

RELACIÓN ENTRE LOS DISTINTOS MARCADORES DE HIPOPERFUSIÓN Y DAÑO TISULAR EN CIRCULACIÓN EXTRACORPÓREA

RELATIONSHIP BETWEEN DIFFERENT HYPOPERFUSION AND TISSUE DAMAGE MARKERS IN EXTRACORPOREAL CIRCULATION

Autores

Tania Tineo Drove¹, Laura Varela Barca², Nieves de Antonio Antón², Nuria Oliva Illescas¹, José Enrique Partida Márquez¹, Belén de Opazo Olano¹

¹ Hospital Universitario de La Princesa, Madrid. Enfermería.

² Hospital Universitario de La Princesa, Madrid. Cirugía Cardíaca.

DOI:

Dirección para correspondencia

Tania Tineo Drove
Hospital Universitario La Princesa.
c/ Diego de León 62.
28006 Madrid

Correo electrónico

tania.tineo@salud.madrid.org

RESUMEN

- **Introducción:** La circulación extracorpórea sustituye de manera temporal la función cardiopulmonar, precisando una estrecha monitorización para detectar de manera temprana estados de hipoperfusión. En la actualidad trabajamos con diversos parámetros para poder establecer un correcto diagnóstico y las estrategias de perfusión correspondientes.
- **Objetivo:** Estudiar la relación entre el cociente DO_2/VCO_2 , ácido láctico y gradiente de CO_2 venoarterial en circulación extracorpórea.
- **Material y métodos:** Estudio observacional, analítico y prospectivo. 2º semestre 2025. Se han incluido los pacientes intervenidos en el servicio de Cirugía Cardíaca bajo circulación extracorpórea, con un gasto cardíaco mantenido (*4-6 litros por minuto*), monitorizando variables utilizadas en términos de hipoperfusión en 6 momentos. Se dividió la muestra según el valor de hiperlactatemia ($< 2 \text{ mmol/L}$ en el grupo sin daño tisular) y ($\geq 2 \text{ mmol/L}$), el grupo de daño tisular asociado a la CEC).
- **Resultados:** Se analizaron 100 pacientes. El análisis mostró una correlación lineal positiva y débil entre los niveles de láctico y el gradiente de CO_2 VA ($r = 0,31$); ($p < 0,05$). También se observaron correlaciones estadísticamente significativas con los valores de INVOS ($p = 0,03$) y la presencia de hipotensión ($p = 0,006$).

El grupo con hiperlactatemia mostró una correlación significativa con valores menores de INVOS y de diuresis media, así como con tiempos de CEC e isquemia más prolongados. No se observó una correlación estadísticamente significativa con un menor gradiente de CO_2 VA (5,9) frente a (5,1); ($p = 0,06$).



No se detectó correlación entre el gradiente (DO_2/VCO_2) y el láctico ni el gradiente de CO_2 VA. Por el contrario, el gradiente DO_2/VCO_2 sí mostró una correlación significativa con la necesidad de transfusión y con un mayor tiempo de ingreso en UCI.

- **Conclusiones:** Todos los parámetros analizados utilizados para monitorizar la hipoperfusión, son reproducibles y medibles, en ambos grupos están dentro de la normalidad según la evidencia. No se pueden correlacionar con el grupo de hiperlactatemia

Los resultados sugieren que ambos parámetros (gradiente de CO_2 VA y el cociente DO_2/VCO_2), podrían aportar información complementaria en la monitorización de la hipoperfusión durante la CEC.

Palabras clave: *Enfermería, enfermería cardiovascular, cuidados críticos de enfermería, circulación extracorpórea.*

ABSTRACT

- **Introduction:** Cardiopulmonary bypass (CPB) temporarily replaces cardiopulmonary function and requires close monitoring to detect hypoperfusion early. We currently use various parameters to establish an accurate diagnosis and determine the appropriate perfusion strategies.
- **Objective:** To study the relationship between the Oxygen Delivery/Carbon Dioxide Production (DO_2/VCO_2) ratio, lactate, and the venoarterial CO_2 gradient during CPB.
- **Material and methods:** Observational, analytical, and prospective study. Second semester of 2025. The study included patients undergoing cardiac surgery under CPB with maintained cardiac output (4–6 liters per minute), with variables used to assess hypoperfusion monitored at six time points. The sample was divided based on hyperlactatemia values (< 2 mmol/L in the group without tissue damage) and (≥ 2 mmol/L in the group with CPB-associated tissue damage).
- **Results:** A total of 100 patients were analyzed. The analysis revealed a weak positive linear correlation between lactate levels and the veno-arterial (VA) CO_2 gradient ($r = 0.31$; $p < 0.05$). Statistically significant correlations were also observed with brain tissue oxygen saturation (INVOS) values ($p = 0.03$) and hypotension ($p = 0.006$).

