

# Concordancia en la medición del gasto cardíaco por método no invasivo capstesia frente a termodilución transpulmonar PICCO

Agreement in cardiac output measurement by noninvasive method capstesia versus transpulmonary thermodilution PICCO

Alexander García Castañeda<sup>1,\*</sup> Héctor Julio Meléndez<sup>2</sup>, Rafael Enrique Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Médico y Cirujano, Residente Anestesiología y Reanimación, Universidad Industrial de Santander. Colombia.

<sup>2</sup> Anestesiólogo, Intensivista, Universidad Industrial de Santander, Colombia

Fecha de recepción: 3 de agosto de 2024 / Fecha de aceptación: 10 de octubre de 2024

## ABSTRACT

**Background:** Monitoring of haemodynamic variables in patients on IMV has evolved over time from invasive CAP monitoring, followed by minimally invasive monitoring, and is currently evaluating the advantages of non-invasive monitoring. In order to reduce the complications of invasive monitoring without compromising the validity of the results, less invasive PICCO monitoring with external calibration by thermodilution according to the principle of pulse wave analysis for continuous monitoring has emerged, however, it requires trained personnel for its implementation, in addition to the cost of this technology; more recently, the Capstesia application has emerged as an easy-to-use and inexpensive tool. **Main objective:** To determine the degree of agreement in CO measurement between PICCO and Capstesia monitoring. **Methods:** Cross-sectional study of diagnostic technology evaluation, including patients over 18 years of age under IMV admitted to the ICU, the calculated sample size is 240 records in total. Statistical analysis was performed using the Excel X statistical tool. **Results:** The mean GC obtained was shown to be lower for the PICCO monitor than for the Capstesia app, with a difference of 0.04 L/min. This difference was not significant ( $p = 0.84$ ). Lin's coefficient of concordance for GC was 0.95 with a 95% CI of (0.9259 and 0.9634), indicating a substantial level of concordance. In addition, the Bland-Altman plot and determination of the limits of concordance were performed, yielding a limit of concordance between 0.99 and -0.91, with only 6 measurements not within the confidence interval. **Conclusions:** Capstesia has a substantial concordance for CO and PPV and a moderate concordance for Dp/Dt max and IVS, but a poor concordance for iRVs. Furthermore, the concordance of Capstesia for CO and PPV is maintained with the use of vasopressors and fluid bolus. Therefore, we present a new, simple, accessible, reliable and cost-effective alternative to current advanced haemodynamic monitoring devices.

**Keywords:** Invasive and non invasive monitoring, goal guided therapy, cardiac output.

## RESUMEN

**Antecedentes:** La monitorización de variables hemodinámicas en el paciente en VMI ha evolucionado con el transcurrir del tiempo pasando desde la monitoría invasiva CAP, seguido de mínimamente invasivo y en la actualidad evaluando las ventajas del no invasivo. Con el fin de disminuir las complicaciones propias del monitoreo invasivo sin sacrificar la validez de sus resultados ha surgido el monitoreo PICCO menos invasivo con calibración externa a través de la termodilución siguiendo el principio del análisis de la onda de pulso para el monitoreo continuo, sin embargo, se necesita personal capacitado para su ejecución además de los costos de dicha tecnología; más reciente surgió la aplicación Capstesia como una herramienta fácil de usar y económica. **Objetivo principal:** Determinar el grado de concordancia en la medición del GC entre monitoría PICCO y Capstesia. **Métodos:** Estudio corte transversal de evaluación de tecnología diagnóstica, incluyen pacientes mayores de 18 años bajo VMI internados en UCI, el tamaño de la muestra calculado es de 240 registros en total. Se realiza análisis estadístico a través de la herramienta Excel X statistics. **Resultados:** Se demostró que la media de GC obtenido fue menor para el monitor PICCO que para la app Capstesia, con una diferencia de 0,04 L/min. Esta diferencia no fue significativa ( $p = 0,84$ ). El coeficiente de concordancia de Lin para GC arrojó un valor de 0,95 con IC95% de (0,9259 y 0,9634), el cual corresponde a un nivel de concordancia sustancial. Adicionalmente, se realizó el gráfico de Bland Altman y la determinación de los límites de concordancia obteniéndose un límite de acuerdo entre 0,99 y -0,91, solo 6 mediciones no se encuentran

Alexander García Castañeda

garcas9410@gmail.com

\*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4060-7136>

ISSN: 0716-4076



dentro del intervalo de confianza. **Conclusión:** Capstesia tiene una concordancia sustancial para las variables GC y VPP y moderada para Dp/Dt max e IVS sin embargo, concordancia pobre para iRVs además la concordancia de GC y VPP de Capstesia se mantiene con uso de vasopresores y bolo de líquidos. Por lo anterior, presentamos una nueva alternativa sencilla, accesible, confiable y de bajo costo a los dispositivos actuales de monitorización hemodinámica avanzada.

**Palabras clave:** Monitoreo invasivo y no invasivo, terapia guiada por objetivos, gasto cardíaco.

## Introducción

La monitorización de variables hemodinámicas como volumen sistólico (VS), variación de presión de pulso (VPP), resistencias vasculares sistémicas (RVS), pendiente máxima del ascenso sistólico de la curva de presión arterial (Dp/Dt max) y gasto cardíaco (GC), en el paciente de las UCI bajo ventilación mecánica invasiva (VMI) ha evolucionado con el transcurrir del tiempo pasando desde la monitoría invasiva catéter de arteria pulmonar o Swang Ganz (CAP) a la cabecera del paciente por el método de termodilución intermitente, seguido del mínimamente invasivo por distintos métodos uno de ellos el análisis del contorno de la onda de pulso arterial con calibración externa por termodilución en el caso de la monitoría PICCO o de calibración interna por la aplicación Capstesia y evaluando las ventajas del no invasivo a través de los principios de biorreactancia, bioimpedancia y doppler entre otros[1].

