



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
  
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL  
CENTRO MEDICO NACIONAL SIGLO XXI  
UNIDAD MEDICA DE ALTA ESPECIALIDAD  
HOSPITAL DE PEDIATRIA "DR. SILVESTRE FRENK FREUND"



TITULO:

Correlación entre la determinación del índice cardiaco medido por ecocardiograma y las fórmulas basadas en el método de Fick en pacientes pediátricos en estado crítico

TESIS DE POSTGRADO PARA OBTENER EL DIPLOMA DE:  
ESPECIALISTA EN PEDIATRIA  
PRESENTA:

Dra. CAROLINA MUÑOZ PEREA

Residente de tercer año de la especialidad de pediatría. Hospital de pediatría CMN SXXI.

Correo electrónico: dra.cmp1@hotmail.com

TUTORES:

Dr. JESUS BONILLA ROJAS

Pediatra alta especialidad en Patología crónica de la infancia. Jefe de servicio Escolares. Hospital de pediatría CMN SXXI.

Correo electrónico: jesus.bonilla@imss.gob.mx

Dr. HORACIO MÁRQUEZ GONZÁLEZ

Mtro. en Ciencias. Cardiólogo Pediatra. Investigador asociado B IMSS. Hospital de pediatría CMN SXXI

Correo electrónico: horaciomarquez84@hotmail.com

DRA. MARIA DE JESUS ESTRADA LOZA

Cardiólogo Pediatra Ecografista. Departamento de Cardiología Pediátrica Hospital de Pediatría CMN SXXI.

CIUDAD DE MEXICO, ENERO DE 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice

Resumen .....	2
Introducción .....	3
Marco teórico .....	4
Planteamiento del problema .....	9
Pregunta de investigación.....	10
Hipótesis.....	10
Justificación .....	11
Objetivos.....	12
Pacientes y métodos.....	13
Universo de estudio .....	13
Diseño y tipo de muestreo .....	14
Variables y escala de medición.....	15
Variables y escala de medición.....	16
Descripción general del estudio .....	17
Análisis estadístico .....	19
Aspectos éticos.....	19
Resultados.....	21
Discusión .....	22
Conclusiones .....	25
Diagramas, tablas y gráficas (Resultados).....	26
Referencias bibliográficas.....	29

## Resumen

La monitorización del gasto cardiaco (GC) es relevante en la evaluación y tratamiento de los pacientes críticamente enfermos. La mejor forma para evaluarlo implica técnicas que no están disponibles en todos los hospitales que ofrecen atención a este tipo de enfermos (bioimpedancia, termodilución, resonancia magnética). Existen diversas fórmulas que permiten la determinación del GC basadas en el principio de Fick (diferencias entre la saturación arterial y venosa central), sin embargo no cuentan con estandarización para pacientes en edad pediátrica. El ecocardiograma transtorácico (ECOTT) tiene la posibilidad calcular el GC con validez semejante a los mejores métodos diagnósticos.

**Objetivo:** determinar la correlación del cálculo del gasto cardiaco entre el ECOTT y 6 formulas derivadas del método de Fick en pacientes pediátricos.

**Métodos:** estudio transversal con análisis de correlación realizado en un hospital de tercer nivel; se incluyeron pacientes entre 1 mes y 16 años con catéter venoso central, gasometría arterial y ECOTT realizado simultáneamente, calculando 6 fórmulas derivadas del método de Fick.

**Análisis estadístico:** se realizó estadística descriptiva y se calculó la correlación con prueba de Pearson entre el resultado de las fórmulas y el ECOTT.

**Resultados:** se incluyeron 86 pacientes con edad promedio de  $36 \pm 6$  meses, 32 pacientes (37.2%) recibieron algún tipo de soporte inotrópico y 40 pacientes (46.5%) apoyo con vasopresor. La fórmula:  $[\text{Peso}(\text{kg}) * 4] / [D(\text{a-v})\text{O}_2 * 10]$  presentó una correlación con un valor de  $r=0.85$  ( $p < 0.0001$ ) conservando dicho comportamiento en la evaluación del índice cardiaco y las resistencias vasculares periféricas.

**Conclusión:** La fórmula del GC que incluye las diferencias arteriovenosas y la estimación del consumo de oxígeno por peso, es la que mejor aproximación tiene a los valores calculados por ECOTT.

## Introducción

### **Gasto cardiaco, conceptos y valores normales.**

Se denomina como gasto cardiaco (GC) al volumen de sangre expulsado por el corazón en un minuto. Se expresa como  $GC = \text{volumen sistólico} \times \text{frecuencia cardiaca}$ .

Los valores normales en el adulto sano oscilan entre 4-6.5 L/min, en reposo. Sin embargo, existen diferentes situaciones que producen un cambio en el mismo como la ansiedad, excitación, ejercicio, cambios de posición y patologías (cardiopatías, fiebre, arritmias).<sup>1</sup> Debido a que el valor del gasto cardiaco es variable de acuerdo a la superficie corporal (SC) se prefiere indizarlo para estandarizar su medición.

Los determinantes del gasto cardiaco son el volumen sistólico y la frecuencia quienes a su vez dependen de:

**Precarga:** Es el volumen ventricular al final de la diástole, está determinada por la volemia y la compliance ventricular. La presión venosa central y la presión de la aurícula izquierda son medidas indirectas de la precarga.<sup>2</sup>

**Poscarga:** Es la resistencia a la eyección ventricular. En el corazón sano, la poscarga equivale a la tensión de la pared ventricular en sístole, siendo esta tensión la presión que debe superar el ventrículo para contraerse.<sup>1</sup> Está determinada por la resistencia vascular periférica, la compliance de las arterias y el volumen contenido en el sistema arterial.<sup>3</sup> El gasto cardiaco tiene una relación inversa con la poscarga.

**Contractilidad cardiaca:** Es la capacidad intrínseca del miocardio para bombear la sangre en condiciones de precarga y poscarga constantes. Está relacionada con la velocidad de acortamiento del músculo cardiaco, que a su vez depende del contenido de calcio intracelular de los miocitos y proteínas musculares como la proteincinasa. La contractilidad cardiaca puede estar modulada por factores nerviosos y humorales.<sup>4</sup>

## Marco teórico

El paciente en estado crítico, que tiene compromiso hemodinámico, amerita que el manejo de volumen, aminas y vasopresores sea justificado con base en las determinantes de la precarga, contractilidad y poscarga, por lo que es imperioso el uso de catéteres centrales y dispositivos que traspasen la dermis, esto se entiende como monitoreo invasivo.<sup>5</sup> Cualquier paciente pediátrico críticamente enfermo es tributario a estos procedimientos.<sup>6,7</sup> La enfermedad crítica en el paciente pediátrico incluye desde una patología aguda en un niño sano hasta una agudización de una enfermedad crónica. El paciente en estado crítico generalmente presenta demandas de oxígeno anormales debido al propio proceso desencadenante de la enfermedad.

La utilidad de la evaluación hemodinámica es la detección oportuna del estado de choque, a este respecto Razavi y cols demostraron que la concordancia entre el diagnóstico clínico (pulsos, llenado capilar, tipo de respiración) es baja ( $\kappa=0.28$ ) cuando se clasifica con métodos que ofrecen el resultado del GC y resistencias vasculares sistémicas (RVS).<sup>8</sup>

### **Métodos para determinar el gasto cardiaco**

En 1887, Fick describió el primer método para calcular el GC, basado en el contenido arterial de oxígeno ( $CaO_2$ ), el contenido de oxígeno en sangre venosa mixta ( $CvO_2$ ) y el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) según la siguiente fórmula:  $GC = VO_2 / (CaO_2 - CvO_2)$ .

