

## Correlación entre el gasto cardiaco por termodilución y el medido a través de $VCO_2$

Alejandro Díaz Esquivel,\* Enrique Monares Zepeda,† Janet Aguirre Sánchez,‡ Manuel Poblano Moreno,† Gilberto Camarena Alejo,§ Juvenal Franco Granillo<sup>||</sup>

### RESUMEN

En la reanimación del paciente en estado crítico una medición invaluable es el gasto cardiaco (GC). Los métodos disponibles en la actualidad requieren del uso de dispositivos invasivos basados en un principio de termodilución y análisis del contorno de onda de pulso con dispositivos sofisticados y no fácilmente accesibles, mientras que las fórmulas no invasivas de cálculo mediante ecuación de Fick presentan alto riesgo de sesgo. A partir de los modelos de reinhalación de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y diferencia venoarterial de  $CO_2$  se realizó una fórmula para estimar la producción de  $CO_2$  y el gasto cardiaco.

**Objetivo:** El propósito de este trabajo consiste en realizar la medición del gasto cardiaco por medio de una fórmula modificada a partir del principio de Fick y correlacionar con el gasto cardiaco obtenido por termodilución.

**Métodos:** Se obtuvieron datos de pacientes a los cuales se les haya determinado gasto cardiaco por termodilución y determinar el gasto cardiaco con la fórmula propuesta; posteriormente se compararon ambos valores mediante correlación de Pearson.

**Resultados:** Se analizaron 74 mediciones donde el índice de correlación por prueba de Pearson fue de 0.67 entre ambas mediciones. La correlación entre el valor del gasto cardiaco y la diferencia venoarterial fue -0.36 que

### SUMMARY

*In the critically ill patient resuscitation, cardiac output (CO) is an invaluable measure. Currently available methods require the use of invasive devices based on thermodynamic principle or contour analysis of pulse wave with sophisticated devices and not is easily accessible, while noninvasive calculation using Fick's equation has high bias. From models of rebreathing carbon dioxide ( $CO_2$ ) and venoarterial  $CO_2$  difference formula was made to estimate the production of  $CO_2$  and cardiac output.*

**Objective:** The purpose of this work is to perform cardiac output measurement using modified Fick's formula and correlated with cardiac output obtained by thermodynamic and Fick equation.

**Methods:** We obtained data from patients which were determined cardiac output by thermodynamic and proposed formula, both values are compared using Pearson correlation.

**Results:** We analyzed 74 index measurements where Pearson correlation was 0.67 between the two measurements. The correlation between the value of cardiac output and venoarterial difference was -0.36 which is expected by the components of the formula. A correlation between hemoglobin and venoarterial difference was -0.1 and 0.076 in to oxygen saturation concerns.

### INTRODUCCIÓN

En el cuidado del enfermo en estado crítico la monitorización del estado hemodinámico constituye uno de los ejes primordiales de la atención. Una controversia constante en Cuidados Intensivos reside en establecer el método idóneo para reanimar al paciente grave de forma sistemática, de tal manera que se logren determinadas metas de acuerdo a la patología a tratar. Para lograr lo anterior, se debe contar con el conocimiento de los determinantes del estado cardiocirculatorio, así como obtener mediciones que

\* Médico residente de tercer año en Medicina del Enfermo en estado crítico CMABC.

† Médico adscrito del Servicio de Terapia Intensiva CMABC.

‡ Subjefa de Servicio de Terapia Intensiva CMABC Campus Observatorio.

§ Subjefe de Servicio de Terapia Intensiva CMABC Campus Santa Fe.

<sup>||</sup> Jefe de Servicio de Terapia Intensiva CMABC.

resultó lo esperado conforme los componentes de la fórmula. Se observó una correlación entre la hemoglobina y la diferencia venoarterial de -0.1 y con respecto a la saturación de oxígeno de 0.076.

**Conclusiones:** La medición del gasto cardíaco por fórmula tiene una correlación lineal con la determinación por termodilución; sin embargo, esta correlación es baja y debe revisarse nuevamente en función de los determinantes de la fórmula y compararla con otros métodos de medición.

**Palabras clave:** Gasto cardíaco, monitoreo hemodinámico, diferencia venoarterial de  $CO_2$ , cuidados intensivos.

nos aproximen a establecer la causa fisiopatológica de la estabilidad o inestabilidad hemodinámica y así poder realizar las intervenciones propicias para restablecer la homeostasis del individuo.

