

RECIBIDO:








5 diciembre 2025

APROBADO:

12 diciembre 2025

Correlación del gasto cardíaco por gasometría y ecocardiografía transtorácica en medicina crítica a muy alta altitud

Correlation of Cardiac Output by Blood Gas Analysis and Echocardiography in Critical Care Medicine at very High Altitude

Benjamin Herrera-Aguilar , Jose A. Viruez-Soto , Fernando R. Jimenez-Torres , Zenon Viscarra-Machaca , Herny R. Ticona-Flores , Noemi Ali-Yucra , Andrea Olivera 

Hospital del Norte, El Alto, Bolivia.

Autor corresponsal:

Dr. Benjamín Herrera Aguilar

jason700harris@outlook.es

Resumen

Introducción: El gasto cardíaco (GC) nos ayuda a determinar el estado hemodinámico global, su estimación se determina con métodos invasivos y no invasivos. La estimación de GC a través de la gasometría es conocida, sin embargo, fue desplazada por métodos más modernos y confiables, como la ecocardiografía transtorácica. El objetivo de este estudio es determinar la correlación entre el gasto cardíaco por gasometría y el gasto cardíaco obtenido por ecocardiografía transtorácica en pacientes críticos.

Material y métodos: Estudio observacional, descriptivo, transversal y unicéntrico. Se incluyeron pacientes ingresados en la Unidad de Cuidados intensivos Adultos del Hospital del Norte a 4.150 metros sobre el nivel del mar. Los datos fueron tabulados en Excel v.19. Las pruebas de normalidad, correlación de Bravais-Pearson, prueba de Bland-Altman fueron realizadas con el programa IBM SPSS Statistics v 29, la prueba White de heterocedasticidad fue realizada en XLSTAT. El Comité de bioética hospitalaria aprobó el protocolo de estudio.

Resultados: El coeficiente r de Bravais-Pearson fue 0,60 (IC del 95%, 0,18-0,82, valor de p 0,007), esta relación incrementó cuando se utilizó la fórmula propuesta por este estudio con r 0,64 (IC del 95%, 0,23-0,84, valor de p 0,003). Se encontró una relación lineal entre volumen sistólico (VS) y concentración arterial de O₂ (CaO₂) con r 0,8 (IC del 95%, 0,5-0,9, valor de p 0,001).

Conclusión: Se encontró una correlación lineal del gasto cardíaco, por la fórmula modificada, por ambos métodos.

Palabras clave: gasto cardíaco; altitud; ecocardiografía; análisis de los gases de la sangre.

Abstract

Introduction: Cardiac output (CO) is a marker to determine the global hemodynamic state. Its determination by Fick's principle has been used by invasive and non-invasive methods such as simple blood gas analysis (GA), the latter has been displaced by more modern methods. Transthoracic echocardiography (TTE) is a validated and reliable

ble method to determine CO. The objective of this study is to determine if there is a linear relationship between the CO by GA through theoretical formulas and the GC obtained by TEE.

Material and Methods: Observational, descriptive, cross-sectional and single-center study. Patients admitted to the Adult Intensive Care Unit of the Hospital del Norte in the city of El Alto at 4,150 meters above sea level were included. The data was tabulated in Excel. Normality tests, Bravais-Pearson correlation, Bland-Altman test were performed with the SPSS Statistics v 29 program; the White test for heteroskedasticity was performed in XLSTAT. The Hospital Bioethics committee approved the study protocol.

Results: The Bravais-Pearson r coefficient was 0.60 (95% CI: 0.18 to 0.82; p value 0.007). This relationship increased when we used the formula proposed by this study with r 0.64 (95% CI: 0.23 to 0.84; p value 0.003). We found a linear relationship between stroke volume (SV) and arterial O_2 concentration (CaO_2) with r 0.8 (95% CI: 0.5 to 0.9; p 0.001).

Conclusion: There was a linear correlation of CO by both methods in patients.

Keywords: cardiac output; hemodynamics; ecocardiography; blood gas analysis; very high altitude.