El monitoreo de dichas variables hemodinámicas en el paciente de la UCI permite realizar diagnósticos como el tipo choque, así como la optimización de las variables hemodinámicas a través de la terapia guiada por objetivos que ha demostrado en ensayos clínicos disminuir morbilidad, estancia hospitalaria y menores costos hospitalarios[2].

Actualmente, ninguna de las técnicas disponibles para monitoreo hemodinámico cumple con todas las características para ser considerada ideal: no invasivo, preciso, continuo, rentable, confiable, reproducible, cómodo para pacientes y médicos, y con efectos adversos mínimos[3].

Siguiendo esta filosofía, aunque el monitor PICCO ha mostrado validez en sus datos con respecto a el CAP tiene limitaciones como el costo de los insumos, la disponibilidad de monitores en la UCI con dicha tecnología, requiere personal sanitario entrenado para la puesta en marcha del monitoreo sin alterar la validez de los datos[4].

## Objetivos

Determinar el grado de concordancia en la medición del gasto cardíaco por el método de termodilución transpulmonar PICCO y el método de análisis de onda de presión de pulso (Capstesia).

### Objetivos específicos

Describir las características clínicas y demográficas de la población monitorizada. Describir el grado de concordancia para las mediciones de la VPP entre los 2 monitores. Describir el grado de concordancia de dP max/dt y RVS entre los 2 monitores.

### Instrumento de medición: Monitor Capstesia

Capstesia (Galenic App®) es una nueva aplicación de Android™/iOS™ para smartphones que tras efectuar una fotografía de la pantalla del monitor del paciente, digitaliza las curvas de presión arterial que figuran en el monitor obtenidas de la línea arterial (Figura 1). La exploración automatizada de la forma de onda de presión arterial identifica picos y valles poste-



**Figura 1.** Pasos para determinar el GC mediante la app Capstesia (Galenic App®, Vitoria-Gasteiz, España) autor: Alexander García Castañeda.

riormente solicita 3 valores: frecuencia cardíaca, presión arterial sistólica y diastólica luego realizando un análisis computarizado calcula las variables hemodinámicas avanzadas (GC, VPP, Dp/Dt max e iRVS) (Figura 2).

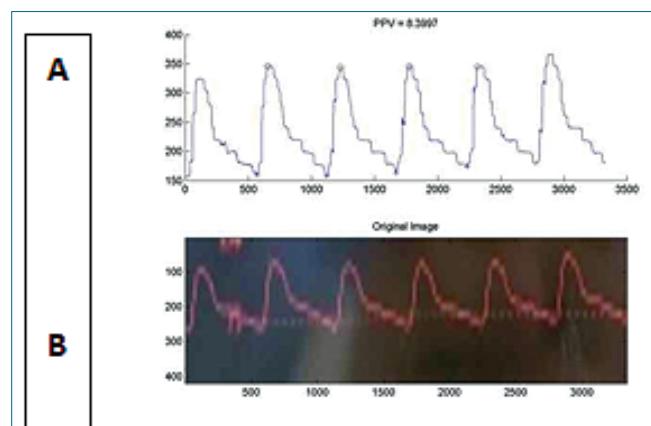
### Monitor PICCO

Calcula el GC por análisis de la curva de termodilución transpulmonar TDTP usando la ecuación de Stewart-Hamilton. Para determinar el GC se precisa la inyección en bolo del indicador, normalmente suero salino isotónico, a través de la luz del catéter venoso central que tiene el sensor de temperatura externo. Una vez en el torrente sanguíneo, el termistor de la punta del catéter arterial PiCCO detecta las variaciones de la temperatura generando la curva de termodilución (Figura 3A). Simultáneamente al proceso de termodilución se realiza el análisis del contorno de la onda de pulso arterial (Figura 3B), el cual nos determinará la compliance aórtica y nos permite el cálculo continuo del gasto cardíaco GC. Así se calibra el algoritmo utilizado por la tecnología PiCCO®, el volumen sucesivo del latido continuo e individual, el volumen del GC y la variación del volumen latido[5],[6] Tabla 1.

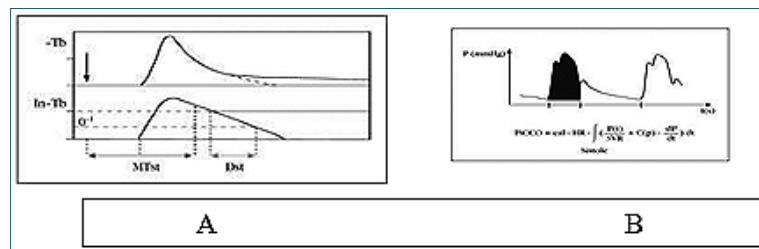
### Metodología y técnica de recolección

Se incluyó a pacientes de la UCI mayores de 18 años en VMI, monitorizados a criterio del intensivista con la tecnología PiCCO; se excluyeron a las pacientes gestantes. El grupo de residentes de la especialización de Anestesiología y Reanima-

ción de la UIS recibió entrenamiento teórico práctico tanto para el manejo como interpretación de dichos equipos (aplicación Capstesia y monitor PiCCO), lo anterior sirvió como apoyo dentro de la identificación de pacientes sin embargo fue única y exclusiva responsabilidad del investigador principal la recolección de las variables demográficas, clínicas y las hemodinámicas avanzadas calculadas por el software Capstesia y por el monitor PiCCO. Cabe aclarar que el médico residente y el médico tra-



**Figura 2.** Imagen digitalizada por Capstesia. A. La imagen digitalizada por la aplicación; B. La exploración automatizada identifica picos (círculos) y valles (cruces) subsecuente por el algoritmo propio de la aplicación deriva las variables hemodinámicas (GC, iGC, VPP, Dp/Dt max, VS, iVS,RVP). Autor: Aplicación Capstesia.