The hyperlactatemia group showed significant correlations with lower INVOS values and mean urine output, as well as with longer CPB and ischemia times. No statistically significant correlation was observed with a lower VA CO_2 gradient (5.9) versus (5.1; $p = 0.06$).

No correlation was detected between the DO_2/VCO_2 gradient and lactate levels or the VA CO_2 gradient. In contrast, the DO_2/VCO_2 gradient did show a significant correlation with the need for transfusion and a longer ICU stay.

- **Conclusions:** All the parameters analyzed and used to monitor hypoperfusion are reproducible and measurable; in both groups, they fall within the normal range according to the evidence. They cannot be correlated with the hyperlactatemia group

It is worth highlighting the VA CO_2 gradient and the DO_2/VCO_2 ratio as fundamental parameters for monitoring during cardiac bypass, as they provide relevant information for predicting hypoperfusion.

Keywords: *Nursing, cardiovascular nursing, critical care nursing, extracorporeal circulation.*



Introducción

La Circulación Extracorpórea (CEC) permite llevar a cabo todos aquellos procedimientos de Cirugía Cardíaca que precisan parar el corazón y dejarlo exangüe. Sustituye de manera temporal las funciones del pulmón y corazón, mediante la inserción de unas cánulas de drenaje y de retorno, y su conexión a un circuito extracorpóreo, permitiendo de este modo que la sangre se oxigene y sea perfundida a todo el organismo.

Así mismo, en la mayoría de los casos, es preciso llevar a cabo una isquemia miocárdica, por lo que resulta fundamental una adecuada protección del músculo cardíaco basada en la cardioplejia (solución rica en potasio que permite una parada en diástole) y la hipotermia.

En los pacientes críticos en general, es necesaria una adecuada monitorización sistémica, para garantizar la correcta oxigenación de los órganos y tejidos y evitar la hipoperfusión tisular. Durante la CEC, esta monitorización, adquiere especial relevancia, porque una hipoperfusión tisular mantenida conlleva una disminución del flujo sanguíneo a los diferentes órganos, lo que implica una incapacidad para satisfacer las demandas metabólicas, produciendo un desbalance y la aparición del metabolismo anaeróbico.

En este contexto, se entiende por shock, el estado de hipoperfusión, en el que se observa un aumento de ácido láctico y/o una disminución de la saturación venosa de oxígeno (SvO_2).

Como se indicaba anteriormente, una adecuada monitorización durante la CEC, es esencial, ya que disminuye este estado de hipoperfusión y, consecuentemente el daño tisular¹. En base a esto, se han descrito nuevos indicadores para definir estos estados y poder actuar de manera temprana^{2,3}.

Son varios los parámetros usados con este fin, no existiendo un “gold estándar”; Tradicionalmente, se utilizaba la saturación venosa, el ácido láctico (parámetros que no son 100% fiables si son utilizados de manera independiente) y el gradiente de dióxido de carbono venoarterial ($\text{CO}_2 \text{ VA}$)⁴ (muy utilizado en el contexto del paciente crítico y cuyo uso se está extrapolando al paciente sometido a cir-

culación extracorpórea). Además, hoy en día se trabaja con indicadores de perfusión dirigida por objetivos^{5,6}.

Se trata de una estrategia que permite una monitorización adecuada para evitar el daño orgánico, basándose en la medición continua del dióxido de carbono eliminado en sangre (VCO_2), así como el aporte de oxígeno (DO_2), y la ratio entre el aporte de O_2 y el consumo de CO_2 (DO_2/VCO_2)⁷.

Estas mediciones son posibles gracias al uso de un capnógrafo a la salida del oxigenador⁸. Este dispositivo es capaz de realizar una monitorización en tiempo real de la ventilación pulmonar y el intercambio gaseoso, por lo que nos informa del estado respiratorio y metabólico del paciente⁹.