Introducción

La monitorización hemodinámica es un componente esencial en la atención del paciente crítico, el gasto cardíaco (GC) es un parámetro esencial para la monitorización hemodinámica. El GC se define como la cantidad de sangre que se eyecta del ventrículo izquierdo en un minuto, producto del volumen sistólico (VS) y la frecuencia cardíaca (FC).¹ Los rangos de normalidad en un adulto “sano” descritos son de 4-6,5 L/min lo cual equivale a un índice cardíaco (IC) de 2,5L/min/m²; al momento hay mucho debate sobre si realmente un valor normal refleja la situación hemodinámica total del paciente.² No debemos olvidar que los componentes del GC, como el volumen sistólico, dependen de la integridad de la precarga, poscarga y la contractilidad cardíaca. El método de Adolf Eugen Fick explica fisiológicamente el comportamiento del O_2 a través del sistema respiratorio y cardiovascular. Este principio asume que puede medirse el flujo de un líquido dentro de un conducto, al conocer la velocidad a la que se propaga el indicador antes y después del sitio donde se infunde; se utiliza el O_2 como marcador.³ Uno de los métodos que se aplicó a este principio para explicar la obtención del GC fue la termodilución (TD), sin embargo, este método requiere la instalación de un catéter en la arteria pulmonar (CAP) y el análisis de la curva de la ecuación de Stewart-Hamilton cuya principal limitación es la complejidad, además de los costos, la inexactitud en situaciones especiales como la insuficiencia cardíaca derecha que conlleva complicaciones como la infección del catéter, arritmias, trombosis y plaquetopenia.

En áreas críticas, el principio de Adolf Eugèn Fick determina la participación del sistema cardiorespiratorio y se explica fisiopatológicamente en un estado de choque que se define como la falla del sistema cardiovascular para proveer un adecuado transporte o disponibilidad de oxígeno (DO_2) para suplir la demanda de oxígeno (VO_2). En la enfermedad crítica, un desequilibrio entre el DO_2 y VO_2 indica la presencia de un fracaso para extraer oxígeno (O_2) o incremento de la actividad metabólica del tejido reflejado también en una mayor producción de CO_2 . Este punto se conoce como DO_2 crítico. Desde este punto, entendemos que el GC a través del análisis del comportamiento del O_2 tiene una explicación fisiológica y fisiopatológica. Los métodos de estimación del GC por el método de Fick son unos de los más descritos.^{2,4,5,10} En 1870, Fick presentó por primera vez ante la Sociedad Médica de Wurzburg el primer método para estimar el GC. En su presentación, postuló que puede estimarse el GC conociendo el oxígeno consumido por el organismo y la diferencia entre la sangre arterial y venosa mixta. En resumen, esto indica que el consumo de oxígeno (VO_2) está en relación con el flujo de sangre oxigenada que se dirige hacia los tejidos y que posteriormente es extraído, pero no en su totalidad. Esta disminución del O_2 que regresa nuevamente al corazón genera la diferencia arteriovenosa de O_2 ($Da-vO_2$), tomando

en cuenta la ley de la conservación de masas que rige el principio de Fick, entendemos que este principio es irremplazable.⁶ La Da-vO₂ representa indirectamente el equilibrio entre DO₂ y VO₂. El VO₂ se estima comparando el volumen de oxígeno inhalado con el volumen de oxígeno exhalado (tradicionalmente se utilizaban bolsas o campanas), por métodos de calorimetría indirecta o sistemas de reinhalación de CO₂. Sin embargo, este método es poco práctico para pacientes críticos que reciben ventilación mecánica.⁷ Actualmente, también se conocen fórmulas teóricas para determinar el GC a las que se denominó "taller gasométrico".³ Para realizarlo, se necesita conocer la concentración arterial de oxígeno (CaO₂), concentración de oxígeno en la sangre venosa mixta (CvO₂) y calcular el consumo de oxígeno (VO₂) o en su defecto la Da-vO₂. A su vez, determinar la CaO₂ y CvO₂ amerita otras variables como Hb, SaO₂, SvO₂, pO₂ derivadas de la gasometría arterial y venosa central o mixta.⁸ Sin embargo, existen factores que modifican la CaO₂ como disminución de la hemoglobina (sangrado, hemólisis) y saturación de oxígeno (problemas de ventilación y difusión), factores que alteran la CvO₂ como el bajo gasto cardíaco (disminución de precarga, contractilidad) y los estados de choque. El paciente en estado crítico presenta modificaciones en el metabolismo como respuesta al estrés celular, lo que genera cambios en la cinética y el consumo de O₂ tisular; esto modifica la Da-vO₂, CaO₂ y el resultado del GC según el principio de Fick⁷ por lo que se considera que la gasometría es un método inexacto. Las fórmulas respectivas se encuentran descritas en la Tabla 1.

Tabla 1.

Fórmulas derivadas del principio de Fick y ecocardiografía.