La monitorización hemodinámica se realiza con mediciones de complejidad muy variada, desde valoraciones clínicas como es la simple observación del gasto urinario, estado de alerta o llenado capilar hasta la obtención de mediciones con dispositivos intravasculares, esofágicos o por ecografía.

Dentro de la evaluación del estado hemodinámico, un componente esencial es la determinación del gasto cardíaco.

El gasto cardíaco se define como la cantidad de sangre expulsada por el corazón por minuto expresada en litros/minuto. Sin embargo, en cuidados intensivos el concepto nos lleva más allá de comprender el fenómeno mecánico de bombeo de sangre desde el corazón a los tejidos. Implica un concepto de índole funcional donde un gasto cardíaco «adecuado» constituye la capacidad de transporte y perfusión que permitan preservar las funciones de los distintos aparatos y sistemas del organismo.

Este parámetro resulta de una variedad de factores dependientes e independientes del miocardio, con una gran cantidad de determinantes y variables que pueden alterar su valor con consecuencias obvias en la capacidad de perfusión. Durante la reanimación y monitorización del enfermo en estado crítico, el tener este valor resulta de gran utilidad.

Existen diversos métodos ideados para estimar el gasto cardíaco, tanto de forma invasiva con el uso de dispositivos tipo catéteres intravasculares, o no invasivos como ecocardiografía convencional o Doppler, análisis de gases reinhalados o estimación del mismo con fórmulas matemáticas a partir de los diferentes determinantes del gasto cardíaco.

La fórmula más ampliamente utilizada es la ecuación de Fick que determina el gasto cardíaco a

**Conclusions:** *The measurement of cardiac output by correlation formula was low correlation and should be reviewed and compared with other methods of measurement.*

**Key words:** *Cardiac output, hemodynamic monitoring, venoarterial  $CO_2$  difference, intensive care.*

partir de los contenidos de oxígeno a nivel venoso y arterial, así como el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ).

Desde 1857, Adolph Fick determinó que el gasto cardíaco puede ser determinado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$GC = VO_2 / \Delta VO_2$$

donde:

GC: Es el gasto cardíaco expresado en litros/minuto.

$VO_2$ : Consumo de oxígeno expresado en mL/min.

$\Delta VO_2$ : Diferencia arteriovenosa expresada en mL/L.

Esta fórmula es accesible y sólo requiere la obtención de la sangre arterial y venosa, así como la determinación del  $VO_2$ .

El  $VO_2$  puede obtenerse por calorimetría indirecta. Sin embargo, en la práctica clínica resulta difícil realizar la determinación de  $VO_2$  por calorimetría, ya sea por poca accesibilidad para realizar mediciones repetidas o por dificultades técnicas para realizarla en pacientes graves. Por lo anterior, se realizan estimaciones teóricas, basadas en tablas e incluso en valores arbitrarios.

Durante mucho tiempo se consideró a la ecuación de Fick como el estándar de oro para la determinación del gasto cardíaco; sin embargo, se plantean objeciones importantes en cuanto a su realización:

La ecuación se describió para sujetos «normales», es decir, estables hemodinámicamente.

De acuerdo a la fórmula, se estableció un valor teórico «normal» de  $VO_2$  en 250 mL/min.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la fórmula de Fick supone sesgos importantes en pacien-

tes críticamente enfermos, en los cuales el  $VO_2$  es considerablemente variable.

Una alternativa para determinar el componente de «consumo» dentro de la ecuación de Fick consiste en extrapolar el  $VO_2$  a  $VCO_2$ .

Cuando se realiza el despeje de la fórmula de ventilación alveolar puede obtenerse la  $VCO_2$  a partir de la ventilación minuto:

$$VCO_2 = \text{Gasto energético} * 0.8/6.8644 \text{ (6)}$$

Esta técnica de determinación del gasto cardiaco es utilizada en los métodos de determinación del gasto cardiaco por reinhalación (tecnología NICO).

Sin embargo, para establecer el  $VCO_2$  se requiere del gasto energético basal.

En el trabajo de Faysi y colaboradores<sup>2</sup> se estableció una fórmula que mide el gasto energético basal, tomando en cuenta parámetros fisiológicos y antropométricos fácilmente reproducibles, comparada con otras fórmulas con adecuada correlación y con una variabilidad aceptable. La ventaja de esta fórmula consiste en que por los componentes de la misma, no requiere mayores factores de corrección y correlaciona con otros métodos de determinación del mismo.