En décadas pasadas, el principal método para la determinación del gasto cardiaco ha sido el método de termodilución, dicho método requiere la colocación de un catéter en la arteria pulmonar (Swan Ganz) a través de una vena de gran calibre (subclavia, yugular o femoral) que transcurre a través de la vena cava, aurícula y ventrículo derecho para alojar el extremo distal en la arteria pulmonar. Las mediciones obtenidas a través del dispositivo proporcionan información acerca de la función cardiaca (gasto cardiaco, pre y postcarga). Sin embargo, este método es sumamente invasivo pudiéndose presentar complicaciones graves como: infarto pulmonar, desgarro de la arteria pulmonar, arritmias auriculares y ventriculares, infección o daño valvular directo; por lo que se ha buscado el desarrollo de métodos no invasivos. Por lo tanto, la evidencia científica respalda contundentemente la contraindicación de este catéter por su asociación directa con el incremento de la mortalidad.<sup>9</sup>

Durante varios años se han desarrollado diversas técnicas para la medición del GC, entre las que se encuentran técnicas de dilución de colorante, ecocardiografía, angiografía con radionúclidos, resonancia magnética nuclear y método de Fick directo.<sup>10</sup>

En la práctica clínica diaria, la medición de GC está sujeta a disponibilidad de los estudios previamente mencionados, y considerando que en quién se mide se encuentra en una condición basal que compromete gravemente su vida, el mejor método de medición deberá ser<sup>11</sup>:

- Accesible las 24h: debido a que el paciente puede modificar su estado general en cualquier momento.
- Mínimamente invasivo: que no amerite contraste, sedación, traslado.
- Económico: los cambios continuos en la administración de volumen y aminas basados en estudios costosos pueden incrementar el gasto corriente por paciente y terminarán no utilizándose.

### **Medición del gasto cardiaco por ecocardiografía**

Existen diversos modos de estimar el gasto cardiaco mediante ecocardiografía, actualmente mediante la reconstrucción volumétrica y la deformidad puede estimarse el GC de forma fiable, sin embargo no todo el personal está adiestrado y los equipos no están habilitados con una sonda que permita la reconstrucción en tercera dimensión (3D). No obstante existe un método validado con la obtención del anillo aórtico y la integral tiempo/velocidad (ITV), estos cálculos se pueden realizar tanto por vía transtorácica como transesofágica.<sup>12</sup> De estas la que presenta mejor concordancia con las mediciones realizadas con el catéter en la arteria pulmonar es la medición por Doppler pulsado en tracto de salida del ventrículo izquierdo (TSVI), determinando dos variables: 1) por un lado el diámetro del TSVI para calcular el área de superficie (con la fórmula para un círculo) y el espectro de la velocidad de flujo (ITV) reportada en m/s. En pacientes posquirúrgicos pediátricos la correlación entre el método de Fick y el gasto cardiaco estimado por ecocardiografía transtorácica presenta una  $r=0.96$ .<sup>13</sup>

Esta técnica es de fácil acceso y económica sin embargo debe ser realizada por un médico experto, por lo que su uso durante las prácticas clínicas complementarias se encuentra limitado a la existencia de dicho experto para su realización.

## Medición del gasto cardiaco por índice de Fick

La ecuación de Fick es el método no invasivo más utilizado para la determinación del gasto cardiaco, expresado a través de la siguiente fórmula:

$$GC = VO_2 / D(a-v) O_2$$

Esta fórmula es accesible y sólo requiere la obtención de una muestra de sangre arterial y venosa, así como la determinación del consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) expresada en ml/min. El  $VO_2$  puede obtenerse a través de distintos métodos, sin embargo en la práctica clínica se realizan estimaciones teóricas, basadas en tablas específicas.<sup>14</sup>

Existen distintas formas para la obtención de la fórmula del  $VO_2$ :

- Algunas de ellas están establecidas por tablas de normalidad según la superficie corporal basadas en las mediciones con catéteres en las distintas porciones del corazón.
- El  $VO_2$ , puede estimarse de forma indirecta por fórmulas validadas como<sup>15</sup>:  
 $VO_2 = DP * 8.46 / 1000$ , donde DP es resultado de la frecuencia cardiaca por la presión arterial sistólica.

El problema de la medición del GC por este método consiste en que no está comprobada la confiabilidad y la validez de estas fórmulas en el paciente pediátrico por los siguientes inconvenientes:

- La distribución de la superficie corporal según el crecimiento.
- Las implicaciones éticas que confiere la medición del GC por el estándar de oro.
- Los pacientes con monitoreo de la arteria pulmonar por cateterismo (lo más parecido a los datos que proporciona un catéter de Swan-Ganz) son precisamente los enfermos con cardiopatía congénita (CC) donde la confiabilidad de la saturación de la gasometría arterial (en el caso de las CC cianóticas de flujo pulmonar disminuido, por presentar de saturación en este compartimiento) o la venosa central (incremento de la saturación en las CC acianógenas de flujo pulmonar incrementado por el cortocircuito) es mínima.
- La poca disponibilidad de ecocardiograma y un experto en todos los hospitales.



Lo anterior ha originado que el uso de las distintas fórmulas estimadoras del GC condicione una variabilidad en su elección. En la actualidad se carece de estudios pediátricos donde se comparen dichas fórmulas.

Las ecuaciones que hasta el momento se han propuesto son las siguientes,

$$\text{Formula 1 GC} = [D(a-v)O_2 * 100 / D(a-v)O_2]$$

$$\text{Formula 2 GC} = [(125 * SC) / D(a-v)O_2 * 8.5]$$

$$\text{Formula 3 GC} = [VO_2 (\text{calculado}) * SC / D(av)O_2 * 10]$$

$$\text{Formula 4 GC} = [\text{Peso}(\text{kg}) * 4] / [D(a-v)O_2 * 10]$$

En el estudio titulado “Medición del gasto cardíaco en niños sometidos a cateterismo cardíaco: comparación entre el método de Fick y PRAM (método analítico de registro de presión)”, realizado por Alonso y Cols, se tuvo como objetivo comparar el método analítico de registro de presión (PRAM) contra el método de estimación de gasto cardiaco de Fick, este se realizó en 52 pacientes pediátricos sometidos a cateterismo cardiaco diagnóstico y los resultados demuestran una adecuada correlación con una  $r^2=0.90$ ,  $p<0.001$ .<sup>16</sup>

Finalmente Taniguchi y cols realizaron un estudio para calcular el grado de correlación entre el GC estimado por método de Fick y bioimpedancia, reportando una  $r=0.65$ .<sup>17</sup>

### **Índice practicidad (IP)<sup>18</sup>**

Algunos estudios de correlación han determinado que el  $CaO_2$  explica en mayor medida el comportamiento del GC del método de Fick, por lo que se han establecido fórmulas conocidas como índices de practicidad que lo estiman en ausencia de corto circuito.<sup>19</sup>

$$\text{IP 1 GC} = [75 / CaO_2]$$

$$\text{IP 2 GC} = [90 / CaO_2]$$

Estas fórmulas no han sido estudiadas en población pediátrica, sin embargo, de presentar una correlación aceptable ( $r>0.75$ ) podrían ser empleadas en el caso de los pacientes pediátricos que no cuenten con catéter venoso central.