**Figura 3.** A curva de termodilución; B curva de análisis del contorno de pulso.

**Tabla 1. Valores de las variables calculadas por PiCCO[6]**

Variable	Valor normal
Índice cardíaco	3,0-5,0 l/min/m <sup>2</sup>
Volumen de sangre intratorácico	850-1.000 ml/m <sup>2</sup>
Agua pulmonar extravascular indexada	3,0-7,0 ml/kg
Frecuencia cardíaca	60-90 lpm
Presión venosa central	2-10 mmHg
Presión arterial media	70-90 mmHg
Índice de resistencia vascular sistémica	1.600-2.400 din-seg-m <sup>2</sup> /cm <sup>5</sup>
Volumen global al final de la diástole	680-800 ml/m <sup>2</sup>
Índice de permeabilidad vascular pulmonar	1-3
Velocidad de aumento de la presión arterial	1.200-2.000 mmHg/seg
Variación del volumen sistólico	≤ 10%
Variación de presión de pulso	≤ 13%

tante no fueron sujeto de investigación, por lo tanto, no se les tomo información personal ni se le aplicaron consentimiento informado.

Se identifico a los pacientes de la UCI que el intensivista de turno decidió monitoria PICCO y se invitó a el familiar legalmente responsable dado que el paciente se encontraba bajo sedación profunda y en VMI para que participara en este estudio, los que aceptaron firmaron el consentimiento informado. Se monitorizo las variables hemodinámicas habituales registradas por el monitor PICCO Simultáneamente se digitalizó la pantalla con la onda de presión arterial mediante el uso de la app Capstesia, estimándose las variables hemodinámicas calculadas por esta aplicación. Durante la estancia en UCI a todos los pacientes se les calculó el gasto cardíaco (GC) y las demás variables mencionadas cada vez que existió cambios hemodinámicos importantes o se le realizaron ajustes en el manejo farmacológico según criterio del intensivista, siendo registrados en el instrumento de recolección y en una tabla de excel.

## Resultados

### Análisis de datos y aspectos estadísticos

Para la evaluación de las variables sociodemográficas se utilizó estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central y dispersión. Para variables cuantitativas con distribución normal se obtuvo una media aritmética y desviación estándar. Para la evaluación de la concordancia se utilizó el coeficiente de concordancia de Lin (CCL). En caso de un acuerdo perfecto (precisión y exactitud) el CCL adquiere el valor de 1. Se utilizaron los siguientes valores para la interpretación del CCL: concordancias pobres < 0,90, moderadas entre 0,90 y 0,94, sustanciales 0,95 y 0,99 y casi perfectas > 0,99. Adicionalmente, se utilizó el gráfico de Bland Altman. Para comparar la diferencia entre mediciones se realizó la prueba t de Student. En la comparación cuantitativa, un valor de  $p < 0,05$  fue considerado estadísticamente significativo. Para el procesamiento y análisis estadístico de los datos, se construyó una base de datos electrónica con el software Excel versión 2016 complemento Xreals-tats para Windows.

### Características clínicas y demográficas de la muestra

Para el análisis de concordancia se realizaron en total 240 mediciones para cada una de las variables calculadas por el monitor Capstesia y PiCCO (GC, IVS, VPP, Dp/Dt max, IRVS) en diferentes momentos y bajo diferentes escenarios clínicos (Tabla 2).

### Características del tipo de choque, disfunción orgánica y vasopresor

Todas las muestras obtenidas correspondían a choque séptico que coexistían con otro tipo de choque Tabla 3. Todos los pacientes tenían insuficiencia respiratoria aguda, el 65% tenían disfunción de más de 3 órganos, el 72,5% tenían infusión de al menos 1 vasopresor la más frecuente con noradrenalina y 30% un inotrópico la más frecuente dobutamina 20,83% (Tabla 3).

**Tabla 2. Características clínicas y demográficas**

Variable	Media	Min - Max (DS)
Edad (años)	69,8	43 - 87 ( $\pm$ 15,30)
Peso (kg)	66	50 - 85 ( $\pm$ 11,25)
Talla (cm)	161	150 - 170 ( $\pm$ 8,16)
Sexo femenino (%)	62,5%	
Antecedentes (%)		
Hipertensión	62,5%	
Diabetes tipo 2	25%	
Obesidad grado 1	25%	
SAHOS	12,5%	
EPOC	12,5%	
Hipertensión pulmonar	12,5%	
Infarto agudo miocardio	12,5%	
Leucemia	12,5%	
VIH	12,5%	

Índice paquete cigarrillo año (promedio) 12,5 paq/año.

### Medición y grado de concordancia de GC Capstesia y PiCCO

Del total de las muestras recolectadas. La media de gasto cardíaco fue de 4,52 para PiCCO y 4,56 Capstesia esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,84$ ) Tabla 4. El CCL fue de 0,95 con IC95% de 0,93 y 0,96 el cual corresponde a concordancia sustancial. Se graficó el Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 4A).

### Medición y grado de concordancia de GC Capstesia y PiCCO con 1 o más vasopresores

El 72,5 % ( $n = 174$ ) de las muestras en el momento de la medición del GC por Capstesia y PiCCO tenían infusión de 1 vasopresor (norepinefrina). Para cumplir nuestro objetivos y dado los reportes de literatura de posibles sesgos de medición por uso de este tipo de medicamentos, nosotros realizamos la evaluación del GC. La media de gasto cardíaco fue de 4,81 para PiCCO y 4,80 Capstesia esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,98$ ) Tabla 4. El CCL fue de 0,93 con IC95% de 0,93 y 0,95 el cual corresponde a concordancia moderada, así mismo se graficó el Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 4B).

