El patrón de alta carga hemodinámica se caracterizó por tasas significativamente mayores de administración de fluidos, pérdida sanguínea y diuresis intraoperatoria en comparación con el patrón hemodinámico estándar. Asimismo, este patrón mostró un uso más frecuente e intenso de transfusiones de glóbulos rojos y plasma fresco, así como mayores requerimientos de vasopresores, particularmente efedrina, fenilefrina y epinefrina. En contraste, el patrón estándar presentó medianas cercanas a cero para la mayoría de las variables farmacológicas y transfusionales, lo que refleja un perfil intraoperatorio hemodi-

Tabla 3. Características de los patrones hemodinámicos intraoperatorios

Variable (mediana [IQR])	Patrón de alta carga	Patrón estándar
Fluidos (mL/h)	1108,37 [706,10-1552,05]	381,82 [266,67-545,45]
Pérdida sanguínea estimada (mL/h)	680,00 [365,08-1221,12]	60,00 [33,33-105,88]
Diuresis (mL/h)	79,23 [35,14-142,86]	59,57 [34,29-103,04]
Transfusión de glóbulos rojos (U/h)	1,75 [0,99-3,50]	0,00 [0,00-0,00]
Transfusión de plasma fresco (U/h)	1,26 [0,73-1,85]	0,00 [0,00-0,00]
Efedrina (mg/h)	3,17 [0,00-8,07]	0,00 [0,00-5,62]
Fenilefrina (µg/h)	35,29 [0,00-117,89]	0,00 [0,00-0,00]
Epinefrina (µg/h)	4,84 [0,00-20,13]	0,00 [0,00-0,00]

Tabla 4. Distribución de los patrones hemodinámicos intraoperatorios según tipo de cirugía

Tipo de cirugía	Patrón estándar, n (%)	Patrón de alta carga, n (%)	Total
Biliar / Páncreas	809 (99,6)	3 (0,4)	812
Mama	433 (99,8)	1 (0,2)	434
Colorrectal	1.343 (99,5)	7 (0,5)	1.350
Hepática	255 (98,8)	3 (1,2)	258
Resección mayor	583 (99,8)	1 (0,2)	584
Resección menor	553 (100,0)	0 (0,0)	553
Otros	767 (96,0)	32 (4,0)	799
Estómago	675 (99,9)	1 (0,1)	676
Tiroides	257 (100,0)	0 (0,0)	257
Trasplante	354 (87,8)	49 (12,2)	403
Vascular	256 (97,7)	6 (2,3)	262
Total	6.285 (98,4)	103 (1,6)	6.388

námicamente estable (Tabla 3).

Los patrones hemodinámicos intraoperatorios se distribuyeron en todos los tipos de cirugía evaluados. El patrón hemodinámico estándar predominó en la mayoría de los procedimientos, mientras que el patrón de alta carga hemodinámica fue poco frecuente en términos absolutos. Aunque el patrón de alta carga fue infrecuente, mostró una separación multivariada clara y consistente, así como asociaciones robustas con los desenlaces evaluados, lo que respalda su relevancia clínica como perfil intraoperatorio de mayor riesgo. Sin embargo, su proporción relativa fue mayor en cirugías de trasplante y, en menor medida, en procedimientos clasificados como "otros" y cirugías vasculares. Estos hallazgos indican que los patrones hemodinámicos intraoperatorios reflejan perfiles fisiológicos transversales, más que características exclusivas de un tipo quirúrgico específico (Tabla 4).

En los modelos ajustados, el patrón hemodinámico estándar se asoció con una probabilidad significativamente menor de ingreso a UCI en comparación con el patrón de alta carga hemodinámica. Entre los pacientes admitidos a UCI, el patrón estándar también se asoció con una menor duración de la estancia en cuidados intensivos. De manera consistente, este patrón se relacionó con una menor estancia hospitalaria posoperatoria. La edad, la clasificación ASA y la cirugía de emergencia mostraron asociaciones independientes con todos los desenlaces

evaluados (Tabla 5). Todos los modelos multivariados fueron ajustados por edad, sexo, índice de masa corporal, clasificación ASA, cirugía de emergencia y tipo de cirugía.

Discusión

En este estudio se identificaron dos patrones hemodinámicos intraoperatorios claramente diferenciados, que reflejan patrones integrados de exposición hemodinámica durante la cirugía y se asocian de manera consistente con desenlaces posoperatorios tempranos. Estos hallazgos refuerzan la noción de que el curso intraoperatorio no es un fenómeno homogéneo, sino un proceso dinámico en el que se configuran perfiles fisiológicos con potencial impacto clínico más allá del tipo de procedimiento quirúrgico[12],[13].