### **La necesidad de estudios de correlación y no de prueba diagnóstica**

Se requiere específicamente en estas fórmulas estimar su correlación con un método específico (en este caso el ecocardiograma transtorácico) debido a que es más útil para los clínicos saber la probabilidad en la que la fórmula empleada explica el resultado que se obtendría en el ecocardiograma, porque la diferencia de unidades implicará un resultado distinto al momento de calcular el índice de resistencias vasculares (IRVS) o de índice de extracción de oxígeno.

La prueba diagnóstica precisa medición del estándar de oro (que no siempre se cuenta) y documenta sobre la sensibilidad, especificidad, valores predictivos (positivos o negativos) para la presencia o ausencia de la enfermedad con base en la determinación predicha por el estándar de oro. En este caso estos estudios serán útiles en casos específicos de choque séptico o cardiogénico.

## Planteamiento del problema

La determinación del GC es sin duda una de las herramientas más importantes durante la evaluación y manejo del paciente en estado crítico. En los últimos años se han desarrollado diversas modalidades para su determinación; sin embargo, estas modalidades son de difícil acceso debido a que se trata de técnicas invasivas, de alto costo y que requieren de la intervención y manejo de diversos especialistas. Además no existen métodos aprobados en el paciente pediátricos, todas las técnicas y fórmulas utilizadas se basan en estudios realizados en adultos.

En la práctica clínica diaria es necesario el uso de una herramienta de fácil acceso, económica y mínimamente invasiva que permita determinar de manera exacta el gasto cardiaco en el paciente en estado crítico, permitiendo una mejor evaluación y abordaje terapéutico para mejorar su expectativa de vida al disminuir su morbimortalidad.

El Hospital de Pediatría de CMN SXXI brinda atención a población del centro y sur del país, siendo centro de referencia en el manejo de pacientes hematológicos. Se estima que alrededor del 60% de la población de nuestra unidad son pacientes con padecimientos hematológicos, quienes durante su tratamiento presentaran al menos un evento de fiebre y neutropenia con alto riesgo de desarrollar choque séptico. La atención del paciente en estado crítico que precise de monitoreo invasivo no es exclusiva de las áreas de terapia intensiva; también en las áreas de hospitalización es parte de la práctica habitual del tratamiento de pacientes hemodinámicamente inestables que ameritan determinación del gasto cardiaco en cualquier momento durante su estancia.

## Pregunta de investigación

¿Cuál será la correlación entre la determinación del gasto cardiaco (GC) a través del ecocardiograma transtorácico y distintas fórmulas basadas en el método de Fick en pacientes pediátricos en estado crítico?

## Hipótesis

Existirá una correlación con una  $r$  mayor de 0.75 entre la fórmula basada por método de Fick que emplea diferencias arteriovenosas y el ecocardiograma transtorácico.

## Justificación

La medición del gasto cardiaco es de suma importancia en el manejo del paciente en estado crítico, ya que permite realizar una mejor evaluación de las condiciones de salud del paciente, normar conducta terapéutica y determinar la respuesta al manejo médico establecido.

Nuestra unidad médica cuenta con una amplia población de pacientes en estado crítico que son atendidos en los servicios por pediatras titulados y en formación, quienes realizan evaluaciones hemodinámicas continuas en estos pacientes, siendo necesario contar con la mejor técnica para determinar el gasto cardiaco, debido a que las variaciones en su resultado pueden condicionar toma de decisiones imprecisas. Obtener la información sobre la fórmula con mejor correlación con el ecocardiograma permitirá que se justifique la unificación en el cálculo de la evaluación hemodinámica y de forma secundaria la estandarización en la obtención de datos para futuras investigaciones.

El siguiente es un ejemplo diario, obtenido de un caso de nuestro hospital que demuestra la variedad en los resultados y las posibilidades en la decisión terapéutica. Por lo que se justifica un estudio que conteste la pregunta de investigación y se obtenga como beneficio la decisión para emplear una única fórmula.

**Ejemplo:**

Paciente pediátrico en estado crítico que se toma gasometría arterial y venosa central para tomar la decisión entre el inicio de aminas/vasopresor con base en IC y el IRVS

<b>SC= 0.63</b> Tensión arterial sistólica de 110mm Hg Tensión arterial diastólica de 60 mm Hg Frecuencia cardiaca= 110 latidos por minuto	
<b>Gasometría arterial</b> Sat= 0.99% PO <sub>2</sub> =112mm Hg Hb= 12.5g/dL	<b>Gasometría venosa central</b> Sat= 0.76% PO <sub>2</sub> =65 mm Hg Hb= 12.5g/dL

Cálculos  
 CaO<sub>2</sub>= 18.24 ml/dL  
 CvO<sub>2</sub>=12.93 ml/dL  
 D(A-V)O<sub>2</sub>=5.31 ml/dL  
 VO<sub>2</sub> calculado= 102 ml/kg/min  
 VO<sub>2</sub> estimado= 165 ml/kg/min

Estimación por fórmulas	IC= GC/SC	IRVS= TAM(73)X80/IC
GC 1= 5.4 L/min	GC 1= 8.5 L/min	GC 1= 687 dinas
GC 2= 1.74 L/min	GC 2= 2.7 L/min	GC 2= 2,162 dinas
GC 3= 2.0 L/min	GC 3= 3.1 L/min	GC 3= 1,883 dinas
GC 4= 3.2 L/min	GC 4= 5.0 L/min	GC 4= 1,168 dinas
IP 1= 5.4 L/min	IP 1= 8.5 L/min	IP 1= 687 dimas
IP 2= 4.2 L/min	IP 2= 6.6 L/min	IP 2= 887 dinas

De acuerdo a los resultados, la decisión de los clínicos podría ser:

- Vasopresor
- Inotrópico
- Nada

CaO<sub>2</sub>= contenido arterial de oxígeno, CvO<sub>2</sub>=contenido venoso de oxígeno, D(A-V)O<sub>2</sub>= diferencias arteriovenosas de oxígeno, GC= gasto cardiaco, IC= índice cardiaco, IP=índice de practividad, IRVS= Índice de resistencias vasculares sistémicas, Sat=saturación, PO<sub>2</sub>=presión de oxígeno, Hb= hemoglobina, VO<sub>2</sub>=consumo de oxígeno.

## Objetivos

### OBJETIVO GENERAL

- Determinar la correlación de los resultados de la medición del GC e indizado por superficie corporal entre el ecocardiograma transtorácico y las fórmulas derivadas del método de Fick en pacientes pediátricos en estado crítico.

## Pacientes y métodos

### *Diseño del estudio:*

- Por temporalidad: prolectivo
- Por análisis: correlación
- Por el número de mediciones: transversal.
- Por intervención del investigador: observacional.

### *Sitio de realización del estudio*

El presente estudio se realizó en el Hospital de Pediatría de la Unidad Médica del Alta Especialidad Hospital de Pediatría “Dr. Silvestre Frenk Freund” CMN SXXI en el periodo comprendido de Agosto a Octubre de 2017.

## Universo de estudio

Pacientes pediátricos en estado de gravedad que ameritaron toma de muestras para evaluación hemodinámica.

### *Criterios de inclusión*

- Pacientes entre 1 mes y 16 años de edad.
- Hombre o mujer
- Pacientes con monitoreo invasivo a través de catéter venoso central corroborado por radiografía de tórax.
- Con inestabilidad hemodinámica o con necesidad de evaluación para manejo dinámico de aminos/vasopresor.

### *Criterios de exclusión*

- Pacientes con diagnóstico de cardiopatía congénita no reparada.
- Pacientes con taquicardia mayor a la percentil 90 para la edad.
- Pacientes portadores de catéter venoso central cuyo lumen se encuentre con las siguientes condiciones de riesgo de manipulación: nutrición parenteral o terapia antimicrobiana cerrada.