El 24,2% de las muestras ( $n = 58$ ) en el momento de la medición del GC por PiCCO y Capstesia tenían infusión de  $\geq 2$  vasopresores con medias de 3,47 y 3,68 respectivamente con una diferencia de medias no estadísticamente significativa  $P: 0,64$ . El CCL fue de 0,95 con IC95% de (0,93 y 0,98) el cual corresponde a un nivel de concordancia sustancial (Tabla 4). Con cálculo de Bland Altman con determinación de los límites de concordancia en (Figura 4C).

## Medición y grado de concordancia de VPP Capstesia y PiCCO

Los valores de la media de VPP fue de 12,31 para PICCO y 13,13 para capstesia esta diferencia no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,35$ ) (Tabla 4). El CCL fue de 0,98 con IC95% de 0,97 y 0,99 el cual corresponde a concordancia sustancial. Adicionalmente, se realizó el gráfico de Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 5A).

## Medición y grado concordancia de VPP Capstesia y PiCCO con 1 o más vasopresores

El 72,5% de las muestras ( $n = 174$ ) en el momento de la medición de VPP por Capstesia y PiCCO tenían infusión de 1 vasopresor (norepinefrina) con medias de 12,20 y 11,53 respectivamente la diferencia de medias no fue estadísticamente

significativo  $P = 0,48$ . El CCL fue de 0,98 con IC95% de (0,96 y 0,98) el cual corresponde a un nivel de concordancia sustancial (Tabla 4). Adicionalmente, se realizó el grafico de Bland Altman (Figura 5B).

El 24,2% de las muestras ( $n = 58$ ) en el momento de la medición de VPP por Capstesia y PiCCO tenían infusión de  $\geq 2$  vasopresores con medias de 17,21 y 15,78 respectivamente con diferencia de medias no estadísticamente significativo  $P = 0,44$ . El CCL fue de 0,97 con IC95% de (0,95 y 0,98) el cual corresponde a un nivel de concordancia sustancial (Tabla 4). Adicionalmente, se realizó el grafico de Bland Altman (Figura 5C).

## Grado de concordancia VPP Capstesia y PiCCO antes y posterior a bolo de líquidos

El 20,8% del total de las muestras se encontraban en la

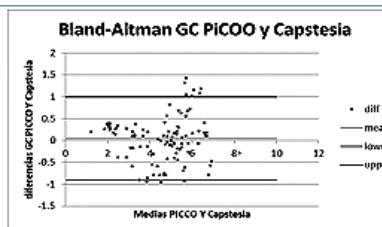
**Tabla 3. Tipo de choque, disfunción orgánica e Inotrópico y vasopresor**

Tipo de choque	% (muestras)
Mixto (Séptico + Cardiogénico)	50% (120)
Mixto (Séptico + Obstructivo)	28,33% (68)
Mixto (Séptico+ Hipovolémico)	13,33% (32)
Séptico	8,34% (20)
Disfunción orgánica	
Respiratoria (Insuficiencia Respiratoria Aguda)	100% (240)
- Tipo I (Hipoxémica)	73,33% (176)
- Mixta (Hipoxémica + Hipercápnica)	26,67% (64)
Cardiovascular	100% (240)
Renal (Enfermedad renal aguda)	84,17% (202)
- KDIGO II	62,5% (150)
- KDIGO III en TRR	21,67% (52)
Neurológico	42,5% (102)
- Encefalopatía hipódrica isquémica (post parada cardíaca)	28,33% (68)
- Encefalopatía hepática	14,17% (34)
Hematológico	63,33% (152)
- CID (coagulación intravascular diseminada)	28,33% (68)
- Bicitopenia (trombocitopenia + anemia)	21,67% (52)
- Pancitopenia	13,33% (32)
2 órganos	15,83% (38)
3 órganos	19,17% (46)
Más de 3 órganos	65% (156)
No de vasopresores	
(1) Noradrenalina	72,5% (174)
(2) Noradrenalina +Vasopresina	21,67% (52)
(3) Noradrenalina + Adrenalina + Vasopresina	2,5% (6)
No Inotrópicos	
# 1	30% (72)
Dobutamina	20,83% (50)
Milrinone	9,17% (22)

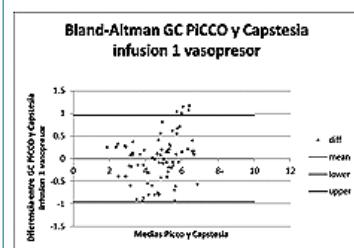
zona de respuesta a líquidos por umbral de VPP  $\geq 13$  tanto en PiCCO como en Capstesia por lo que a criterio del tratante se administró "bolo" de líquidos entre 3 a 5 cc/kg en promedio 4 cc/kg. El promedio de VPP previo al bolo de líquidos fue de 19,89 PiCCO y 19,58 Capstesia esta diferencia no fue estadísticamente significativa P: 0,69. Posterior al bolo ningún dato de VPP fue  $\geq 13$  ni por Capstesia ni PiCCO el promedio fue de 10,64 y 10,63 respectivamente sus diferencias no fueron estadísticamente significativas P: 0,99 por lo tanto, no se administró ningún bolo adicional. Además, se estableció un CCL pre bolo de 0,97 y posterior al bolo de 0,95 (IC 95% de 0,92-0,98) respectivamente (Tabla 5) que corresponde a concordancias sustanciales y el Bland Altman con un dato por fuera de los límites de acuerdo tanto antes como después del bolo (Figura 6).

### Medición y grado de concordancia IVS PiCCO y Capstesia

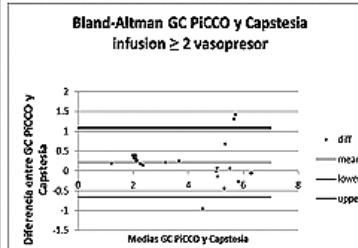
Los valores promedio de iVS de PiCCO fue 27,94 y de Capstesia 28,65 la diferencia entre estas medidas no fueron estadísticamente significativas P: 0,51 Tabla 6. El CCL fue de 0,93 con IC95% de 0,90 y 0,95 correspondiente a concordancia moderada, se realizó el gráfico de Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 5).