El valor de VCO_2 medido por el capnógrafo a la salida de la membrana del oxigenador debe estar en un rango determinado, y en caso de superar unos niveles establecidos, indicaría un exceso en la producción del mismo, bien porque la membrana del oxigenador no está realizando un correcto filtrado, o bien porque los niveles de CO_2 en sangre del paciente son elevados.

Una monitorización avanzada que permita correlacionar los parámetros tradicionales y los nuevos sistemas de monitorización descritos, permite poder predecir y tomar las decisiones correspondientes de manera temprana, para trabajar en un equilibrio metabólico adecuado que garantice la perfusión tisular y permita prevenir episodios de hipoperfusión silente, que aumenten la morbimortalidad asociada en estos pacientes.

Por ello y en base a todo lo descrito anteriormente, planteamos el siguiente objetivo principal de nuestro trabajo: *Estudiar la relación existente entre DO_2/VCO_2 y ácido láctico/gradiente de $\text{CO}_2 \text{ VA}$ en CEC* y el siguiente objetivo específico: *Analizar las diferencias existentes entre los distintos parámetros al dividir la muestra en función de la presencia o no de hipoperfusión*.

Material y métodos

- **Tipo de estudio:** Se ha realizado un estudio observacional, analítico y prospectivo.



- ▶ **Temporalidad:** El trabajo de investigación fue llevado a cabo en el 2º semestre del año 2025, entre los meses de junio - a diciembre.
- ▶ **Lugar de estudio:** La recogida y análisis de datos, ha tenido lugar en un hospital de 3º nivel, por parte del Equipo de Perfusión en el Servicio de Cirugía Cardíaca; Trabajando de manera conjunta entre Cirugía Cardíaca, Anestesia y Reanimación, así como con Medicina Intensiva del mismo Centro.
- ▶ **Muestra:** *Mediante un muestreo por conveniencia se han incluido todos los pacientes con un gasto cardíaco en rango: 4-6 litros por minuto, independientemente del tipo de cirugía (Valvular, coronario, cirugía de la aorta o cirugías mixtas de más de un procedimiento), que fueron intervenidos de manera programada en el Servicio.*
- ▶ **Criterios de exclusión:** se han excluido a los pacientes menores de 18 años, con criterios de cirugía urgente, emergente, o con bajo gasto en el momento de la cirugía, para evitar sesgos en los resultados puesto que lo que queremos medir es hipoperfusión por bajo gasto.

Para la CEC se usó el oxigenador Set Inspire ad. 6F Dual, distribuido por Palex Medical. Realizándose el cebado del circuito y la membrana con Plasmalyte 1300 ml y 50 mg de Heparina.

Los flujos de gas y la FiO_2 se ajustaron con la medición de los gases en línea para mantener una presión parcial de oxígeno (PO_2) entre 150-300 mmHg y para una presión parcial de dióxido de carbono (PCO_2) de 35-45 mmHg.

La cardioplegia utilizada fue Del Nido (4:1) 15 ml/kg de peso a una temperatura de entre 3-9°.

Variables de estudio (Tabla 1)

1. Variables principales:

- ▶ Láctico, gradiente de CO_2 VA <6 , aporte de O_2 (DO_2), consumo de O_2 (VO_2), extracción de O_2 (ERO_2), consumo CO_2 (VCO_2),

relación entre aporte y consumo de O_2 (DO_2/VCO_2)

2. Variables secundarias

- ▶ Hemodinámicas: presión de perfusión arterial (PPA), presión arterial media (PAM), índice cardíaco (IC).
- ▶ Tisulares: BIS (monitorización índice bispectral), INVOS (In vivo optical Spectroscopy que mide de la saturación regional de oxígeno), saturación venosa mixta (SvO_2), temperatura, hemoglobina (Hb), flujo de gas (GF), dióxido de carbono (CO_2), fracción inspirada de oxígeno (FiO_2), valores de urea y creatinina pre y post cirugía.

3. Variables demográficas

- ▶ Superficie corporal, sexo, edad, tipo de cirugía, tiempo de CEC y tiempo de isquemia, Recuperador celular de hemáties [Dideco®], necesidad de transfusión, diuresis, hemoconcentrador, necesidad de aminos, dosis de cardioplegia y necesidad de desfibrilación, sangrado en las primeras 24 horas, extubación en las primeras horas y días de ingreso en UCI y en la Unidad de Hospitalización.