### Criterios de eliminación

- Disfunción del catéter venoso central al momento de la toma de muestra.
- Pacientes con evidencia de cortocircuito o cardiopatía al momento de la realización de ecocardiograma transtorácico.

### Diseño y tipo de muestreo

Se empleó el coeficiente de correlación estimado por Taniguchi y cols de 0.65 entre el ecocardiograma transtoracico y método de Fick, con la fórmula de correlación unilateral:

$$z = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right) \quad n = \left( \frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

r=0.65

a=0.05

b=0.20

z=1.94

El resultado entre la correlación por el método de Fick (por catéter intracardiaco) es de 10 pacientes, sin embargo como se tratan de 6 fórmulas basadas en dicho principio se sumarán este número por cada uno, es decir un total de 60 pacientes.

El Muestreo será no probabilístico de casos consecutivos.



## Variables y escala de medición

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDICION
<b>Sexo</b>	Conjunto de características biológicas que definen al espectro de humanos como hombre o mujer	Referido en el expediente clínico	Cualitativa Nominal Dicotómica	1 mujer 2 hombre
<b>Edad</b>	Tiempo que ha vivido una persona contando desde su nacimiento	Tiempo comprendido desde el nacimiento hasta el momento de la evaluación	Cuantitativa Intervalo	Edad en meses
<b>Diagnóstico de base</b>	Enfermedad o entidad nosológica o cualquier estado patológico que padece en individuo determinado y que puede afectar cualquier aparato o sistema.	Enfermedad de base de acuerdo al expediente clínico que condicione estado actual de gravedad.	Cualitativa Nominal	1.Hematooncologico 2.Cardiológico 3.Neurologico 4.Gastronutricio 5.Metabolicorenal 6.Quirurgico 7. Otros
<b>Estado de choque</b>	Sepsis más disfunción cardiovascular	Sepsis más tres o más de los siguientes: Hipotensión Taquicardia Oliguria Fiebre	Cualitativa Nominal	0 No 1 Si
<b>Peso corporal</b>	Cantidad de masa que alberga el cuerpo de una persona.	Reportado en la última nota de ingreso previo al manejo hídrico del paciente, en caso de paciente nefropatía o que lo amerite peso seco	Cuantitativa Continua	Kilogramos (Kg)
<b>Estatura</b>	Altura de una persona medida de los pies a la cabeza	Altura reportada en la nota de ingreso a la unidad medica	Cuantitativa Continua	Centímetros (cm)
<b>Gasto cardiaco obtenido por ecocardiografía</b>	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: área del tracto de salida del ventrículo izquierdo x ITV x FC	Área del tracto de salida del VI x ITV x FC	Cuantitativa Continua	Litros por minuto
<b>Gasto cardiaco obtenido por método de Fick Formula 1</b>	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $GC = [D(a-v)O_2 * 100 / D(a-v)O_2]$	$GC = [D(a-v)O_2 * 100 / D(a-v)O_2]$	Cuantitativa Continua	Litros por minuto
<b>Gasto cardiaco obtenido por método de Fick Formula 2</b>	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $GC = [(125 * SC) / D(a-v)O_2 * 8.5]$	$GC = [(125 * SC) / D(a-v)O_2 * 8.5]$	Cuantitativa Continua	Litros por minuto
<b>Gasto cardiaco obtenido por método de Fick Fórmula 3</b>	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $GC = [VO_2 (\text{calculado}) * SC / D(a-v)O_2 * 10]$	$GC = [VO_2 (\text{calculado}) * SC / D(a-v)O_2 * 10]$	Cuantitativa Continua	Litros por minuto
<b>Gasto cardiaco obtenido por método de Fick Fórmula 4</b>	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $GC = [Peso(kg) * 4] / [D(a-v)O_2 * 10]$	$GC = [Peso(kg) * 4] / [D(a-v)O_2 * 10]$	Cuantitativa Continua	Litros por minuto

## Variables y escala de medición

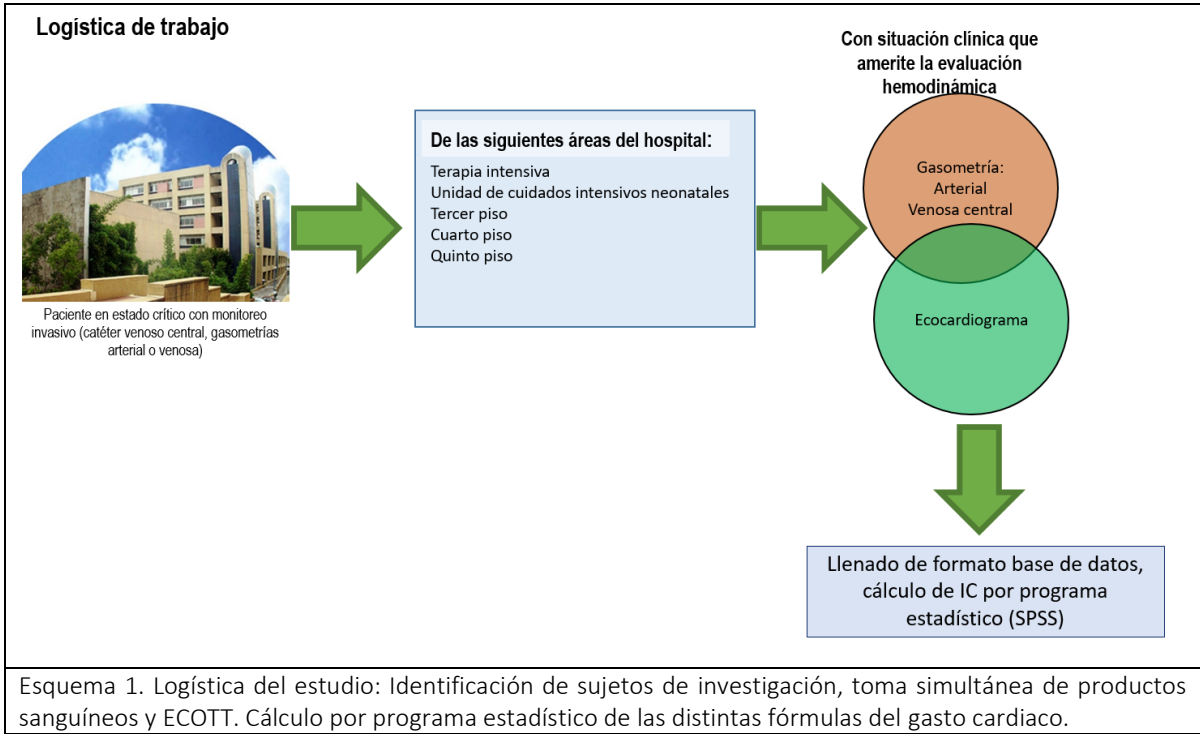
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDICION
Gasto cardiaco medido por índice de practicidad 1	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $\frac{75}{CaO_2}$	IP 1 GC= [75/CaO <sub>2</sub> ]	Cuantitativa Continua	Litros por minuto
Gasto cardiaco medido por índice de practicidad 2	Volumen de sangre expulsado por cada ventrículo en un minuto obtenido a través de la siguiente ecuación: $\frac{90}{CaO_2}$	IP 2 GC= [90/ CaO <sub>2</sub> ]	Cuantitativa Continua	Litros por minuto

## Descripción general del estudio

El presente estudio se llevó a cabo por un residente de tercer año de pediatría médica y un cardiólogo experto en ecocardiografía. Se identificaron aquellos pacientes hospitalizados en estado crítico portadores de catéter venoso central, a los cuales se les solicitó su autorización para la realización de la presente investigación, en el caso de los pacientes que por su estado de gravedad no pudieron consentir el mismo, se solicitó al padre o tutor su consentimiento para la inclusión en dicho estudio. Una vez obtenido el consentimiento se realizó la valoración del gasto cardiaco a través del ecocardiograma transtorácico mediante la fórmula  $GC = \text{área del tracto de salida de VI} \times \text{ITV} \times \text{FC}$ . Las mediciones fueron realizadas por un médico cardiólogo experto ecografista en primer lugar se realizó la medición del tracto de salida del ventrículo izquierdo a través del eje paraesternal largo y se calculó su área con la fórmula  $3.1416 \times \text{radio al cuadrado}$ , después en el eje cinco cámaras se midió con Doppler pulsado el espectro a nivel del tracto de salida del ventrículo izquierdo y se trazó la integral de tiempo volumen (ITV), la frecuencia cardiaca se obtuvo del registro del equipo y finalmente los valores obtenidos se sustituyeron en la fórmula obteniendo así el valor del gasto cardiaco.