La caracterización cuantitativa de los patrones mostró que la diferenciación estuvo dominada por variables relacionadas con el balance circulatorio y la pérdida sanguínea, particularmente la tasa de administración de fluidos, la magnitud del sangrado y la necesidad de transfusión de glóbulos rojos[14],[15]. Estas variables pueden actuar como marcadores indirectos de inestabilidad hemodinámica, hipovolemia relativa y alteraciones de la perfusión tisular, fenómenos que frecuentemente coexisten en el contexto de cirugías complejas o con complicaciones intrao-

Tabla 5. Asociación entre patrón hemodinámico y desenlaces posoperatorios**Tabla 5A. Ingreso a UCI (modelo de regresión logística ajustado)**

Variable	OR	IC95%	p
Patrón estándar (vs. alta carga)	0,07	0,03 - 0,14	< 0,001
Edad (por año)	1,03	1,03 - 1,04	< 0,001
Sexo masculino	1,51	1,29 - 1,77	< 0,001
IMC	0,95	0,93 - 0,97	< 0,001
Clasificación ASA	2,39	2,11 - 2,72	< 0,001
Cirugía de emergencia	1,84	1,47 - 2,29	< 0,001

Tabla 5B. Estancia en UCI entre pacientes admitidos (modelo binomial negativa)

Variable	IRR	IC95%	p
Patrón estándar (vs. alta carga)	0,8	0,65 - 0,99	0,04
Edad	0,99	0,99 - 1,00	0,02
Clasificación ASA	1,62	1,48 - 1,77	< 0,001
Cirugía de emergencia	1,83	1,57 - 2,12	< 0,001

Tabla 5C. Estancia hospitalaria postoperatoria (modelo binomial negativa)

Variable	IRR	IC95%	p
Patrón estándar (vs. alta carga)	0,71	0,62 - 0,82	< 0,001
Edad	1	1,00 - 1,00	< 0,001
Sexo masculino	1,1	1,06 - 1,14	< 0,001
Clasificación ASA	1,49	1,45 - 1,54	< 0,001
Cirugía de emergencia	1,37	1,30 - 1,45	< 0,001

Todos los modelos multivariantes fueron ajustados por edad, sexo, índice de masa corporal, clasificación ASA, cirugía de emergencia y tipo de cirugía.

operatorias[16],[17]. La contribución intermedia de los vasopresores sugiere un contexto de soporte farmacológico reactivo, orientado a mantener la presión arterial frente a alteraciones del volumen efectivo o de la resistencia vascular sistémica, más que una estrategia hemodinámica primaria.

El patrón de alta carga hemodinámica se caracterizó por una mayor intensidad de intervenciones intraoperatorias, incluyendo mayores volúmenes administrados, mayor sangrado, mayor uso de hemoderivados y un requerimiento más frecuente de vasopresores. Este patrón puede interpretarse como la expresión de una respuesta fisiológica exigida por un entorno quirúrgico más agresivo o por una menor reserva cardiovascular del paciente. La coexistencia de sangrado significativo, reposición volumétrica y soporte vasoactivo sugiere un estado de estrés hemodinámico prolongado, que podría favorecer disfunción microcirculatoria, inflamación sistémica y alteraciones de la oxigenación tisular[18],[19], mecanismos que podrían mediar la relación entre estrés hemodinámico y desenlaces adversos.

En contraste, el patrón estándar presentó un perfil caracterizado por una exposición mínima a intervenciones hemodinámicas intensivas, con medianas cercanas a cero para la mayoría de las variables farmacológicas y transfusionales. Este patrón es compatible con un curso intraoperatorio fisiológicamente estable, en el que los mecanismos compensatorios del paciente y la estrategia anestésica permiten mantener la homeostasis sin requerir soporte intensivo. Desde una perspectiva clínica, este patrón podría representar un estado de menor agresión hemodinámica acumulada, incluso en procedimientos quirúrgicos

potencialmente mayores.

La asociación entre el patrón de alta carga y una mayor frecuencia de ingreso a UCI, así como una mayor duración de la estancia en cuidados intensivos y hospitalaria, respalda la relevancia clínica de estos patrones intraoperatorios. Estos desenlaces no parecen explicarse únicamente por factores basales, dado que la asociación se mantuvo tras el ajuste por edad, estado físico preoperatorio y cirugía de emergencia. Si bien estos patrones pueden resultar familiares desde la práctica clínica cotidiana, uno de los aportes centrales de este estudio es demostrar que dichas trayectorias intraoperatorias pueden identificarse y cuantificarse de manera objetiva, integrando múltiples exposiciones hemodinámicas en un patrón reproducible con valor pronóstico independiente.