<p>GC = VO₂ / (CaO₂ - CvO₂). (4-6.5 L/min)</p> <p>CaO₂ (ml/dL) = (Hb * 1,34 * SaO₂) + (PaO₂ * 0,0031) (VN 18-21ml/dL)</p> <p>CvO₂ (ml/dL) = (Hb * 1,34 * SvO₂) + (PvO₂ * 0,0031) (VN 12-15ml/dL)</p> <p>DO₂ = CaO₂ x GC x 10. (VN 850-1050mlO₂/min)</p> <p>VO₂ = (VN 3,5ml/kg/min o 250ml/min)</p> <p>Da-vO₂ = CaO₂ - CvO₂ (VN 3-5ml/dL)</p> <p>ΔCO₂ = PvcCO₂ - PaCO₂</p> $GC = \frac{Da-vO_2 \times 100 / CaO_2}{Da-vO_2}$ $GCm = \frac{FC}{CaO_2}$
<p>Área TSVI = π x TSVI²</p> <p>Área TSVI = TSVI² x 0,785 **</p> <p>VS = VTI x Area TSVI</p> <p>GC = VS x FC</p>

DO₂: Disponibilidad o transporte de oxígeno; CaO₂: Contenido arterial de oxígeno; GC: Gasto cardíaco; VO₂: Consumo de oxígeno; CvO₂: Contenido venoso central de oxígeno; Hb: Hemoglobina; SaO₂: Saturación arterial de oxígeno; PaO₂: Presión parcial de oxígeno; PvO₂: Presión venosa central de oxígeno; Da-vO₂: Diferencia arteriovenosa de oxígeno; TSVI: Tracto de salida del ventrículo izquierdo; VS: Volumen sistólico; ΔCO₂: Delta de dióxido de carbono; PvcO₂: Presión parcial venosa central de oxígeno, PaCO₂: Presión parcial arterial de dióxido de carbono; FC: Frecuencia cardíaca; GCm: Gasto cardíaco modificado; VN: Valor normal.

* Fórmula propuesta por este estudio para GC (ver resultados)

** Fórmula alternativa para obtener Área TSVI.

Adicionalmente, existen otros biomarcadores hemodinámicos de perfusión y flujo sanguíneo que son detectables en una gasometría. El delta de dióxido de carbono (ΔCO₂) representa la diferencia entre la presión parcial de CO₂ en sangre venosa central o mixta y sangre arterial periférica. A nivel celular, el CO₂ es un producto terminal normal del metabolismo oxidativo y, según la ecuación de Fick, la excreción de CO₂ (teóricamente equivalente a la producción de CO₂) es igual al producto del gasto cardíaco. De esta manera, el ΔCO₂ está relacionado linealmente

con la producción de CO_2 y es inversamente proporcional con el GC; por lo que, si el gasto cardíaco es bajo, se espera que ΔCO_2 sea anormalmente alto (mayor 6mmHg).⁹ De hecho, el ΔCO_2 se ha propuesto recientemente como una herramienta útil para la terapia dirigida por objetivos en pacientes sépticos en la UCI para identificar hipoperfusión persistente cuando se tiene una saturación venosa central (ScvO_2) mayor a 70%, lo que refleja un consumo de oxígeno (VO_2) afectado debido a insuficiencia microcirculatoria y mitocondrial que puede ocurrir en presencia de ScvO_2 normal o aumentada.⁸ De esta manera, se considera al ΔCO_2 un marcador de flujo sanguíneo y no de hipoxia tisular.

La ecocardiografía es un método imagenológico que también ayuda a monitorizar el GC al mismo tiempo que evalúa otros parámetros como el estado de líquidos (índice de distensibilidad de la vena cava inferior) y su capacidad de respuesta a la misma (variabilidad de VS y prueba pasiva de elevación de miembros inferiores).

Otros métodos descritos para determinar GC son la biorreactancia torácica, sistema continuo de GC no invasivo (NICO), la dilución por ultrasonido (UD), reinhalación de CO_2 e imágenes por resonancia magnética.¹⁰ Estos métodos son semi-invasivos.^{2,11} Los métodos más utilizados actualmente son la ecocardiografía transtorácica (ETT), ecocardiografía transesofágica (ETE), monitor ultrasónico de GC (USCOM). La ETT es el método no invasivo más conocido y de mayor utilidad en unidades de cuidados intensivos (UCI), pero requiere de experiencia. Se ha demostrado que el entrenamiento adecuado y la curva de aprendizaje mejoran las habilidades del operador no capacitado con 10 a 12 mediciones.⁶ La obtención del GC-ETT (GC-E) es un método ya validado al haberse comparado con termodilución transcárdica.^{10,12} El principio Doppler requiere de la integral de velocidad-tiempo (VTI), el área de sección transversal (CSA) y la frecuencia cardíaca (FC).¹³ Para determinar el CSA se debe medir el tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI) y el VTI se obtiene de la misma salida del TSVI por eje largo o cuatro cámaras.⁶ Un metaanálisis comparó las mediciones del GC-E con termodilución (TD), se identificaron 808 estudios de los cuales fueron incluidos 43 con 1.522 pacientes, sin observarse diferencias significativas entre GC-E y TD. Este método obtuvo una media de error menor a 0,1 L/min.