Posteriormente el médico residente realizó la toma de una muestra de sangre arterial por punción arterial con técnica aséptica y una muestra de sangre venosa, está a través de catéter venoso central de igual manera con técnica aséptica; ambas muestras fueron procesadas en el laboratorio clínico de esta unidad médica. Dichas maniobras se realizaron de manera simultánea por el médico cardiólogo ecografista y el residente de tercer año de pediatría en un lapso no mayor a 60 minutos.

Se registraron los datos demográficos y los obtenidos a través del ecocardiograma transtorácico (ITV, área del tracto de salida del VI) y de las muestras sanguíneas (gasometría arterial: pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, saturación arterial y hemoglobina/ gasometría venosa pH, pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub>, saturación venosa) para posteriormente realizar los cálculos pertinentes a través de las seis ecuaciones descritas previamente con la finalidad de obtener los valores del gasto cardiaco para cada una de las fórmulas. Finalmente se realizó el análisis de los datos por médico cardiólogo experto y residente de pediatría. (Esquema 1)



## Análisis estadístico

Se realizó estadística descriptiva; en el caso de las variables cuantitativas se expresaron medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (desviación estándar, rangos intercuantilares) según la distribución de los datos. En el caso de las variables cualitativas se expresaron en frecuencias absolutas y porcentajes. Se realizó prueba de normalidad con Kolmogorov-Smirnov.

Se realizó estadística inferencial con prueba de correlación de Pearson empleando como variable independiente el gasto cardiaco estimado por ecocardiografía transtorácica con el resto de las formulas a evaluar y se calculó el valor de  $r$ . En los casos necesarios se realizó análisis de regresión lineal ajustado por edad, superficie corporal y frecuencia cardiaca. Teniendo los siguientes valores:

Correlación	Valor
Mala correlación	Menor 0.60
Buena correlación	0.60 a 0.79
Muy buena correlación	Mayor o igual a 0.80

El programa estadístico que se utilizó para el análisis fue SPSS en versión MAC No 20.

## Aspectos éticos

Los datos obtenidos se manejan de manera anónima y confidencial de acuerdo a los tratados de Helsinki modificados en Tokio y de acuerdo a las normas y reglamentos de Instituto Mexicano del Seguro Social y al Hospital de Pediatría de Centro Médico Nacional Siglo XXI "Dr. Silvestre Frenk Freund".

De acuerdo con la actualización del tratado de Helsinki de 2013 se solicitó consentimiento informado a todos los padres o tutores de los sujetos de investigación. En caso de que el sujeto presentará alguna condición en la cual el riesgo de manipulación de catéter fuera innecesario (uso de nutrición parenteral, terapia antimicrobiana cerrada por infusión) no se incluyó en el estudio.

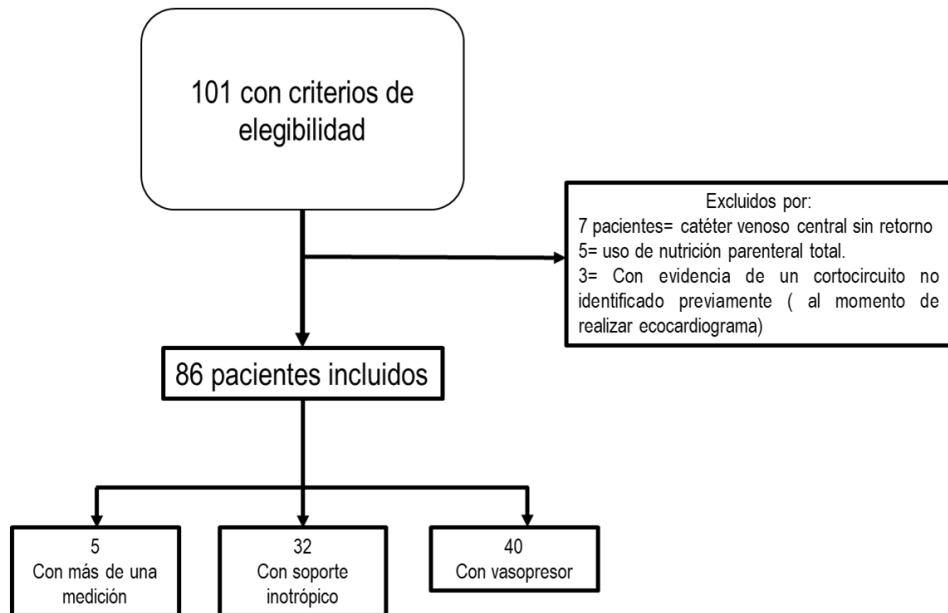
De acuerdo al principlismo médico, las consideraciones éticas fueron las siguientes:

- Autonomía: los pacientes y tutores fueron informados de las características, beneficios y riesgos de la participación del estudio, en caso de estar de acuerdo en participar se les solicitó llenado y firma de carta de consentimiento informado, en caso de que el enfermo se encontrara en condiciones adecuadas, se solicitó carta de asentimiento. La confidencialidad de los datos se aclaró desde el principio en la carta de consentimiento informado.
- Justicia: por tratarse de un procedimiento de rutina en este tipo de enfermos, todos los pacientes con evaluaciones hemodinámicas durante el periodo, fueron candidatos a participar.
- Beneficencia: la única información extra fue la referida en el ecocardiograma, si la situación ofreció conocimiento adicional como: derrame pericárdico, obstrucciones, trombos en la inserción del catéter, evidencia de vegetaciones, fue inmediatamente proporcionada al médico tratante para beneficio del enfermo.
- No maleficiencia: la toma de gasometrías es parte de la práctica habitual, no se expuso a pacientes que no lo ameriten y tampoco se realizaron conductas diferentes a las empleadas en el cuidado de accesos venosos centrales. La realización el ecocardiograma es totalmente inocua por no emplear punciones, contrastes y radiaciones.

## Resultados

Durante el periodo de realización del protocolo, se incluyeron 86 mediciones que cumplieron los criterios de selección, las causas de eliminación se muestran en el diagrama 1.

Diagrama 1: Descripción del proceso de selección de los sujetos de investigación



La edad promedio de la población fue de  $36 \pm 6$  meses, de los cuales 45 (52.3%) corresponden al género femenino. En relación a las características de la población, 32 (37.2%) recibieron algún tipo de soporte inotrópico y 40 (46.5%) con vasopresor. El principal inotrópico utilizado fue la dobutamina (30.2%) mientras que el principal vasopresor fue la noradrenalina (42%).