El último componente a sustituir en la fórmula lo constituye la diferencia arteriovenosa de oxígeno, que, teóricamente, se podría realizar con la diferencia venoarterial de  $CO_2$ . En los trabajos de Gutiérrez y cols.<sup>2</sup> se planteó el concepto de diferencia venoarterial de  $CO_2$ , tomando en cuenta una cantidad mayor de determinantes y correcciones para establecer esta medición. En este trabajo se decidió utilizar la diferencia venoarterial de  $CO_2$  como denominador de esta ecuación de Fick modificada.

### JUSTIFICACIÓN

No se cuenta con una fórmula para la medición del gasto cardiaco en la cual sea posible realizar una estimación más aproximada, partiendo del sesgo de la ecuación de Fick de no conocer la  $VO_2$  real.

### OBJETIVOS

Estimar el gasto cardiaco mediante la fórmula propuesta en este trabajo, y establecer la correlación con respecto a la medición por catéter de flotación, que es el método más difundido en nuestro medio.

Evaluar la correlación de la fórmula tradicional de Fick con respecto a la obtenida con la fórmula propuesta en este trabajo.

De forma secundaria se valorará cuáles fueron los determinantes mayores de la diferencia venoarterial de  $CO_2$ .

### HIPÓTESIS

Existe una correlación entre la medición del gasto cardiaco por el método de termodilución con respecto a la fórmula propuesta en este trabajo.

### MÉTODOS

Para obtener los expedientes elegibles se realizó una búsqueda electrónica por medio de la base de datos ONBASE con campo de búsqueda «*Registro Hemodinámico*» durante el periodo de tiempo previamente mencionado.

Posteriormente se realizó la solicitud al Servicio de Archivo Clínico para realizar una revisión manual del expediente para cotejar la hora de medición con respecto a hoja del resto gasométrico de la Unidad de Terapia Intensiva.

Se realizó la determinación del gasto cardiaco por medio de la fórmula en pacientes admitidos en la Unidad de Terapia Intensiva a los cuales se les haya realizado determinación de gasto cardiaco, ventilación mecánica y por lo menos una gasometría arterial y venosa.

#### Criterios de inclusión

- Pacientes admitidos en la Unidad de Terapia Intensiva de febrero de 2010 a abril de 2011.
- Realización de cuando menos una medición de gasto cardiaco por catéter de Swan Ganz, ya sea por método de termodilución o por gasto cardiaco continuo y toma de gasometría arterial y venosa con menos de una hora de diferencia.
- Pacientes con ventilación mecánica.

#### Criterios de exclusión:

- Toma de gasto cardiaco por metodología diferente a catéter de Swan Ganz (análisis de contorno de pulso u otra).

#### Criterios de eliminación:

- No disponibilidad del expediente clínico durante el curso del estudio.

- Ausencia de datos clínicos para los cálculos dentro del expediente: peso, talla, temperatura, volumen minuto, hemoglobina y/o registros gasométricos y de hemodinámica.
- Registros dañados de tal forma que comprometan su legibilidad.

Fórmula propuesta para este estudio

Se partirá de la siguiente fórmula presentada de manera similar en otros estudios:

$$GC = VCO_2 / DvaCO_2$$

donde:

GC: Es el gasto cardíaco en L/min.

VCO<sub>2</sub>: Es la producción de CO<sub>2</sub> en mL/min.

DvaCO<sub>2</sub>: Es la diferencia venoarterial de CO<sub>2</sub>.

Se realizará la determinación de VCO<sub>2</sub> mediante la siguiente ecuación:

$$VCO_2 = GEB * 0.8 / 6.844 \quad (6)$$

donde:

GEB: Es el gasto cardíaco que se determinará mediante una fórmula validada en los trabajos de Faysi y colaboradores.<sup>2</sup>

0.8 y 6.84: Son constantes de corrección.

Fórmula de Faysi para gasto energético basal:

$$GEB = [(peso \text{ en kg} * 8) + (talla \text{ en cm} * 14) + (volumen \text{ minuto en litros} * 32) + (temperatura \text{ en } ^\circ\text{C} * 94)] - 4834$$

La determinación de la diferencia venoarterial de CO<sub>2</sub> se realizará mediante la fórmula que presenta Niviere en el trabajo de Benoit Vallet y colaboradores:<sup>1</sup>

$$DvaCO_2 = 11.02 [(pvCO_2) 0.396 - (paCO_2) 0.396 - (15-Hb) 0.015 + (pvCO_2 - paCO_2) - (95 - SatO_2) 0.064]$$

Se revisó la correlación entre mediciones del gasto cardíaco con prueba de Pearson analizados con el software SPSS versión 14.