4. Variables de riesgo cardiovascular

HTA, hipercolesterolemia, diabetes mellitus, hábito tabáquico.

Metodología de trabajo: Todas las variables han sido recogidas en 6 tiempos desde la inducción anestésica hasta el ingreso del paciente en la UCI (se han considerado los tiempos con más repercusión en términos de hipoperfusión y bajo gasto durante el by pass cardíaco).

- ▶ **Tiempo 1:** pre CEC, antes del by pass cardíaco durante la inducción anestésica (el paciente continúa con ritmo pulsátil)
- ▶ **Tiempo 2:** post cardioplegia, tras la isquemia miocárdica (el flujo es laminar y el corazón está en asistolia)
- ▶ **Tiempo 3:** a los 30 minutos de la cardioplegia (30 minutos después del paro cardíaco)



- ▶ **Tiempo 4:** a los 60 minutos de la cardioplejia, (60 minutos después del paro cardíaco)
- ▶ **Tiempo 5:** al desclampar la aorta (todavía en by pass cardíaco, pero cuando el miocardio recupera su ritmo)
- ▶ **Tiempo 6:** al ingreso en UCI, tras finalizar la cirugía.

Dividiendo la muestra en dos grupos, independientes y heterogéneos en cuanto a práctica clínica y temporalidad, según si el láctico era o no mayor de 2 (criterio en el que

nos hemos basado para determinar la presencia o no de hipoperfusión).

Para la recogida de las variables se ha utilizado el dispositivo Landing de Eurosets^R, que permite una monitorización continua en tiempo real.

Análisis estadístico: El análisis de los datos se estructuró dos fases: análisis descriptivo inicial, y modelado estadístico correlacional y de regresión. El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico STATA V.13.

Tabla 1

Variables de estudio

Variables Principales	Láctico: <2 mmol/L Gradiente de CO ₂ VA <6 Aporte de O ₂ (DO ₂): >292 ml/min/m ₂ Consumo de O ₂ (VO ₂): <1/5 DO ₂ Extracción de O ₂ (ERO ₂): <25 Consumo CO ₂ (VCO ₂): < 60 ml/min/m ₂ Relación entre aporte y consumo de O ₂ (DO ₂ /VCO ₂): >5
Variables Secundarias	Hemodinámicas: ▶ Presión de perfusión arterial (PPA): < 250 mmHg ▶ Presión arterial media (PAM): > 60 mmHg ▶ Índice cardíaco (IC): 2,5 – 4,0 L/min/m₂ Tisulares: ▶ BIS: 40-60 ▶ INVOS: 50-80 ó que la disminución sea <del 20%, metabólicas ▶ Saturación venosa mixta (SvO₂): >70 ▶ Temperatura: 36° ▶ Hemoglobina (Hb): >12 mgrs/dl ▶ Flujo de gas (GF): 1-2 ▶ Dióxido de carbono (CO₂): 35-45 mmHg ▶ Fracción inspirada de oxígeno (FiO₂): >250 ▶ Valores de urea y creatinina pre y post cirugía. Urea: 10-50 mgrs/dl – creatinina: <1,3 mgrs/dl
Variables Demográficas	Superficie corporal Sexo Edad Tipo de cirugía Tiempo de CEC Tiempo de isquemia Recuperador celular de hematíes [Dideco®] Necesidad de transfusión Diuresis Hemoconcentrador Necesidad de aminos Dosis de cardioplejia Necesidad de desfibrilación Sangrado en las primeras 24 horas Extubación en las primeras horas Días de ingreso en UCI y en la Unidad de Hospitalización.
Variables de Riesgo Cardiovascular	HTA: > 140/90 mmHg Hipercolesterolemia: > 200 mmol/L Diabetes mellitus: > o = 126 mg/dL Hábito tabáquico.



1. Análisis descriptivo inicial de variables:

Las variables cuantitativas se resumieron mediante medidas de tendencia central (media o mediana) y de dispersión (desviación estándar o rango intercuartílico). Las variables cualitativas se expresaron en frecuencias absolutas y porcentajes.