Adicionalmente, la monitorización hemodinámica también incluye la evaluación de parámetros de perfusión tisular como el gasto urinario, moteado de piel, tiempo de llenado capilar y el análisis de lactato.

En la literatura actual, no se encuentran estudios que comparen el GC-G y el GC-E, más aún a un nivel de muy alta altitud. El objetivo de este estudio es determinar la correlación del GC por gasometría según el principio de Fick con el GC por ecocardiografía transtorácica al pie de la cama del paciente crítico. La disponibilidad de herramientas de monitoreo hemodinámico, especialmente para el gasto cardíaco (GC) en países con ingresos medios y bajos, es limitada.

Material y métodos

Estudio observacional, descriptivo, transversal, que incluye pacientes ingresados en la Unidad de Cuidados intensivos Adultos (UCIA) del Hospital del Norte de forma consecutiva desde el 1 octubre de 2023 hasta el 31 de enero de 2024. Se incluyó a todo paciente portador de un catéter venoso central en quien se pueda realizar la ecocardiografía transtorácica. Se excluyó a pacientes menores de 18 años, con mala ventana ecocardiográfica difícil para determinar VTI y CSA, así como antecedente de paro cardiorrespiratorio. Las mediciones se realizaron dentro de las primeras 24 horas del ingreso a la UCIA. Las muestras de sangre arterial se obtuvieron de manera periférica de la arterial radial no dominante. Las muestras de sangre venosa central se obtuvieron con un catéter venoso central (de forma lenta en 1 minuto) cuya adecuada posición de la punta se confirmó mediante una radiografía de tórax. La Hb fue obtenida de las mismas gasometrías para calcular el CaO_2 y CvO_2 . La ETT se realizó paralelamente a la obtención de ambas muestras gasométricas, se realizaron tres mediciones y se registró el promedio de estas. Se determinó el diámetro de TSVI en eje largo y la obtención de VTI en cuatro cámaras. La frecuen-

cia cardíaca fue obtenida del monitor multiparamétrico del mismo momento recogida las muestras. El operador que determinó las mediciones para ETT recibió entrenamiento además de una curva de aprendizaje con más de 40 mediciones adecuadas en un periodo de 2 meses. Los datos fueron obtenidos de manera anónima en base de datos de Excel. El Comité de Bioética Hospitalaria aprobó el protocolo de estudio. Se aplicaron las regulaciones internacionales de la Declaración de Helsinki. Se utilizó un análisis de regresión para determinar la correlación entre las variables de estudio. Se evaluó la normalización de población con las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó el índice r de Bravais-Pearson para determinar el grado de correlación de las variables. Mediante la prueba de Bland-Altman, se analizó la concordancia de las mediciones, sesgo y desviación estándar (DE). Con base en la prueba de White, se determinó si la distribución de error fue heterocedástica u homocedástica. La recolección de datos y construcción con las fórmulas fue realizada en la plataforma de Excel. El análisis estadístico se realizó en SPSS v.20 y XLSTAT, los gráficos fueron construidos en ambas plataformas.

Resultados

Se incluyeron 30 pacientes, 17 varones (57%) y 13 mujeres (43%). Los promedios de gasto cardíaco por ecocardiografía (GC-E), el gasto cardíaco por gasometría (GC-G), volumen sistólico (VS), frecuencia cardíaca (FC) y contenido arterial de oxígeno (CaO₂) se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Valores promedio de variables hemodinámicas obtenidos.

N =30	GC-E (L/min)	GC-G (L/min)	VS (ml)	FC (lpm)	CaO ₂ (g%)
Media	5,3	4,9	49	106	21
DE	2	1,2	16	23	69
Límite mínimo	1,9	2,8	17	65	7,5
Límite máximo	9,9	8,5	89	155	35,2

Dónde: DE: Desviación estándar; GC: Gasto cardíaco por ecocardiografía transtorácica; GC-G: Gasto cardíaco por gasometría; VS: Volumen sistólico; FC: Frecuencia cardíaca; CaO₂: Concentración arterial de oxígeno.