A. LSC: 0.99 LSS: 0.04 LIC: -0.91; 6 mediciones no se encuentran dentro del LCC



B. LSC: 0.95 LSS: 0.003 LIC: -0.96; 5 mediciones no se encuentran dentro del LCC.



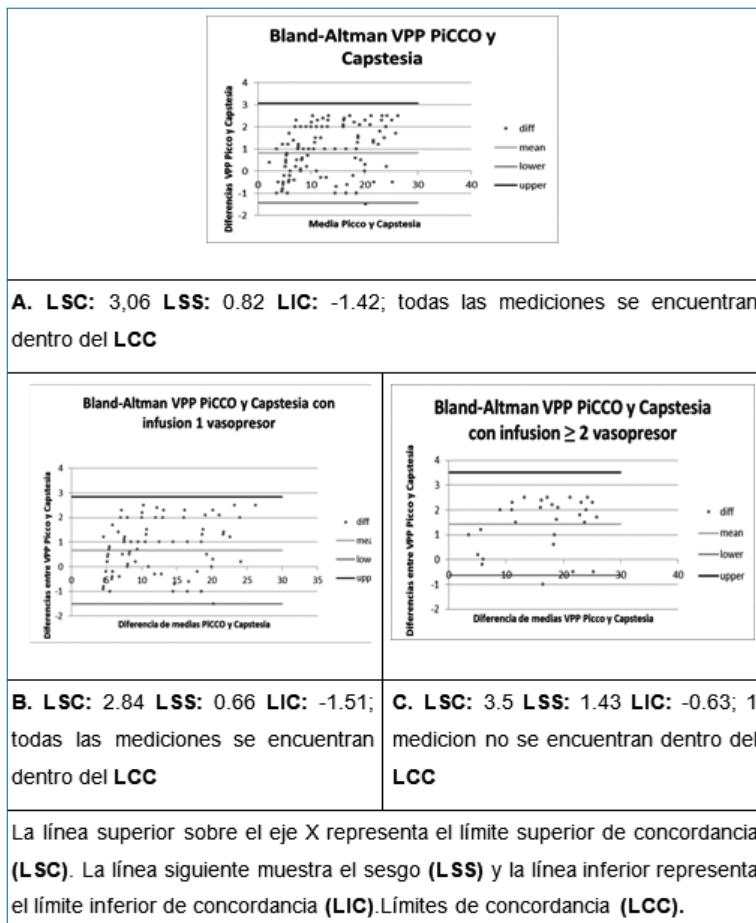
C. LSC: 1.08 LSS: 0.21 LIC: -0.66; 3 mediciones no se encuentran dentro del LCC.

La línea superior sobre el eje X representa el límite superior de concordancia (**LSC**). La línea siguiente muestra el sesgo (**LSS**) y la línea inferior representa el límite inferior de concordancia (**LIC**). Límites de concordancia (**LCC**).

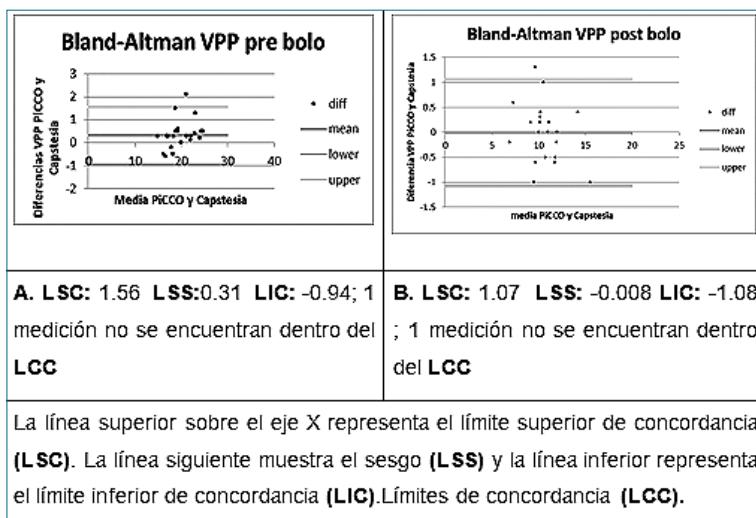
	GC		GC con 1 VAS		GC ≥ 2 VAS		VPP		VPP con 1 VAS		VPP ≥ 2 VAS	
Variable estadística	PiCCO	Cap	PiCCO	Cap	PiCCO	Cap	PiCCO	Cap	PiCCO	Cap	PiCCO	Cap
Promedio (DS)	4,52 (1,50)	4,56 (1,51)	4,80 (1,23)	4,803 (1,34)	3,47 (1,70)	3,68 (1,74)	12,31 (6,59)	13,13 (6,96)	11,53 (6,08)	12,19 (6,3)	15,8 (6,85)	17,21 (7,1)
Diferenc de medias	0,04	0,003	0,21	0,82	0,66	1,41						
Valor p	0,84	0,99	0,64	0,35	0,48	0,44						
CCL* (IC 95%)	0,95 (0,92-0,96)	0,93 (0,90-0,95)	0,96 (0,93-0,98)	0,98 (0,97-0,99)	0,98 (0,97-0,98)	0,97 (0,95-0,98)						

CAPS: Capstesia; VAS: Vasopresor; GC: Gasto cardíaco; CCL: Coeficiente de concordancia de Li.

Figuras 4. Concordancia gasto cardíaco con o sin vasopresor Capstesia y PiCCO según Bland y Altman.