## RESULTADOS

Se contemplaron 118 expedientes para revisar, de los cuales se obtuvieron registros confiables en 37

y de éstos se eliminaron 10 pacientes por determinación del gasto cardíaco por otra metodología (análisis de contorno de onda de pulso) y se analizaron las mediciones de los 27 pacientes restantes con un total de 74 mediciones.

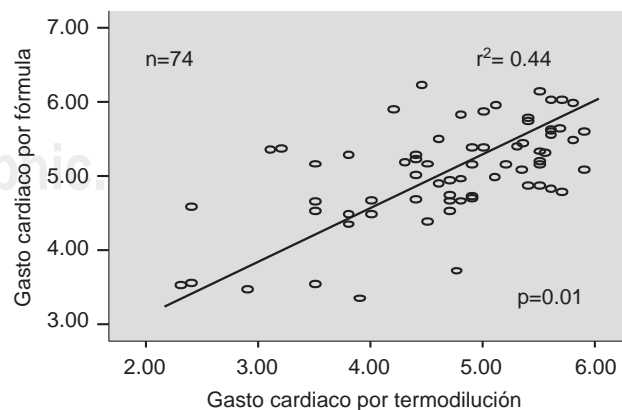
Se observó una media de edad de 67 años con desviación estándar (DS) de 13.8 años. Se obtuvo una media de VCO<sub>2</sub> de 231.16 mL con DS de 29.1 mL, GEB de 1,983 con DS de 250.5 calorías (*cuadro I*).

Se encontró una media de gasto cardíaco de 4.8 con desviación estándar de 1.06 L/min para la determinación del gasto cardíaco por termodilución y 5.1 con una desviación estándar de 0.7 L/min en la determinación por fórmula.

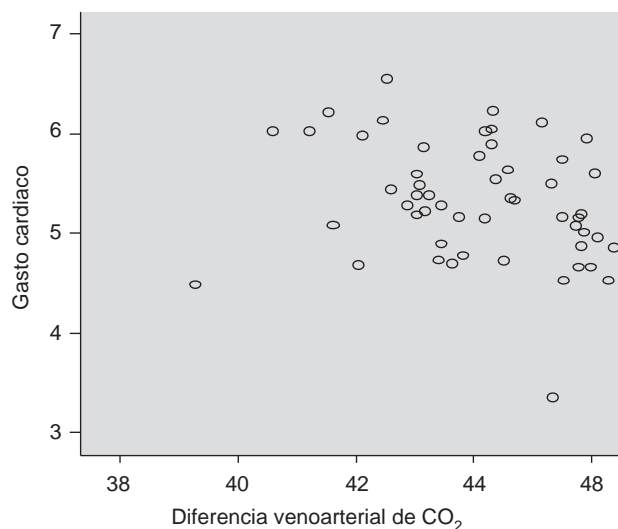
El índice de correlación por prueba de Pearson fue de 0.67 entre ambas mediciones con una p de 0.02 (*figura 1*).

**Cuadro I. Distribución de los valores encontrados.**

Parámetro	Media	Desviación estándar
Edad (años)	67.0	13.00
Hemoglobina (g/dL)	10.0	1.60
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	39.0	4.90
Gasto energético (calorías)	1,983.0	250.50
Diferencia venoarterial (mL/L)	45.0	2.10
Gasto cardíaco por termodilución (L/min)	5.1	1.06
Gasto cardíaco por fórmula (L/min)	4.8	0.70
VO <sub>2</sub> (mL/min)	231.0	29.10



**Figura 1. Correlación del gasto cardíaco por termodilución vs fórmula.**



**Figura 2.** Gasto cardiaco vs diferencia venoarterial.

La correlación entre el valor de gasto cardiaco y la diferencia venoarterial fue de  $-0.36$  que resulta esperado por los componentes de la fórmula.

Se observó una correlación entre la hemoglobina y la diferencia venoarterial fue de  $-0.1$  y con respecto a la saturación de oxígeno de  $0.076$  con  $p$  de  $0.02$ .