Con los datos obtenidos de la gasometría venosa central y arterial, se realizaron cálculos gasométrico con la finalidad de calcular el gasto cardiaco, índice cardiaco y resistencias vasculares sistémicas a través de las distintas fórmulas, en la tabla 2 pueden observarse a detalle dichos cálculos donde podemos ver que en relación al gasto cardiaco la fórmula  $(\text{peso (kg)} \cdot 4) / (D(a-v) O_2 \cdot 10)$  es la que tiene el valor más cercano al gasto cardiaco obtenido por ecocardiograma (4.6 L/min vs 4.5 L/min). La que menos se relaciona con un valor de 6.6 L/min es la fórmula de  $(125 \cdot SC) / [D(a-v) O_2 \cdot 8.5]$ . Estos resultados son similares a los encontrados en el índice cardiaco y las

resistencias vasculares sistémicas donde la fórmula  $(\text{peso (kg)}^4) / (D(a-v) O_2 * 10)$  es la que tiene valores más similares a los obtenidos en el ecocardiograma.

Al realizar el cálculo de la correlación entre los valores del gasto cardiaco obtenido por las distintas fórmulas y el calculado por ECOTT, los resultados más relevantes fueron los siguientes: en relación al GC las fórmulas que no muestran correlación son las derivadas de índice de practicidad  $90/\text{CaO}_2$  ( $r=0.18$ ) y la fórmula  $[D(a-v)O_2 * 100]/\text{CaO}_2/D(a-v)O_2$  ( $r=0.1$ ), mientras que las otras fórmula se observan valores estadísticamente significativos siendo la fórmula 4  $[\text{peso (Kg)}^4] / [D(a-v) O_2 * 10]$  la de mejor correlación con una  $r=0.85$  ( $p<0.0001$ ) (Tabla 3). En relación a las correlaciones del índice cardiaco y las resistencias vasculares sistémicas todos los valores muestran valores estadísticamente significativos; encontrando la mejor correlación en la fórmula 4  $[\text{peso (Kg)}^4] / [D(a-v) O_2 * 10]$ .

## Discusión

En este trabajo se comprobó la hipótesis alterna demostrando que una de las fórmulas para la determinación del gasto cardiaco tuvo una correlación clasificada como muy buena comparada con el ecocardiograma transtoracico.

Sobre los pacientes incluidos en este protocolo, el promedio de edad correspondió a etapa de “Prescolares” quienes tienen una mayor factibilidad para obtener los productos sanguíneos y realizar las proyecciones ecocardiográficas. Además en 46.5% de la población se presentó compromiso inotrópico que ameritó administración de agentes vasopresores/inotrópicos.

A continuación se realizará una discusión con base en los resultados obtenidos y la evidencia científica para cada grupo de fórmulas:

1. **Índices de practicidad (fórmulas IP1 e IP2):** integran en su estructura únicamente el  $\text{CaO}_2$  con el objetivo de evaluar el desempeño del cálculo del GC sin la necesidad de la medición de la gasometría venosa central para el cálculo de las  $D(a-v)O_2$ , sin embargo los resultados demostraron que la correlación de dichas fórmulas con el ECOTT fue clasificada como *mala correlación*. En consecuencia su utilización en la evaluación hemodinámica *sobrestima* el GC e IC y consecuentemente *subestima* las RVS e IRVS, justificando con estos resultados el inicio de vasopresor en la mayoría de los casos. Una de las causas que probablemente



condiciona esta variabilidad puede deberse a que los numeradores (75,90) representan un estimado del  $\text{VO}_2$  a partir del esperado para una superficie corporal menor de  $1 \text{ m}^2\text{SC}$  en condiciones de ejercicio (esta población de Armon y cols de 1985 incluyó sujetos en todas las etapas de la vida con una muestra que no se basó en un cálculo de tamaño de muestra suficiente para ajustar por edades pediátricas) .<sup>21</sup>

2. **Las fórmulas que incorporan las  $D(a-v)\text{O}_2$  en el denominador (Formulas 1 y 2):** La base del cálculo de las  $D(a-v)\text{O}_2$  es la piedra angular del método de Fick debido a que se estima el consumo de oxígeno a partir de la brecha existente entre el compartimiento (en volúmenes de oxígeno) arterial y venoso, de tal forma que el GC es indirectamente proporcional a esta brecha <sup>22</sup>. Los numeradores de estas fórmulas se relacionan con estimadores del  $\text{VO}_2$ , sin embargo la correlación observada es menor de 0.50 para todas las variables de interés. Existe un trabajo realizado en México en población adulta donde reportaron una correlación con la termodilución de 0.15 para la primera fórmula  $[D(a-v)\text{O}_2 * 100] / [\text{CaO}_2 / D(a-v)\text{O}_2]$  y 0.33 en la segunda  $(125 * \text{SC}) / [D(a-v)\text{O}_2 * 8.5]$ .<sup>23</sup>

3. **Fórmulas que emplean el estimado del cálculo del  $\text{VO}_2$  y que incluyen  $D(a-v)\text{O}_2$ , fórmulas 3 y 4 :** El  $\text{VO}_2$  es un estimador del volumen de oxígeno consumido por los tejidos corporales por unidad de tiempo, expresado en mL/min, por lo que evalúa la fase de la *perfusión* en el “camino del oxígeno” desde el aire ambiental hasta la mitocondria. Esta variable se modifica de acuerdo a las demandas de oxígeno que dependen de: actividad y tasa metabólica basal; dicho de otro modo, el paciente en estado de estrés por enfermedad (fiebre, sepsis o actividades musculares elevadas) el consumo se incrementa y consecuentemente la medición del GC estimado. <sup>24</sup>

En el caso de la fórmula 3, el numerador que corresponde a la estimación del  $\text{VO}_2$   $[(\text{FC} * \text{PAS}) * 8.46 / 1000]$  se validó en sujetos adultos sanos durante el ejercicio, y el resultado final mostró una correlación *buena*.

Mientras la fórmula 4  $[(\text{peso}(\text{kg}) * 4) / (D(a-v)\text{O}_2 * 10)]$  que estima el consumo de oxígeno relacionado en el producto del peso en kilogramos por el aproximado de volúmenes de oxígeno transportados por cada kilogramo (que son 4 mm Hg de  $\text{O}_2$ ) resultó ser la que manifestó el mejor desempeño (*muy buena correlación*); sin embargo la media del peso de la población fue de 22 kg, y probablemente el cálculo podría sobreestimarse en sujetos con pesos mayores (cerca de los del adulto), por lo que, según estos resultados, resultaría ser

la mejor fórmula en las etapas pediátricas correspondientes a lactante, preescolar y escolar.<sup>24</sup>

Las ventajas de este estudio radican en que la medición y cálculo de las diferentes fórmulas se realizaron en el mismo individuo de forma simultánea y la población consideró un grupo con alteración hemodinámica franca. Estos resultados permiten que al interior del Hospital se estandarice la fórmula empleada para la evaluación hemodinámica y permita el menor rango de error en el manejo del paciente en estado crítico.

Las mejoras que deben considerarse en el presente estudio son que los resultados comparados deben ampliarse con la herramienta ideal para el cálculo del GC (bioimpedancia, termodilución, resonancia magnética), debido a que es siempre cuestionable la certeza del ecocardiograma transtoracico por tratarse de una herramienta operadora dependiente.

Las propuestas para complementar estos resultados se basan en la justificación de realizar nuevos estudios que incluyan poblaciones en diversos escenarios de choque, pesos extremos (obesidad o desnutrición) e incremento del número de pacientes por rango de edad, con la finalidad de observar el comportamiento en los resultados de correlación.