**Figuras 5.** Concordancia VPP con o sin vasopresor Capstesia y PiCCO según Bland y Altman.

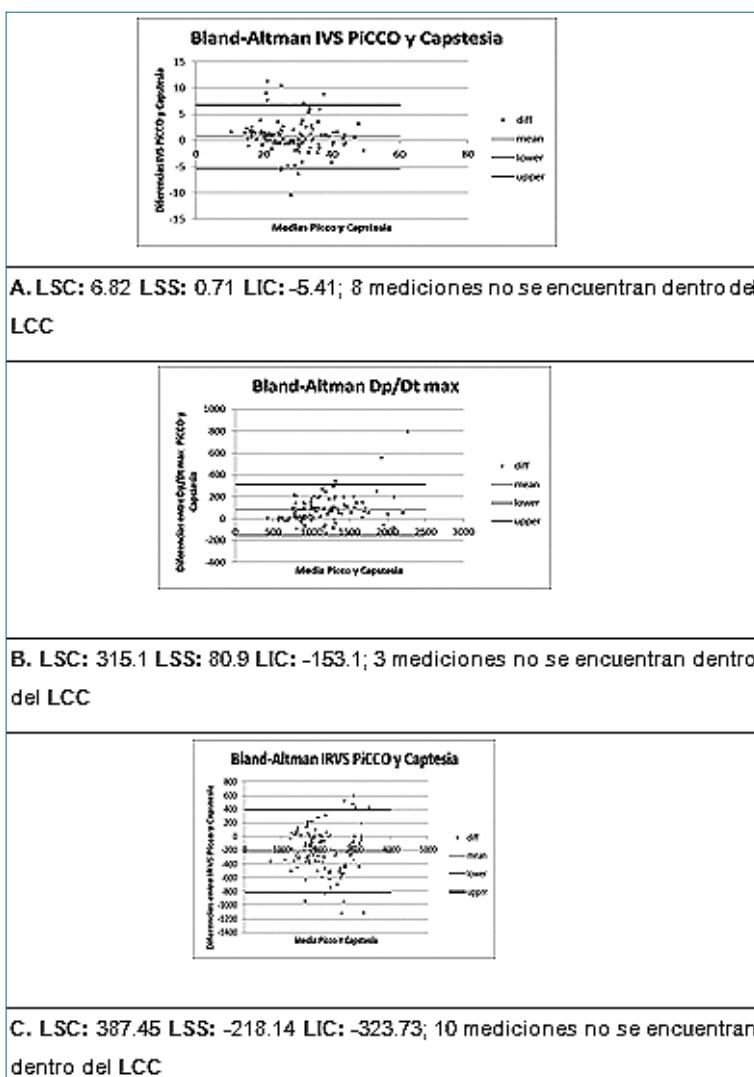


**Figura 6.** Concordancia VPP Capstesia y PICCO posterior a bolo de líquidos.

#### Medición y grado de concordancia de Dp/Dt max PiCCO y Capstesia

Otro de los objetivos que nos propusimos evaluar fue Dp/Dt max. Los valores promedio de PiCCO fue 1085,90 y Capstesia

1166,90 la diferencia entre estas medidas no fueron estadísticamente significativas P: 0,10 Tabla 6. El CCL fue de 0,93 con IC95% de 0,90 y 0,95 corresponde a concordancia moderada, se realizó el gráfico de Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 6).



**Figura 7.** Concordancia Bland-Altman iVS, Dp/Dtmax y iRVS Capst y PiCCO.

### Medición y grado de concordancia de iRVS PiCCO y Capstesia

Los valores promedio de iRVS para PiCCO fue 2246,49 y Capstesia 2028,35 la diferencia entre estas medidas fueron estadísticamente significativas P: 0,008 Tabla 6. El CCL fue de 0,83 con IC95% de 0,76 y 0,88 corresponde a concordancia pobre, se realizó el gráfico de Bland Altman junto con la determinación de los límites de concordancia (Figura 7).

### Discusión

#### Variable gasto cardíaco

En el presente estudio se evaluó la concordancia de gasto cardíaco medida entre la app Capstesia y el método *gold standard* de TDTP por PICCO. Se demostró que la media de gasto cardíaco obtenida fue menor para el monitor PICCO que para la app Capstesia, con una diferencia de 0,04 L/min la cual no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,84$ ) esto coincide con lo re-

portado en la literatura en donde el GC calculado por Capstesia es siempre mayor que lo calculado por termodilución. Sin embargo, los 3 únicos estudios publicados comparando Capstesia y termodilución transpulmonar difieren en la significancia estadística. Para Ann-Kristin et al., quien realizó el análisis de 39 muestras con su par correspondiente para la variable IGC entre Capstesia y PiCCO por termodilución transpulmonar la media del IGC Capstesia y IGC PiCCO no fueron estadísticamente significativos ( $3,7 \pm 1,7$  vs  $3,2 \pm 1,3$  vs L/min/m<sup>2</sup>;  $p = 0,077$ ) como en el presente estudio. Además de ser el único estudio que se realizó hasta la fecha en población de UCI[9]. Mientras que en el de Goyal Gaurav et al., se incluyeron 150 muestras pareadas ASA II o III programados para bypass coronario se midió GC Capstesia y GC termodilución transpulmonar por CAP 1 h después de inicio de la cirugía las diferencias de medias 0,61 fueron estadísticamente significativas ( $3,12 \pm 0,76$  vs  $2,51 \pm 0,79$ ;  $P < 0,001$ )[10]; al igual que en el estudio de Joosten, Alexandre et al., en pacientes programados para cirugía de bypass coronario en el que se midieron 114 muestras con su par correspondiente para la variable GC entre Capstesia y PiCCO por termodilución transpulmonar su diferencia de

**Tabla 5. Concordancia VPP en pacientes respondedores a líquidos antes y después del bolo de líquidos calculadas por monitor PiCCO y Capstesia**

Variable estadística	VPP antes de bolo de líquidos		VPP después de bolo de líquidos	
	PiCCO	Caps	PiCCO	Caps
Promedio (DS)	19,58 (2,62)	19,89 (2,85)	10,63 (1,72)	10,64 (1,89)
Diferencia de medias	0,31		0,008	
Valor P	0,69		0,99	
CCL IC 95%	0,97 (0,93, 0,98)		0,99 0,95 (0,92-0,98)	

CAPS: Capstesia; VAS: Vasopresor; GC: Gasto cardíaco; CCL: Coeficiente de concordancia de Li.