El coeficiente de correlación de Bravais-Pearson entre el GC-E y GC-G para toda la población fue de r - 0,1 (IC del 95%: -0,036 a 0,035; valor de p 0,95) por lo que se dividió a la población en tres grupos según el diagnóstico de ingreso: el grupo A con 23 pacientes (choque séptico, sepsis, choque hemorrágico, hipovolémico, distrés respiratorio agudo, preeclampsia), grupo B con 19 pacientes (choque séptico, sepsis, choque hemorrágico, choque hipovolémico, preeclampsia, distrés respiratorio agudo) con una frecuencia cardíaca (FC) menor a 140 latidos por minuto, y grupo C con 7 pacientes (choque obstructivo, cardiogénico, sepsis, emergencia hipertensiva). Se realizó un diagrama de dispersión para el GC-G y FC, se observó la dispersión del GC-G a medida que aumenta la FC. En el grupo A, se obtuvo una correlación considerable y relación con coeficiente de correlación de Bravais-Pearson con r 0,5 (IC del 95%: 0,61 a 0,75, valor de p 0,024). (Figura 1) En el Grupo B, se obtuvo una correlación alta y relación intensa con r 0,6 (IC del 95%, 0,18 a 0,82, valor de p 0,007) en este mismo grupo la prueba de Bland-Altman, el sesgo (diferencia de medias) entre los dos métodos fue 0,6 L/min (IC 95%: -2-3) y la precisión (+/- 1,37 DE con límite inferior de -2 y un límite superior de 3) fue 1,4 L/min. La comparación de la distribución de GC por GC-E y GC-G demostró precisión muy alta. (Figura 2) Con base en la prueba de White, la distribución no fue heterocedástica con valor p 0,62 con un IC del 95%, lo que significa que la distribución de error fue homogénea u homocedástica del GC-E y GC-G. En el grupo C, no se evidenció correlación del GC entre ambos métodos con r -0,7 (IC del 95%, 0,96 a 0,2; valor de p 0,078), lo cual refuerza la relación no lineal en este grupo de pacientes.

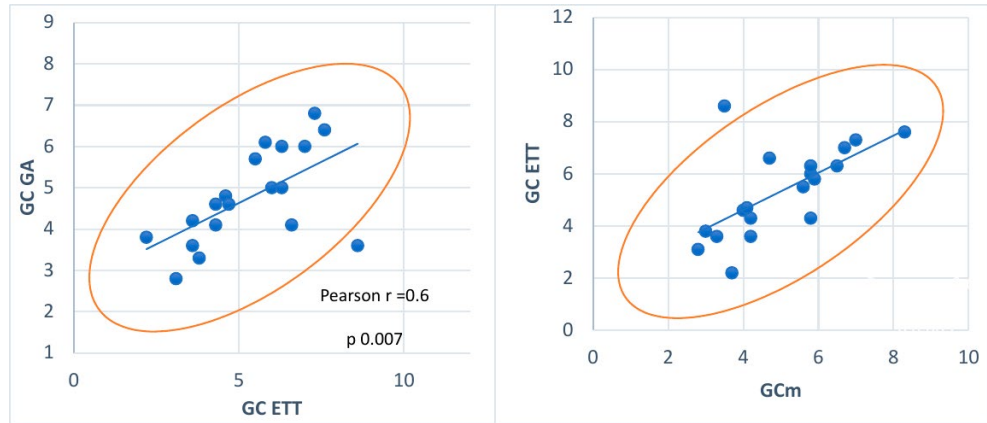


Figura 1. Izquierda: Gráfico de correlación lineal (mediante regresión) en el grupo B entre GC-E y GC-G. Derecha: Gráfico de correlación lineal (mediante regresión) en el grupo B entre GC-E y GCm. GC-E; Gasto cardíaco por ecocardiografía transtorácica, GCm; Gasto cardíaco modificado por fórmula propuesta (ver tabla 1).

Se evidencia una relación muy intensa y correlación muy alta entre el VS y CaO_2 en el Grupo A con r 0,8 (IC del 95%, 0,5-0,9; valor de p 0,001), en la trama de Bland-Altman, el sesgo diferencial (diferencia de medias) fue de 3 ml (IC 95%: 1,08-2,4) y la precisión +/- 1,7 ml DE (límite inferior de -0,4 y un límite superior de 6,5, de 1,7 ml), presente en la Figura 2. Con esta correlación muy alta del VS y CaO_2 , proponemos una nueva fórmula para obtener el GC por gasometría (GCm) (Tabla 1 y Figura 3) al reemplazar el VS por la CaO_2 y mantener la FC como numerador creando una relación inversa. Se determinó una correlación considerable y relación regular entre GCm y GC-E en el grupo A con r 0,5 (IC del 95%, 0,54-0,73, p 0,026). En el grupo B, la correlación entre GCm y GC-E fue intensa y la relación alta entre con r 0,64 (IC del 95%, 0,23-0,84, valor de p 0,003). Para la prueba de Bland-Altman, el sesgo (diferencia de medias) entre los dos métodos fue 0,3 L/min y la precisión con límite inferior de -2 y un límite superior de 3 fue 1,4 L/min.