Un hallazgo particularmente relevante es que ambos patrones se distribuyeron transversalmente entre los distintos tipos de cirugía, incluyendo procedimientos de baja y alta complejidad. Aunque el patrón de alta carga fue más frecuente en cirugías de trasplante y en algunos procedimientos vasculares, su presencia en múltiples categorías quirúrgicas indica que estos patrones no representan simplemente una clasificación del tipo de cirugía, sino más bien patrones de respuesta hemodinámica intraoperatoria. Esto refuerza el potencial valor de un enfoque basado en patrones hemodinámicos intraoperatorios como una herramienta complementaria a la estratificación basada en el procedimiento. En este contexto, la marcada asimetría en el tamaño de los patrones identificados parece reflejar su baja frecuencia en la práctica clínica habitual, más que una limitación

metodológica, y no compromete la relevancia clínica ni la consistencia de su asociación con los desenlaces observados.

La identificación de patrones hemodinámicos intraoperatorios tiene implicancias clínicas potenciales. Podría facilitar la estratificación dinámica del riesgo durante la cirugía, permitiendo identificar pacientes con mayor carga hemodinámica acumulada que podrían beneficiarse de una vigilancia posoperatoria más estrecha. Estos patrones podrían servir como herramienta de apoyo a la toma de decisiones perioperatorias, ayudando a integrar de forma global la información hemodinámica intraoperatoria más allá de intervenciones aisladas. Asimismo, la caracterización de los patrones hemodinámicos intraoperatorios podría contribuir al diseño de estrategias personalizadas de manejo perioperatorio y a la selección de subgrupos de pacientes para futuras intervenciones o estudios clínicos orientados a optimizar desenlaces tempranos. En ese sentido, bien este estudio no permite establecer relaciones causales, sí aporta evidencia consistente de que el curso hemodinámico intraoperatorio, considerado de manera integrada, se asocia con desenlaces clínicos tempranos de relevancia.

Este estudio presenta limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. Su diseño observacional retrospectivo impide establecer relaciones causales entre los patrones hemodinámicos intraoperatorios y los desenlaces posoperatorios. La información analizada proviene de registros clínicos electrónicos, lo que puede implicar variabilidad en la medición y en las prácticas clínicas no controladas. Si bien VitalDB ofrece información perioperatoria de alta resolución, el uso de registros clínicos electrónicos puede no capturar de forma exhaustiva todas las decisiones clínicas ni eventos intraoperatorios, lo que podría influir en la caracterización completa del curso hemodinámico. Asimismo, el patrón de alta carga hemodinámica representó una proporción pequeña de la cohorte, lo que podría limitar la precisión de algunas estimaciones, aunque los análisis de sensibilidad respaldaron la estabilidad del *clustering*. Asimismo, no se dispuso de información detallada sobre la toma de decisiones clínicas ni sobre eventos intraoperatorios no registrados, por lo que no puede descartarse confusión residual.

En conclusión, en esta amplia cohorte quirúrgica, la identificación de patrones hemodinámicos intraoperatorios permitió reconocer perfiles fisiológicos asociados con desenlaces posoperatorios tempranos. Un patrón caracterizado por mayor carga hemodinámica se asoció con mayor utilización de cuidados críticos y estancias más prolongadas, mientras que el patrón estándar mostró un curso posoperatorio más favorable. Estos hallazgos sugieren que una evaluación integrada del curso hemodinámico intraoperatorio puede aportar información clínicamente relevante más allá de las características basales y del tipo de cirugía, respaldando el valor potencial de enfoques basados en patrones para la estratificación del riesgo perioperatorio. Futuras investigaciones deberían explorar la reproducibilidad de estos patrones en otros contextos clínicos, su evolución temporal y su posible utilidad para guiar estrategias personalizadas de manejo hemodinámico orientadas a mejorar los desenlaces posoperatorios.