2. Análisis de Correlación y Regresión:

Una vez justificadas y seleccionadas las herramientas idóneas en el paso anterior, se ejecutaron los análisis principales:

El análisis de los datos de los 100 pacientes plantea los siguientes resultados respecto a las correlaciones lineales evaluadas:

- ▶ Correlaciones con el lactato y gradiente de CO_2 VA: Se observó una correlación lineal positiva y débil entre los niveles de láctico y el gradiente de CO_2 VA ($r = 0,31$); ($p < 0,05$). Sin embargo, no se detectó correlación lineal estadísticamente significativa entre el gradiente DO_2/VCO_2 y los niveles de láctico, ni tampoco entre dicho gradiente y el gradiente de CO_2 .
- ▶ Correlaciones con parámetros clínicos y de oxigenación: Los niveles de láctico mostraron una correlación lineal significativa con los valores de INVOS ($p = 0,03$) y con la presencia de hipotensión ($p = 0,006$). En el subgrupo de pacientes con hiperlactatemia, se constató una correlación lineal inversa (negativa) significativa con los valores de INVOS y con la diuresis media, así como una correlación lineal directa (positiva) significativa con tiempos de CEC e isquemia más prolongados. En este mismo subgrupo, no se demostró correlación lineal estadísticamente significativa con el gradiente de CO_2 VA (5,9) frente a (5,1); ($p = 0,06$).
- ▶ Correlaciones del gradiente DO_2/VCO_2 : El gradiente DO_2/VCO_2 mostró una correlación lineal directa (positiva) significativa con la necesidad de transfusión sanguínea y con un mayor número de días de ingreso en la UCI.

Consideraciones éticas: Para la realización del estudio fue necesaria la aprobación

del Comité de Ética y de la Comisión de Adecuación de Estudios del propio Hospital, y cada paciente tuvo que firmar el Consentimiento Informado, acogiéndonos a la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales (LOPD) y a la Declaración de Helsinki (Octubre 2024): propuesta de principios éticos para investigación médica en seres humanos.

Resultados

Se analizaron 100 pacientes, con una edad media de 67,8 años ($\pm 10,4$), siendo el 57% hombres frente al 43% de mujeres. Con una SC media de $1,8 \text{ m}^2$ ($\pm 0,2$), de los cuales un 97% presentaban factores de riesgo cardiovascular (HTA, hipercolesterolemia, hábito tabáquico...).

La media de los tiempos de CEC e isquemia fueron de 94,7 min ($\pm 32,9$) y 74,4 min ($\pm 27,8$) respectivamente.

La media de hematíes recuperados durante la cirugía con el Dideco^R (recuperador celular de hematíes) fue de 569,7 ml ($\pm 239,9$) y la media de diuresis durante la CEC fue de 252 ml ($\pm 206,8$). Un 22,7% del total de la muestra, precisó amins durante el procedimiento. (Tabla 2)

La cirugía más frecuente fue la cirugía valvular (45,05%), seguida de la cirugía coronaria (26,37%), cirugía de la aorta (19,78%), tumores cardiacos (3,30%) y otras cirugías poco frecuentes (5,49%).

En cuanto a la evolución de las diferentes variables durante la CEC, el valor más elevado de lactato se obtuvo al desclampar la aorta [$1,52 \text{ mmol/L}$ ($\pm 0,46$)], coincidiendo con el valor más bajo de SvO_2 [$81,79\%$ ($\pm 7,60$)]. Sin embargo, en el caso del gradiente de CO_2 VA el rango más amplio (CO_2 venoso- CO_2 arterial) se obtuvo tras la administración de la primera dosis de la cardioplejia [$5,79$ ($\pm 1,82$)]. En el 100% de los pacientes se utilizó la cardioplejia del Nido para la protección miocárdica, administrándola a una temperatura establecida de entre 2° y 9° . Así mismo, en todos los casos se trabajó en condiciones de normotermia, manteniendo una temperatura de 36° , controlada a nivel esofágico y rectal, como indican los protocolos del Centro. En ningún caso se utilizó CO_2 de



manera exógena para evitar que las mediciones estuvieran falseadas. (Tabla 3)

En todos los momentos el DO_2 fue superior a 280 ml/min/m² y el VCO_2 menor a 60 ml/min/m².