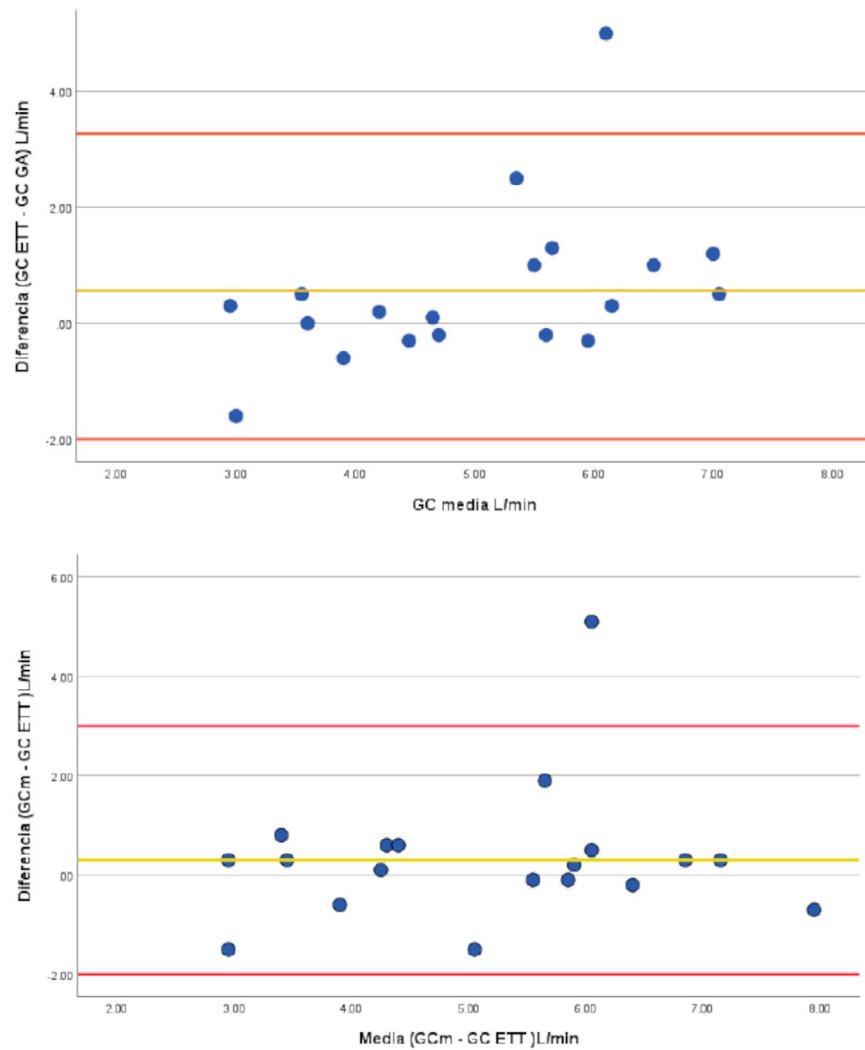


Figura 2. Trama de Bland-Altman para en el grupo B entre GC-E y GC-G así como entre GC-E y GCm. GC-E; Gasto cardíaco por ecocardiografía transtorácica, GCm; Gasto cardíaco modificado por fórmula propuesta (ver tabla 1).

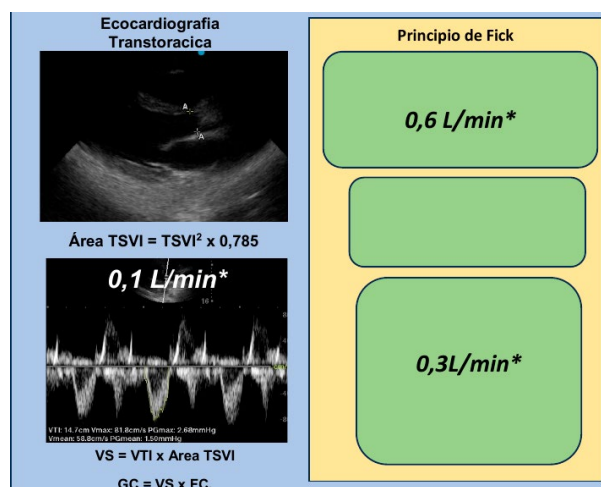


Figura 3. Comparación de los diferentes métodos para la obtención del GC.
 * Representa la variabilidad del GC en relación con el Gold Estándar de comparación