Desprendido del presente trabajo los autores consideramos que en caso de carecer de una medición de la saturación venosa central es mejor que se cuente con el estimador del volumen sistólico (por ecocardiograma) para las mediciones; o en su defecto continuar la evaluación del estado hemodinámico con otros marcadores: datos clínicos (tensión arterial, llenado capilar) y/o bioquímicos (lactato) con altas posibilidades de cometer los errores.

Estos cambios en la conducta de abordaje del estado hemodinámico se aproximan a las recomendaciones de guías como “Sobreviviendo a la Sepsis”<sup>25</sup> donde en la última actualización se recomienda el monitoreo hemodinámico con ecocardiograma durante el proceso de la reanimación para cada fase <sup>26</sup>. Además de que nos acerca a los Pediatras al entendimiento e individualización de los casos para la toma de decisiones.

## Conclusiones

En esta población de pacientes pediátricos la fórmula que presentó los valores de mejor correlación con el ecocardiograma fue la fórmula:  $[(\text{peso (kg)} * 4) / (D(a-v) O_2 * 10)]$ .

Los índices de practicidad tuvieron una menor correlación por lo que su uso no está recomendado en aquellos casos donde se cuente con un acceso venoso central.

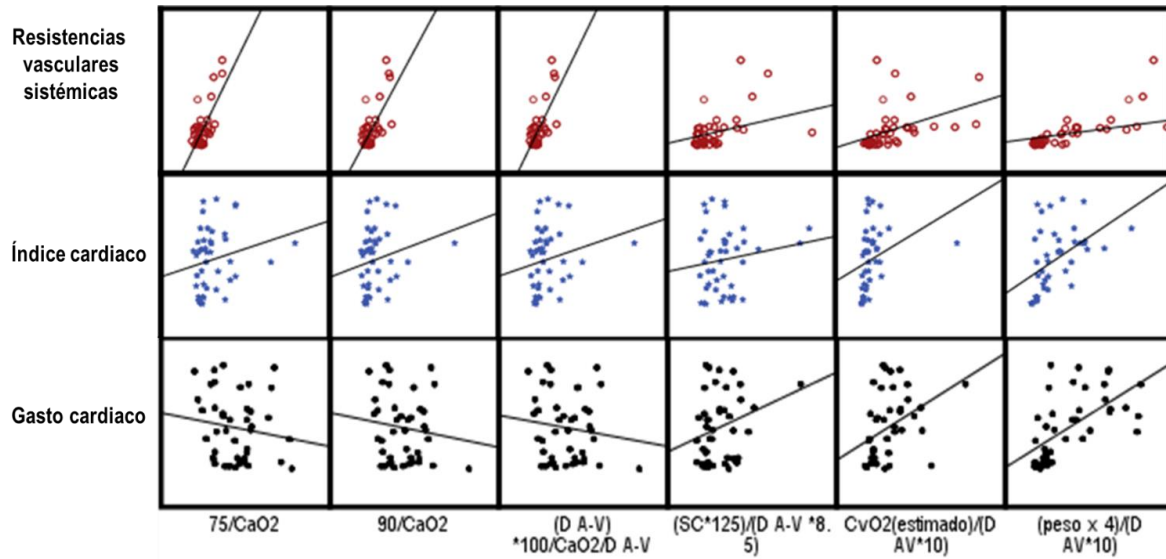
## Diagramas, tablas y gráficas (Resultados)

<b>Tabla 1: Datos generales de la población N= 86</b>		
<b>Variabes</b>	<b>Promedio/frecuencia</b>	<b>Desviación estándar/porcentaje</b>
Sexo*	Hombre	41
	Mujer	45
Estado de choque *		40
Inotrópico*	Ninguno	54
	Dobutamina	26
	Milrinona	4
	Levosimendan	2
Vasopresor*	Ninguno	44
	Noradrenalina	36
	Adrenalina	4
Edad (meses)	36	6
Peso (kg)	22	1.5
Talla (cm)	113	4
Superficie corporal (m <sup>2</sup> )	0.83	0.03
Tensión arterial sistólica (mm Hg)	98	1.7
Tensión arterial diastólica (mm Hg)	60	1.9
Frecuencia cardiaca ( por min)	106	9
Frecuencia respiratoria ( por min)	28	5
<b>Gasometría arterial</b>		
pH	7.39	0.02
pCO <sub>2</sub> (mm Hg)	38	4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	23	2
pO <sub>2</sub> (mm Hg)	96	3
Saturación arterial (%)	92	10
Hemoglobina (g/dL)	12	2
<b>Gasometría venosa</b>		
pH	7.37	0.01
pCO <sub>2</sub> (mm Hg)	38	4
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol/L)	23	2
pO <sub>2</sub> (mm Hg)	70	10
Saturación arterial (%)	70	12
<b>Cálculos gasométricos y hemodinámicos</b>		
Contenido arterial de oxígeno (ml/dL)	16	3
Contenido venoso de oxígeno (ml/dL)	13	2
Diferencias arteriovenosas	2.6	1.6
Tracto de salida del VI (cm)	1.5	0.3
ITV (cm/s)	16	3.5
*Datos expresados cualitativamente en frecuencias y porcentajes Abreviaturas: CHO <sub>3</sub> = bicarbonato; ITV= integral tiempo/velocidad del jet aórtico; pCO <sub>2</sub> = presión de dióxido de carbono; pO <sub>2</sub> =presión de oxígeno; VI= ventrículo izquierdo		

Variable	Promedio	Desviación estándar
<b>Gasto cardiaco (L/min)</b>		
Ecocardiograma	4.5	0.7
75/CaO <sub>2</sub>	5.9	1.2
90/CaO <sub>2</sub>	5.8	1.1
[D(a-v)O <sub>2</sub> *100]/CaO <sub>2</sub> /D(a-v)O <sub>2</sub>	6.1	1.2
(125*SC)/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *8.5]	6.6	1.4
VO <sub>2</sub> (calculado)*SC/[D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	5.4	1.5
[peso(kg)*4]/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	4.6	1.1
<b>Índice cardiaco (L min/ m<sup>2</sup>)</b>		
Ecocardiograma	5.6	1.7
75/CaO <sub>2</sub>	8.9	2.4
90/CaO <sub>2</sub>	8.8	2.3
[D(a-v)O <sub>2</sub> *100]/CaO <sub>2</sub> /D(a-v)O <sub>2</sub>	9.8	3.2
(125*SC)/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *8.5]	8.1	3.1
VO <sub>2</sub> (calculado)/[D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	8.7	2.1
[peso(kg)*4]/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	5.5	1.8
<b>Resistencias vasculares sistémicas (dinas)</b>		
Ecocardiograma	3194	312
75/CaO <sub>2</sub>	1393	123
90/CaO <sub>2</sub>	1405	97
[D(a-v)O <sub>2</sub> *100]/CaO <sub>2</sub> /D(a-v)O <sub>2</sub>	1265	125
(125*SC)/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *8.5]	2633	460
VO <sub>2</sub> (calculado)/[D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	2596	470
[peso(kg)*4]/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	3320	540
<p><b>Fórmulas empleadas:</b> IC (GC/SC); índice de resistencias vasculares sistémicas= (TAM-PVC)*80/IC</p> <p><b>Abreviaturas:</b> CaO<sub>2</sub>= contenido arterial de oxígeno; CVO<sub>2</sub>= contenido venoso de oxígeno; D(a-v)O<sub>2</sub>=diferencias arteriovenosas de oxígeno; GC= gasto cardiaco; IC= Índice cardiaco; TAM= tensión arterial media; VO<sub>2</sub>= consumo de oxígeno.</p>		