**Tabla 6. Concordancia iVS, Dp/Dt max e iRVS calculadas por monitor PiCCO y Capstesia**

Variable estadística	iVS		Dp/Dt max		iRVS	
	PiCCO	Caps	PiCCO	Caps	PiCCO	Caps
Promedio (DS)	27,94 (8,53)	28,65 (8,23)	1085,89 (359,90)	1166,89 (406,55)	2246,48 (631,58)	2028,35 (629,39)
Diferencia de medias	0,71			81		218,13
Valor P	0,52			0,10		0,008
CCL IC 95%	0,93 (0,90 - 0,95)			0,93 (0,90 - 0,95)		0,83 (0,76 - 0,88)

CAPS: Capstesia; VAS: Vasopresor; GC: Gasto cardíaco; CCL: Coeficiente de concordancia de Li.

medias 0,3 (5,2 L/min vs 4,9 L/min  $P < 0,001$ ) fueron estadísticamente significativos[11]. Sin embargo, estos 2 últimos estudios se realizaron en pacientes de cirugía cardíaca programados para bypass coronario expuestos a tórax abierto y circulación extracorpórea, en este escenario existen cambios fisiológicos en el sistema cardiovascular y pulmonar que podrían interferir en las variables hemodinámicas calculadas por los monitores. Además, ninguno de estos 3 estudios utiliza el coeficiente de concordancia de Li (CCL) que en estadística es el método que se usa para determinar la concordancia entre medidas cuantitativas de 2 métodos de medición diferentes. El presente estudio es el único hasta la fecha en utilizar el CCL junto con el gráfico de Bland Almand para encontrar la concordancia del GC calculado por Capstesia y termodilución transpulmonar PiCCO el cual fue de 0,95 con IC95% de (0,9259 y 0,9634) que corresponde a un nivel de concordancia sustancial entre ambos métodos.

En el estudio de Janaí Santiago-López et al., se tomaron 332 muestras con su par correspondiente para la variable GC entre Capstesia y el monitor Vigileo su diferencia de medias fue de 0,02 no fueron estadísticamente significativas ( $4,43 \pm 1,37$  L/min para el monitor Vigileo y  $4,45 \pm 1,38$  L/min para la app Capstesia  $p > 0,05$ ) adicionalmente calcularon el CCL con un valor de 0,966 con IC95% de 0,958 a 0,973, el cual corresponde a un nivel de concordancia sustancial al igual que en el presente estudio[12]. Sin embargo Janaí Santiago-López evaluó la concordancia entre 2 tecnologías que usan el mismo principio para el cálculo de GC mientras que en el presente estudio los datos del CCL y el Bland Almant fueron resultado de comparar la tecnología Capstesia con el gold standard TDTP[13].

#### Concordancia de VPP post bolo en Capstesia y PiCCO

En el presente estudio el 25,8% de las muestras se consideró en zona de respuesta a líquidos. Se administró bolo de cristal-

oides y se calculó VPP por Capstesia y PiCCO manteniendo una correlación sustancial según el CCL con un Bland Altman similar al documentado en el total de las muestras previas al bolo. Además, posterior al bolo todas las muestras mostraron una VPP menor a 13 tanto en Capstesia como en PiCCO y por lo tanto, no se administró bolos adicionales. Con estos resultados se considera que la VPP calculada por Capstesia permite tomar decisiones en cuanto a terapia de líquidos guiada por objetivos dada su concordancia sustancial con respecto a la calculada por el monitor PiCCO que se mantuvo después de administrar bolo de líquidos. A la fecha este es el primer estudio que evalúa la concordancia de la variable VPP posterior al bolo de líquidos entre capstesia y el monitor PiCCO.

Sin embargo, estudios como el de Josten Alexander et al., cuyo objetivo principal fue comparar la capacidad de VPP calculado por Capstesia (VPP CAP) y la VPP obtenido utilizando un monitor de análisis de contorno de pulso VPP PC (Pulsio flex) para predecir la capacidad de respuesta a los fluidos en 57 pacientes sometidos a bypass coronario. No tuvo diferencias significativas en la capacidad de VPP CAP y VPP PC para predecir la respuesta a los líquidos según los resultados de las curvas ROC para VPP Capstesia y VPP PC (AUROC 0,74 [IC 95%, 0,60-0,84] versus 0,68 [0,54-0,80];  $P = 0,30$ ) respectivamente[11]. Además, del estudio de Hany Mohammed et al., en el cual se evaluó la eficacia de las soluciones hipertónica guiada por objetivos según los valores calculados por Capstesia en disminuir complicaciones en el posoperatorio de cirugía intestinal en población ASA 1 y 2. Sus hallazgos fueron que la TGO dirigida por Capstesia disminuye el aporte de líquidos totales al final de la cirugía siendo estadísticamente significativo y sin generar falla renal aguda en el POP. Adicionalmente, tuvieron menos tasas de infección y fuga de la anastomosis. Estos 2 estudios apoyan los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto a que Capstesia es un método confiable para guiar TGO.