Discusión

El estudio demuestra una relación lineal entre el GC-E y GC-G según las fórmulas teóricas bajo el principio de Fick, con una media de error de 0,6L/min, específicamente en el grupo de pacientes con choque séptico, sepsis, choque hemorrágico, choque hipovolémico, distrés respiratorio agudo y preeclampsia. Se evidencia que un incremento en la FC por encima de 140 lpm produce variación del valor del GC-G. Aparentemente no existe relación de la GC-E y GC-G en pacientes con choque cardiogénico u obstructivo, pero analizando a toda la población, la relación es no lineal y no hay correlación. A raíz de esto, se sometió a un análisis individual de cada variable y se encontró una relación lineal muy fuerte entre el VS y la CaO₂, independientemente de la FC, por lo que planteamos la nueva fórmula del GCm por gasometría. Se evaluó el GCm con el GC-E en las mismas poblaciones y se encontró mayor correlación con una media error menor de 0,3L/min que es un valor cercano a la media de error reportada de la ecocardiografía transtorácica con la termodilución de 0,1L/min. A medida que incrementa la FC, el valor del GC-G se va alejando del valor del GC-E ya que, según la ley de Frank-Starling, a FC constantes el GC es proporcional a la precarga e indirectamente proporcional al VS.^{7,14} El VS también depende de la poscarga y la contractilidad miocárdica, hecho que explica porqué no se encontró una correlación del GC por ambos métodos en pacientes con alteración de la poscarga (choque cardiogénico y obstructivo). Existen otros estudios con base en otros marcadores hemodinámicos derivados de la gasometría que guardan una relación directa con el GC como el ΔCO_2 . Estos son muy relevantes en patologías como el tromboembolismo pulmonar, donde se observa su elevación en caso de disminución del gasto cardíaco, hipoxemia e incremento del volumen minuto.^{8,9} La saturación venosa central (SvCO₂) mayor a 70%, ΔCO_2 menor 6mmHg y lactato menos 1,7mmol/L se asocia a mejores tasas de supervivencia y de malos resultados en la UCI; el ΔCO_2 se ha vuelto en un biomarcador atractivo en fase temprana que provee información sobre el estado hemodinámico micro-macrovascular y metabolismo anaeróbico. Así también, se ha identificado una correlación lineal del ΔCO_2 central con el periférico.¹⁵⁻¹⁸ El siguiente paso en este estudio es determinar la correlación de los hallazgos con biomarcadores de perfusión y flujo sanguíneo. De todas formas, ningún tipo de monitorización ha demostrado aumentar la supervivencia directamente, sin embargo, parece razonable que la disponibilidad de su información ayude a entender la fisiopatología del trastorno del paciente crítico en la evaluación inicial.

Conclusión

Se determinó que existe una relación lineal débil entre el GC-E y GC-G; específicamente en los pacientes con choque séptico, hemorrágico, hipovolémico, distrés respiratorio y preeclampsia. Esta relación lineal fue mayor al utilizar la fórmula modificada GCm para el GC que con la forma tradicional. Aunque la FC es un determinante de la variación del GC por ambos métodos, la relación mejoró con la nueva fórmula. El VS y la CaO₂ tienen una correlación lineal alta en este estudio. La obtención del GC a través de fórmulas teóricas, según el principio de Fick, sigue vigente desde hace más de un siglo, en entornos donde no se cuenta con otro tipo de monitorización para el GC.

Financiamiento: los autores declaran que el trabajo no tuvo financiamiento.

Conflictos de interés: los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con el tema de esta publicación.

Declaración de cumplimiento ético: el trabajo ha sido aprobado por el Comité de Bioética e Investigación Hospitalario del Hospital del Norte, El Alto, Bolivia.

Contribución de los autores: JAVS: administración del proyecto, análisis formal, supervisión. BHA: adquisición de fondos, software. NAY: conceptualización. AO: curaduría de datos. Escritura – revisión y edición. FJT: metodología. ZVM: recursos, redacción – borrador original. HRTF: validación, visualización.

El Editor en Jefe, Dr. Carlos Luna, realizó el seguimiento del proceso de revisión y aprobó este artículo.