Referencias

1. Koh YR, Li Y, Koh J, Ekrami E, Liu X, Argalious MY, et al. The association between fluid management and intraoperative blood pressure and patients' outcome after complex spine surgeries. *Anesth Analg* [Internet]. 2025;140(5):1178-87. Disponible en: doi: 10.1213/ane.0000000000007358. PMID: 39689047.
2. Serna - Trejos JS, Bermudez-Moyano SG, Erazo - Zamora AM. Índice de Hipotensión Intraoperatoria: Explorando Factores Pronósticos. *Rev Hisp Cienc Salud* [Internet]. 2024;9(3):230-2. Disponible en: .
3. Hirose M, Okutani H, Hashimoto K, Ueki R, Shimode N, Kariya N, et al. Intraoperative assessment of surgical stress response using nociception monitor under general anesthesia and postoperative complications: A narrative review. *J Clin Med* [Internet]. 2022;11(20):6080. Disponible en: . doi: 10.3390/jcm11206080. PMID: 36294399.
4. Hsu T-J, Chen J-Y, Wu Y-L, Lo Y-H, Hsu C-J. Intraoperative hemodynamic instability and higher ASA classification increase the risk of developing non-surgical complications following orthopedic surgeries. *J Clin Med* [Internet]. 2024;13(6):1689. Disponible en: . doi: 10.3390/jcm13061689. PMID: 38541914.
5. Ferré F, Laurent R, Furelau P, Doumard E, Ferrier A, Bosch L, et al. Perioperative risk assessment of patients using the MyRISK digital score completed before the preanesthetic consultation: Prospective observational study. *JMIR Perioper Med* [Internet]. 2023;6:e39044. Disponible en: . doi: 10.2196/39044. PMID: 36645704.
6. Kivrak S, Haller G. Scores for preoperative risk evaluation of postoperative mortality. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* [Internet]. 2021;35(1):115-34. Disponible en: .
7. Kouz K, Thiele R, Michard F, Saugel B. Haemodynamic monitoring during noncardiac surgery: past, present, and future. *J Clin Monit Comput* [Internet]. 2024;38(3):565-80. Disponible en: . doi: 10.1007/s10877-024-01161-2. PMID: 38687416.
8. Andrzejewska A, Miegion J, Zacha S, Skonieczna-Zydecka K, Jarosz K, Zacha W, et al. The impact of intraoperative haemodynamic monitoring, prediction of hypotension and goal-directed therapy on the outcomes of patients treated with posterior fusion due to adolescent idiopathic scoliosis. *J Clin Med* [Internet]. 2023;12(14):4571. Disponible en: . doi: 10.3390/jcm12144571. PMID: 37510686.
9. Loftus TJ, Shickel B, Balch JA, Tighe PJ, Abbott KL, Fazzone B, et al. Phenotype clustering in health care: A narrative review for clinicians. *Front Artif Intell* [Internet]. 2022;5:842306. Disponible en: . doi: 10.3389/frai.2022.842306. PMID: 36034597.
10. Chen X, Li J, Liu G, Chen X, Huang S, Li H, et al. Identification of distinct clinical phenotypes of heterogeneous mechanically ventilated ICU patients using cluster analysis. *J Clin Med* [Internet]. 2023;12(4):1499. Disponible en: . doi: 10.3390/jcm12041499. PMID: 36836034.
11. Lee H-C, Jung C-W. VitalDB, a high-fidelity multi-parameter vital signs database in surgical patients [Internet]. *PhysioNet*; 2022. Disponible en: . doi: 10.1038/s41597-022-01411-5. PMID: 35676300.
12. Putowski Z, Czok M, Krzych ŁJ. The impact of intraoperative blood pressure variability on the risk of postoperative adverse outcomes in non-cardiac surgery: a systematic review. *J Anesth* [Internet]. 2022;36(2):316-22. Disponible en: . doi: 10.1007/s00540-022-03035-w. PMID: 35028755.
13. Fu Q, Liu Y, Liu Q, Liu Y, Gao B, Li F, et al. Association between intraoperative blood pressure variability and postoperative complications: a narrative review. *Front Cardiovasc Med* [Internet]. 2026;12(1737480). Disponible en: . doi: 10.3389/

- fcvm.2025.1737480. PMID: 41573509.
14. Mladinov D, Isaza E, Gosling AF, Clark AL, Kukreja J, Brzezinski M. Perioperative fluid management. *Clin Geriatr Med* [Internet]. 2025;41(1):83-99. Disponible en: .
 15. Parikh S, Bentz T, Crowley S, Greenspan S, Costa A, Bergese S. Perioperative blood management. *J Clin Med* [Internet]. 2025;14(11):3847. Disponible en: . doi: 10.3390/jcm14113847. PMID: 40507614.
 16. Saugel B, Thomsen KK, Maheshwari K. Goal-directed haemodynamic therapy: an imprecise umbrella term to avoid. *Br J Anaesth* [Internet]. 2023;130(4):390-3. Disponible en: . doi: 10.1016/j.bja.2022.12.022. PMID: 36732140.
 17. Jalalzadeh H, Hulskes RH, Weenink RP, Wolfhagen N, van Dusseldorp I, Schaad RR, et al. Systematic review and meta-analysis of goal-directed haemodynamic therapy algorithms during surgery for the prevention of surgical site infection. *EClinicalMedicine* [Internet]. 2024;78(102944):102944. Disponible en: . doi: 10.1016/j.eclinm.2024.102944. PMID: 39687427.
 18. Abdelmalak BB, Cata JP, Bonilla A, You J, Kopyeva T, Vogel JD, et al. Intraoperative tissue oxygenation and postoperative outcomes after major non-cardiac surgery: an observational study. *Br J Anaesth* [Internet]. 2013;110(2):241-9. Disponible en: . doi: 10.1093/bja/aes378. PMID: 23171726.
 19. Nam K, Jeon Y. Microcirculation during surgery. *Anesth Pain Med* [Internet]. 2022;17(1):24-34. Disponible en: . doi: 10.17085/apm.22127. PMID: 35139609.