## Conclusión

La aplicación para teléfonos inteligentes Capstesia puede constituir un método alternativo, sencillo, asequible, no invasivo, confiable y de bajo costo para la evaluación de variables hemodinámicas avanzadas en el paciente de la UCI bajo ventilación mecánica invasiva. Variables calculadas por la App Capstesia como GC y VPP tienen concordancias sustanciales con el método *gold standard* de termodilución pulmonar y análisis de onda de pulso respectivamente y con el valor agregado que la concordancia sustancial se mantiene incluso cuando se administran vasopresores o bolos de líquidos por lo tanto, se podría aplicar la terapia guiada por objetivos de manera confiable con la ventaja de un monitor no invasivo. Otras variables como IVS y Dp/Dt max según CCL tienen concordancias moderadas con el monitor PiCCO por lo tanto sirven como guía a la hora del diagnóstico y tratamiento del paciente en UCI. Sin embargo, el iRVS tiene una concordancia pobre con respecto a PiCCO que coincide con los datos reportados en la literatura por lo que no se debería tomar en cuenta dicho dato calculado por la aplicación en el escenario clínico. Teniendo en cuenta lo anterior Capstesia es una herramienta a la mano del anestesiólogo e intensivista para tomar decisiones clínicas basados en medidas objetivas en tiempo real que ayuda a individualizar la terapia clínica según las necesidades de cada paciente (terapia guiada por objetivos) que han demostrado en diferentes ensayos clínicos disminuir morbilidad y estancia hospitalaria[5].

El actual estudio es el primero en calcular la concordancia para las variables (GC, IVS, VPP, Dp/Dt max y iRVS) entre la app Capstesia y el método *gold standard* de termodilución pulmonar PiCCO sus resultados permiten afirmar que los datos derivados de la aplicación son confiables para la toma de decisiones clínicas, pero para tal fin es imperativo: realizar una captura fotográfica centrada, evitar los reflejos de la luz sobre el monitor, una clara visualización de la onda dicrota, la fotografía de la onda de pulso debe tener al menos 6 ondas durante su captura.

## Referencias

- Kobe J, Mishra N, Arya VK, Al-Moustadi W, Nates W, Kumar B. Cardiac output monitoring: technology and choice. Ann Card Anaesth. 2019;22(1):6–17. [https://doi.org/10.4103/aca.ACA\\_41\\_18](https://doi.org/10.4103/aca.ACA_41_18) PMID:30648673
- Bednarczyk JM, Fridfinnson JA, Kumar A, Blanchard L, Rabbani R, Bell D, et al. Incorporating Dynamic Assessment of Fluid Responsiveness Into Goal-Directed Therapy: A Systematic Review and Meta-Analysis. Crit Care Med. 2017 Sep;45(9):1538–45. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000002554> PMID:28817481
- 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 Dec;35(9):552–61. <https://doi.org/10.1016/j.medine.2012.01.001> PMID:21411188
- Barrachina Larraza B, Alvarez Guerras O, Lopez-Picado A. [Capstesia, a new APP for advanced hemodynamic monitoring]. Rev Esp Anestesiol Reanim. 2014 Nov;61(9):535–6. <https://doi.org/10.1016/j.redar.2014.05.013> PMID:25015697
- Desebbe O, Joosten A, Suehiro K, Lahham S, Essiet M, Rinehart J, et al. A Novel Mobile Phone Application for Pulse Pressure Variation Monitoring Based on Feature Extraction Technology: A Method Comparison Study in a Simulated Environment. Anesth Analg. 2016 Jul;123(1):105–13. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001282> PMID:27144541
- Martín Vivas A, Saboya Sánchez S, Patiño Rodríguez M, Silva Obregón JA, Gómez Rosado S, Blanco García JJ. [Hemodynamic monitoring: PiCCO system]. Enferm Intensiva. 2008;19(3):132–40. [https://doi.org/10.1016/S1130-2399\(08\)72755-X](https://doi.org/10.1016/S1130-2399(08)72755-X) PMID:18840328
- Lu X, Zhai H, Dong Y, Su F, Xie Y, Wang Y, et al. Therapeutic Effect and Prognosis of PiCCO in the Treatment of Myocardial Injury Complicated with Septic Shock. Comput Math Methods Med. 2022 Jun;2022:2910849. <https://doi.org/10.1155/2022/2910849> PMID:35707040
- Wang B, Cai L, Lin B, He Q, Ding X. Effect of Pulse Indicator Continuous Cardiac Output Monitoring on Septic Shock Patients: A Meta-Analysis. Comput Math Methods Med. 2022 Apr;2022:8604322. <https://doi.org/10.1155/2022/8604322> PMID:35469224
- Dollerschell J. 281: Ecpr: Should i cannulate? Crit Care Med. 2020 Jan;48(1):123–123. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000619480.77425.93>.
- World Wide Journal - IJSR [Internet]. [cited 2024 May 20]. IJSR - International Journal of Scientific Research. Available from: [https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-\(IJSR\)/page/p/](https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-(IJSR)/page/p/)
- Joosten A, Boudart C, Vincent JL, Vanden Eynden F, Barvais L, Van Obbergh L, et al. Ability of a New Smartphone Pulse Pressure Variation and Cardiac Output Application to Predict Fluid Responsiveness in Patients Undergoing Cardiac Surgery. Anesth Analg. 2019 Jun;128(6):1145–51. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003652> PMID:31094781
- Santiago-López J, León-Ramírez V, Hernández-Ramírez S, Vásquez-Márquez PI, Castellanos-Olivares A. [Concordance in the measurement of cardiac output. Vigileo vs. Capstesia]. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2018;56(2):136–42. PMID:2901910
- Pluta MP, Dziech M, Zachura MN, Szczepanska AJ, Czempik PF, Liberski PS, et al. Hemodynamic Monitoring by Smartphone—Preliminary Report from a Comparative Prospective Observational Study. J Pers Med. 2022 Feb;12(2):200. <https://doi.org/10.3390/jpm12020200> PMID:35207689
- Kong R, Liu Y, Mi W, Fu Q. Influences of different vasopressors on stroke volume variation and pulse pressure variation. J Clin Monit Comput. 2016 Feb;30(1):81–6. <https://doi.org/10.1007/s10877-015-9687-6> PMID:25808454