Referencias

1. Sánchez-Nava VM, Muñoz-Ramírez MR, Chavez-Perez C, Guerrero-Izaguirre I. Utilidad de los parámetros gasométricos como predictores de mortalidad en pacientes con choque séptico. *Med Crit* 2017;31(3):128–35.
2. García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Estimating cardiac output. Utility in the clinical practice. Available invasive and non-invasive monitoring. *Med Intensiva* 2011;35(9):552–61. <https://doi.org/10.1016/j.medin.2011.01.014>
3. Román G, Muñoz C, Márquez H, Zárate P. Valoración hemodinámica durante la guardia. *Medigraphic* 2015;10(2):69–76.
4. Saddawi-Konefka D, Charnin JE. Hemodynamic Monitoring. *Critical Care Secrets: Fifth Edition* 2013;39–46. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-08500-7.00007-2>
5. Fagard R, Conway J. Measurement of cardiac output: Fick principle using catheterization. *Eur Heart J* 1990;11(1):1–5. https://doi.org/10.1093/eurheartj/11.suppl_1.1
6. García X, Mateu L, Maynar J, Mercadal J, Ochagavía A, Ferrandiz A. Estimación del gasto cardíaco. Utilidad en la práctica clínica. Monitorización disponible invasiva y no invasiva. *Med Intensiva* 2011;35(9):552–61.
7. Berton C, Cholley B. Equipment review: New techniques for cardiac output measurement – oesophageal Doppler, Fick principle using carbon dioxide, and pulse contour analysis. *Crit Care* 2002;6(3):216. <https://doi.org/10.1186/cc1492>
8. Aisa-Alvarez A, Camarena-Alejo G, Franco-Granillo J, Aguirre-Sánchez JS, Monter-Vigueras JE, Palacios-Calderón OE. Eficiencia del análisis gasométrico arterial y venoso como predictor de la mortalidad en pacientes con choque séptico: estudio de cohorte prolectivo. *Med Crit* 2020;34(3):194–9. <https://doi.org/10.35366/94899>
9. Román G. Valoración hemodinámica durante la guardia. *Residente* 2015;10(2):69–76.
10. Pereira DJ, Moreira MM, Paschoal IA, Martins LC, Metzke K, Moreno Junior H. Embolia pulmonar quase fatal, um modelo Zhang Y, Wang Y, Shi J, Hua Z, Xu J. Cardiac output measurements via echocardiography versus thermodilution: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2019;14(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222105>
12. Sivakorn C, Schultz MJ, Dondorp AM. How to monitor cardiovascular function in critical illness in resource-limited settings. *Curr Opin Crit Care* 2021;27(3):274–81. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000830>
13. Huntsman LL, Stewart DK, Barnes SR, Franklin SB, Colocousis JS, Hessel EA. Noninvasive Doppler determination of cardiac output in man. Clinical validation. *Circulation* 1983;67(3):593–602. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.67.3.593>
14. Soliman-Aboumarie H, Pastore MC, Galiatsou E, Gargani L, Pugliese NR, Mandoli GE et al. Echocardiography in the intensive care unit: an essential tool for diagnosis, monitoring and guiding clinical decision-making. *Imaging* 2021;1-15. <https://doi.org/10.1556/1647.2021.00055>
15. Mallat J, Pepy F, Lemyze M, Gasan G, Vangrunderbeeck N, Tronchon L et al. Central venous-to-arterial carbon dioxide partial pressure difference in early resuscitation from septic shock. *Eur J Anaesthesiol* 2014;31(7):371–80. <https://doi.org/10.1097/EJA.0000000000000064>
16. Mesquida J, Saludes P, Gruartmoner G, Espinal C, Torrents E, Baigorri F et al. Central venous-to-arterial carbon dioxide difference combined with arterial-to-venous oxygen content difference is associated with lactate evolution in the hemodynamic resuscitation process in early septic shock. *Crit Care* 2015;19(1):126. <https://doi.org/10.1186/s13054-015-0858-0>
17. Lamsfus-Prieto JÁ, de Castro-Fernández R, Hernández-García AM, Marcano-Rodríguez G. Valor pronóstico de los parámetros gasométricos del dióxido de carbono en pacientes con sepsis. Una revisión bibliográfica. *Rev Esp Anestesiol Reanim* 2016;63(4):220–30. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2015.11.005>
18. Abdalazeem ES, Abdelgawad B, El-Rahman AHA. Role of central venous-arterial PCO2 difference in prediction of clinical outcome in ICU septic patients. *Egypt J Anaesth* 2021;37(1):189–95. <https://doi.org/10.1080/11101849.2021.1910180>