En el análisis de la correlación observamos una correlación estadísticamente significativa entre el lactato y el gradiente de CO_2 VA (Coef. Pearson + 0,31 con un p-valor < 0,05 en la regresión lineal); en el caso del INVOS el p-valor es de 0,03 y en la variable hipotensión el p-valor es de 0,006.

En el análisis por grupos (clasificación si lactato > hiperlactatemia ó < 2 no hiperlactatemia), los estados de hiperlactatemia se asociaron de manera significativa con el INVOS y la diuresis media menor, así como con los tiempos de CEC y de isquemia ($p < 0,05$); asimismo, mostraron una **tendencia a la asociación** con un menor gradiente de CO_2 medio (5,9 en el grupo de no hiperlactatemia frente a 5,1 en el grupo de hipoperfusión), **sin alcanzar la significación estadística** debido a un p valor = 0,06. (Tabla 4).

Tabla 2

Características basales de los pacientes de estudio.

		N=100
Edad (años), media (DS)		67,8 (10,4)
Sexo varón, n (%)		57 (57)
Cirugía urgente, n (%)		2 (2)
Antec CV, n (%)		97 (97)
Superficie corporal, media (DS)		1,8 (0,2)
Factores CEC	Tiempo CEC, media (DS)	94,7 (32,9)
	Tiempo isquemia, media (DS)	74,4 (27,8)
	Recuperador, media (DS)	569,7 (239,9)
	Diuresis, media (DS)	252 (206,8)
	Empleo de aminos, n (%)	20 (22,7)

Definiendo las variables cuantitativas como media (X) y desviación estándar ($\pm$ DS) y las cualitativas en porcentaje (%).

Tabla 3

Evolución del láct., SvO_2 y gradiente de CO_2 VA, A lo largo de los 6 momentos críticos de la cirugía

Stats	Lact1	Lact2	Lact3	Lact4	Lact5	Lact6
Mean	1.261538	1.057143	1.174713	1.211538	1.521978	1.501389
SD	.4152026	.4960159	.4653627	.4873513	.4611103	.5463046

Stats	SatV021	SatV022	SatV023	SatV024
Mean	84.83846	83.76667	83.11154	81.7989
SD	5.032688	4.67001	6.262702	7.609796

Stats	GradC021	GradC022	GradC023	GradC024
Mean	5.791209	5.517241	4.826923	4.967033
SD	1.822797	1.784051	1.757016	2.344974



Tabla 4

Estudio de la correlación en función de los valores de láct.).

	No Hipoperf (46)	Hipoperf (54)	p
SATVO ₂ , media (DS)	83,5 (4,3)	81,4 (7,4)	0,21
GRADCO₂, media (DS)	5,9 (1,5)	5,3 (1,09)	0,06
DO ₂ , media (DS)	322,7 (46,7)	340,8 (42,5)	0,25
VCO ₂ , media (DS)	52,2 (25,7)	48,5 (33,7)	0,66
VO ₂ , media (DS)	63,0 (15,5)	69,4 (16,3)	0,23
DO ₂ /VCO ₂ , media (DS)	8,9 (5,9)	7,0 (3,2)	0,33
ERO ₂ , media (DS)	19,9 (4,9)	20,8 (16,6)	0,67
INVOX, media (DS)	68,6 (7,3)	62,6 (12,0)	0,04
TA, media (DS)	73,8 (1,3)	69,0 (2,5)	0,10
HB, media (DS)	10,6 (1,22)	11,2 (1,7)	0,17
Diuresis, media (DS)	314,6 (251,4)	196,7 (126,7)	0,003
Sangrado, media (DS)	388,8 (188,3)	180,7 (206,9)	0,84
Creatinina, media (DS)	0,95 (0,22)	0,91 (0,25)	0,42

Definiendo las variables cuantitativas como media (X) y desviación estándar ($\pm$ DS) y p-valor.

No obtuvimos correlación entre el gradiente VCO₂/DO₂ y el lactato ni el gradiente de CO₂, sin embargo, sí se relacionó con la ne-

cesidad de transfusión y el tiempo de ingreso en UCI. (Tabla 5)

Tabla 5

Relación con las necesidades transfusionales)

	No Hipoperf (46)	Hipoperf (54)	p
Sexo varón, n (%)	28 (60,9)	29 (53,7)	0,52
Cirugía urgente, n (%)	0 (0)	2 (3,7)	0,45
Anteced CV, n (%)	46 (100)	51 (94,4)	0,11
Transfusión, n (%)	9 (32,1)	19 (67,9)	0,08
Aminas, n (%)	9 (19,6)	11 (20,4)	0,92
Mortlidad, n (%)	2 (4,6)	1 (1,9)	0,47
Co ₂ , n (%)	2 (4,7)	1 (1,9)	0,46

Definiendo las variables cualitativas en porcentaje (%) con su correspondiente p-valor al correlacionarlas.