Fórmulas	Gasto cardiaco		Índice cardiaco		Resistencias vasculares sistémicas	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
75/CaO <sub>2</sub>	0.2	<b>0.04</b>	0.37	<b>0.01</b>	0.34	<b>0.001</b>
90/CaO <sub>2</sub>	0.18	0.1	0.45	<b>0.02</b>	0.37	<b>0.001</b>
[D(a-v)O <sub>2</sub> *100]/CaO <sub>2</sub> /D(a-v)O <sub>2</sub>	0.1	0.4	0.33	<b>0.01</b>	0.37	<b>0.03</b>
(125*SC)/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *8.5]	0.3	<b>0.006</b>	0.20	<b>0.05</b>	0.54	<b>0.01</b>
VO <sub>2</sub> (calculado)/[D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	0.70	<b>0.0001</b>	0.69	<b>0.001</b>	0.66	<b>0.0001</b>
[peso(kg)*4]/ [D(a-v)O <sub>2</sub> *10]	<b>0.85</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.86</b>	<b>0.0001</b>	<b>0.82</b>	<b>0.0001</b>
<p>Negritas= significancia estadística; cursiva= buena correlación (&gt;0.60); cursiva con negritas= muy buena correlación (&gt;0.80)</p> <p><b>Abreviaturas:</b> CaO<sub>2</sub>= contenido arterial de oxígeno; CVO<sub>2</sub>= contenido venoso de oxígeno; D(a-v)O<sub>2</sub>=diferencias arteriovenosas de oxígeno;</p> <p>GC= gasto cardiaco; IC= Índice cardiaco; TAM= tensión arterial media; VO<sub>2</sub>= consumo de oxígeno.</p>						

Gráfica 2: Matriz de correlación el cálculo de gasto cardiaco, índice cardiaco y resistencias vasculares sistémicas de distintas fórmulas y el ecocardiograma



## Referencias bibliográficas

- 1 Garcia X, Mateu L, Maynar J, et al. [Estimating cardiac output. Utility in the clinical practice. Available invasive and non-invasive monitoring]. *Med Intensiva* 2011; 35:552-61
- 2 Felbinger TW, Reuter DA, Eltzschig HK, et al. Cardiac index measurements during rapid preload changes: a comparison of pulmonary artery thermodilution with arterial pulse contour analysis. *J Clin Anesth* 2005; 17:241-8
- 3 Kurita T, Morita K, Kawasaki H, et al. Lithium dilution cardiac output measurement in oleic acid-induced pulmonary edema. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16:334-7
- 4 Mathews L, Singh RK. Cardiac output monitoring. *Ann Card Anaesth* 2008; 11:56-68
- 5 Garcia-Salido A, Nieto-Moro M, Iglesias-Bouzas MI, et al. [Critically ill pediatric hemato-oncology patient: What we do is what we should do?]. *An Pediatr (Barc)* 2016; 85:61-9
- 6 Patel R, Solanki A, Patel H, et al. Monitoring Microcirculatory Blood Flow during Cardiopulmonary Bypass in Paediatric Cardiac Surgery Patients as a Predictor for Anaerobic Metabolism. *J Clin Diagn Res* 2017; 11:UC22-UC25
- 7 Román-Vistraín G, Muñoz-Ramírez CM, Márquez-González H, et al. Valoración hemodinámica durante la guardia. *El Residente* 2015; 10: 69-76
- 8 Razavi A, Newth CJL, Khemani RG, et al. Cardiac output and systemic vascular resistance: Clinical assessment compared with a noninvasive objective measurement in children with shock. *J Crit Care* 2017; 39:6-10
- 9 Bernard GR, Sopko G, Cerra F, et al. Pulmonary artery catheterization and clinical outcomes: National Heart, Lung, and Blood Institute and Food and Drug Administration Workshop Report. Consensus Statement. *JAMA* 2000; 283:2568-72
- 10 Inadomi C, Terao Y, Yamashita K, et al. Comparison of oxygen consumption calculated by Fick's principle (using a central venous catheter) and measured by indirect calorimetry. *J Anesth* 2008; 22:163-6
- 11 Wongsirimetheekul T, Khositseth A, Lertbunrion R. Non-invasive cardiac output assessment in critically ill paediatric patients. *Acta Cardiol* 2014; 69:167-73
- 12 Maeder MT, Karapanagiotidis S, Dewar EM, et al. Accuracy of Echocardiographic Cardiac Index Assessment in Subjects with Preserved Left Ventricular Ejection Fraction. *Echocardiography* 2015; 32:1628-38
- 13 Boehne M, Baustert M, Paetzel V, et al. Determination of cardiac output by ultrasound dilution technique in infants and children: a validation study against direct Fick principle. *Br J Anaesth* 2014; 112:469-76
- 14 Fakler U, Pauli C, Hennig M, et al. Assumed oxygen consumption frequently results in large errors in the determination of cardiac output. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005; 130:272-6
- 15 Castro A, Barriga AP, Perdomo O. Medición del consumo de oxígeno del miocardio en el puerperio normal: ejemplo de eficiencia fisiológica. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología* 2005; 56:288-93
- 16 Alonso-Inigo JM, Escriba FJ, Carrasco JI, et al. Measuring cardiac output in children undergoing cardiac catheterization: comparison between the Fick method and PRAM (pressure recording analytical method). *Paediatr Anaesth* 2016; 26:1097-105
- 17 Taniguchi Y, Emoto N, Miyagawa K, et al. Noninvasive and simple assessment of cardiac output and pulmonary vascular resistance with whole-body impedance cardiography is useful for monitoring patients with pulmonary hypertension. *Circ J* 2013; 77:2383-9
- 18 Sing San Y, Bentivoglio L, Maranhao V, et al. Cateterismo cardiaco y parámetros hemodinámicos. 1° edición ed. México, 1976;

- 19 Dellinger RP, Levy MM, Rhodes A, et al. Surviving Sepsis Campaign: international guidelines for management of severe sepsis and septic shock, 2012. *Intensive Care Med* 2013; 39:165-228
- 20 Hernández-Sampieri R, Fernández-Collado C, Baptista-Lucio P. Metodología de la investigación. 6a edición ed, 2014;
- 21 Armon Y, Cooper DM, Flores R, et al. Oxygen uptake dynamics during high-intensity exercise in children and adults. *J Appl Physiol (1985)* 1991; 70:841-8
- 22 Gámez Duque A, Fernández G, Augusto Gutiérrez Á, et al. Cálculo de los contenidos arterial y venoso de oxígeno, de la diferencia arteriovenosa de oxígeno, tasa de extracción tisular de oxígeno y shunt intrapulmonar con unas nuevas fórmulas, basadas en la saturación de oxígeno. *Medicina* 2000; 48:67-76
- 23 Sánchez-Velázquez LD. Comparación de dos fórmulas para calcular el gasto cardiaco contra el método de termodilución. *Rev Asoc Mex Med Crit y Ter Int* 1998; 12:54-60
- 24 Pollock JD, Makaryus AN. Physiology, Cardiovascular, Hemodynamics. StatPearls. Treasure Island (FL), 2017
- 25 Kawasaki T. Update on pediatric sepsis: a review. *J Intensive Care* 2017; 5:47
- 26 Rhodes A, Evans LE, Alhazzani W, et al. Surviving Sepsis Campaign: International Guidelines for Management of Sepsis and Septic Shock: 2016. *Intensive Care Med* 2017; 43:304-77