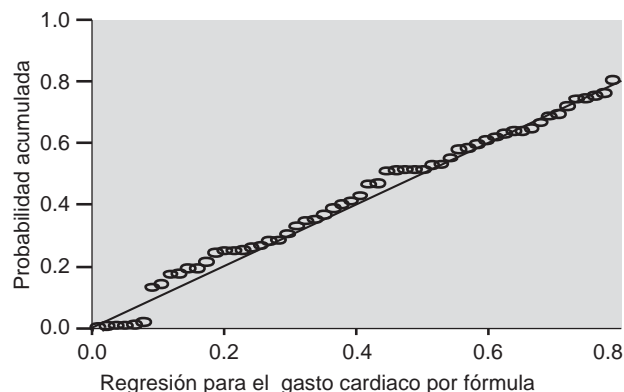
## DISCUSIÓN

En nuestro trabajo se analizaron 74 mediciones del gasto cardiaco por la metodología de termodilución, que es la más empleada y estudiada en nuestro medio, y se realizó la correlación con respecto a la medición del gasto cardiaco por medio de la fórmula propuesta. La correlación entre valores fue directa y positiva, lo cual indica que los resultados de la fórmula manifiestan la misma tendencia que las mediciones por Swan Ganz en pacientes de terapia intensiva.

Resulta evidente que la muestra fue pequeña para poder evaluar de forma sustancial la efectividad de la fórmula y probablemente se requiera repetir el estudio con una muestra más grande y contemplar otras técnicas de medición del gasto cardiaco disponibles.

La principal dificultad para el desarrollo de esta fórmula fue la determinación del valor de  $VCO_2$ , donde se observó una variabilidad importante de valores observada con una desviación estándar de  $29.1$ .

Para la estimación del  $VCO_2$  se observaron dos dificultades importantes: Para estimarlo de forma



**Figura 3.** Regresión lineal.

confiable la medición se debe realizar en una modalidad de ventilación mecánica donde el volumen minuto fuese constante, y por otro lado, la determinación del gasto energético basal a partir de una fórmula matemática agregó mayor riesgo de sesgo con una desviación estándar de hasta  $250.5$  Kcal.

El factor que más modificó la medición de  $VCO_2$  fue la determinación del gasto energético basal, por lo que se deberá evaluar nuevamente la fórmula con determinaciones diferentes de GEB.

Sin embargo, pese a este importante factor de sesgo se observó varianza semejante entre valores.

Al término del estudio se realizaron gráficas de simulación para estudiar el comportamiento de los resultados mediante una gráfica de regresión lineal (figura 3).

Por lo expresado en la curva, tanto la medición por termodilución como la medición por fórmula respetan la distribución normal en la simulación de mediciones repetidas. Lo anterior significa que la medición teórica es semejante al comportamiento de las mediciones clínicas.

## CONCLUSIONES

La determinación del gasto cardiaco por fórmula constituye una alternativa para establecer la tendencia en el comportamiento del gasto cardiaco en pacientes con ventilación mecánica y volumen minuto constante. Sin embargo, la correlación con respecto al método de termodilución no permite utilizarla de forma equivalente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Vallet B, Teboul JL, Cain S, Curtis S. Venoarterial  $CO_2$  difference during regional ischemic or hypoxic hypoxia. *J Appl Physiol* 2000;89:1317-1321.

2. Faisy C, Lerolle N, Dachraoui F, et al. Impact of energy deficit calculated by a predictive method on outcome in medical patients requiring prolonged acute mechanical ventilation. *Brit J Nutr* 2008;9:1-9.
3. Gutiérrez G. A mathematical model of tissue-blood carbon dioxide exchange during hypoxia. *AJRCCM* 2004;169(4):525-533.
4. Kothari N, Amaria T, Hegde A, et al. Measurement of cardiac output: Comparison of four different methods. *IJTCVS* 2003;19:163-168.
5. Murias EG, Villagrà A, Vatua S. Evaluation of a noninvasive method for cardiac output measurement in critical care patients. *Intensive Care Med* 2002;28:1470-1474.
6. Siddiki H, Kojicic M, Li G. Bedside quantification of dead-space fraction using routine clinical data in patients with acute lung injury: secondary analysis of two prospective trials. *Critical Care* 2010.
7. Young BP, Low LL. Noninvasive monitoring cardiac output using partial CO<sub>2</sub> rebreathing. *Crit Care Clin* 2010;26:383-392.

## Correspondencia:

Dr. Alejandro Díaz Esquivel

Centro Médico ABC I.A.P.

Sur 136 Núm. 116 Colonia Las Américas

01120, México D.F.

Tel 52 30 80 00 ext. 8594

E-mail: dr\_alejandro\_diaz\_esquivel@hotmail.com