Discusión

Los resultados de este trabajo reflejan la necesidad de una evolución desde la monitorización tradicional hacia un modelo de perfusión guiada por objetivos (PDG). Al analizar las correlaciones entre las variables metabólicas, nuestros hallazgos coinciden con lo descrito por Ranucci y Philip de Somer^{12,13}, quienes demostraron que optimizar el DO₂ reduce de forma significativa los estados de hipoperfusión silente.

Tradicionalmente, la valoración de la perfusión durante la CEC ha dependido de marcadores tardíos como el lactato y la SVO₂¹¹. Sin embargo, nuestros datos confirman que estas mediciones aisladas son insuficientes para detectar de manera precoz la deuda de oxígeno, manifestándose solo cuando el daño celular ya está establecido.

En cuanto al gradiente de CO₂ VA, los resultados de nuestro estudio contrastan parcialmente con los hallazgos de Denault¹², quien en 2001 validó este gradiente como un

predictor eficaz de hipoperfusión. No obstante, se alinea con la evidencia más reciente señalada por otros autores⁵, que cuestiona su utilidad clínica aislada de manera continua durante la CEC.

La principal ventaja competitiva de nuestro estudio radica en la evaluación de la monitorización exhaustiva en tiempo real. Los sistemas industriales actuales permiten a los enfermeros perfusionistas corregir de forma inmediata las desviaciones metabólicas analizadas en el estudio. Esta capacidad de respuesta inmediata permite actuar frente a la respuesta inflamatoria sistémica y los efectos deletéreos secundarios, superando las limitaciones temporales de la monitorización intermitente descrita en la literatura previa¹⁰.

Los resultados obtenidos sitúan a esta cohorte en un escenario estándar de respuesta inflamatoria sistémica y riesgo de disfunción orgánica descritos clásicamente en la literatura¹⁰.

Tras haber estudiado las correlaciones entre las distintas variables podemos clasificar y organizar los resultados de la siguiente manera:

Evolución del lactato y la SVO₂:

El sesgo de la monitorización tradicional:

Nuestros resultados evidencian que el valor más elevado de lactato se obtuvo de manera tardía, específicamente al desclampar la aorta coincidiendo cronológicamente con el valor más bajo de SVO₂. Este hallazgo clínico concuerda de forma estricta con los hallazgos de autores previos¹¹, quienes señalan que la dependencia exclusiva de estas dos variables ofrece una ventana diagnóstica retrasada. Dado que el lactato plasmático requiere un tiempo de aclaramiento metabólico, su elevación tras el despinzamiento del miocardio refleja una deuda de oxígeno acumulada previamente y no un evento agudo inmediato, validando la hipótesis de que la optimización debe guiarse por parámetros predictivos en tiempo real y no reactivos.

El gradiente de CO₂ VA y la cardioplejía del Nido

Un hallazgo crítico de este estudio fue el comportamiento del gradiente de CO₂ VA,

cuyo rango más amplio se registró inmediatamente tras la administración de la primera dosis de cardioplejía del Nido. Al haber trabajado bajo estrictas condiciones de normotermia (36°C) y sin adición exógena de CO₂ para evitar falsos positivos, este ensanchamiento del gradiente refleja una situación de estasis circulatorio tisular transitorio durante el paro cardíaco.

Al analizar la muestra global, encontramos una correlación lineal positiva estadísticamente significativa entre el lactato y el gradiente de CO₂ VA. Nuestros resultados son consistentes con la hipótesis planteada por Denault¹², quien postuló este gradiente como un predictor válido de hipoperfusión. Sin embargo, al estratificar a los pacientes por grupos (hiperlactatemia vs. no hiperlactatemia), el grupo con hipoperfusión mostró un gradiente medio menor. Aunque no alcanzó la significación estadística convencional, esta paradoja clínica y la tendencia a la inversión del gradiente en estados críticos se alinean con la literatura más reciente⁵, la cual matiza que la utilidad del gradiente de CO₂ VA es menor durante fases de disoxia celular extrema o alteraciones severas de la microcirculación durante la CEC.

PDG e INVOS:

El cumplimiento estricto de las metas hemodinámicas de la perfusión guiada por objetivos descrita por Ranucci y De Somer¹² se constató en nuestro estudio, manteniendo en todo momento un DO₂ > 280 ml/min/m² y un VCO₂ < 60 ml/min/m². A pesar de asegurar estos mínimos teóricos, la aparición de estados de hiperlactatemia se asoció de forma estadísticamente significativa con la presencia de hipotensión, una diuresis media menor y mayores tiempos de isquemia y CEC.

Esta discordancia demuestra que mantener un DO₂ global indexado «óptimo» en la bomba no garantiza por sí solo una perfusión orgánica adecuada si coexisten periodos de hipotensión o tiempos quirúrgicos prolongados. Es aquí donde la monitorización complementaria adquiere valor: la oximetría cerebral por espectroscopia de infrarrojo cercano (INVOS) demostró una correlación significativa tanto en el análisis general como en su aso-



ciación con la hiperlactatemia. Esto sitúa al INVOS como una herramienta de monitorización exhaustiva en tiempo real capaz de detectar la hipoperfusión regional (especialmente la vulnerabilidad neurovascular) antes de que se instaure una acidosis láctica sistémica¹⁰.

El Cociente VCO_2/DO_2 : Implicaciones pronósticas más allá del tejido

Finalmente, la ausencia de correlación estadística entre el gradiente matemático VCO_2/DO_2 y el lactato o el gradiente de CO_2 VA concuerda con las corrientes científicas que defienden que este índice metabólico global no siempre es un reflejo fiel de la microcirculación local durante la CEC en normotermia. No obstante, su relevancia clínica queda demostrada al haberse relacionado de forma directa con un aumento en la necesidad de transfusión sanguínea y un mayor tiempo de estancia en UCI. Este impacto en los resultados postoperatorios refuerza la utilidad de monitorizar el cociente VCO_2/DO_2 como marcador pronóstico de la morbilidad postoperatoria del paciente crítico.

Conclusiones

Existe una relación estadísticamente significativa entre los niveles de lactato durante la CEC y el gradiente de CO_2 VA y la saturación regional de oxígeno cerebral medida por INVOS. En esta misma línea, los estados de hiperlactatemia clínica se asocian significativamente con peores indicadores de perfusión tisular, manifestados por un menor volumen de diuresis, un descenso en los valores de INVOS y tiempos prolongados de isquemia miocárdica y de CEC. Por el contrario, la reducción del gradiente de CO_2 medio en pacientes con hipoperfusión frente al grupo sin hiperlactatemia carece de significación estadística, constituyendo únicamente una tendencia marginal que requiere cohortes de mayor tamaño para poder ser confirmada. Finalmente, aunque el gradiente combinado de VCO_2/DO_2 no se correlaciona estadísticamente con los niveles aislados de lactato ni con el gradiente de CO_2 , su relevancia clíni-

ca se evidencia al asociarse directamente con mayores necesidades de transfusión y con estancias en UCI prolongadas.

Limitaciones del Estudio

A pesar de la relevancia clínica de los hallazgos obtenidos, este estudio presenta una serie de limitaciones metodológicas que deben tenerse en cuenta al interpretar los resultados:

- **Tamaño muestral y potencia estadística:** El tamaño de la cohorte analizada limita la potencia estadística para detectar diferencias significativas en ciertas variables. Esto se evidencia de forma clara en el gradiente de CO_2 , donde el resultado no alcanzó el umbral de significación estándar. Es muy probable que este hallazgo represente un error de tipo II (no detectar una diferencia que realmente existe) debido al número de pacientes, por lo que debe interpretarse estrictamente como una tendencia marginal como se comentó anteriormente.
- **Diseño unicéntrico:** Al haberse realizado en un único centro, las prácticas quirúrgicas, los protocolos de manejo de la CEC y los criterios de transfusión de hemoderivados responden a protocolos específicos. Esto podría limitar la validez externa y la generalización de los resultados a otros centros con diferentes metodologías de trabajo.
- **Naturaleza observacional del estudio:** El diseño del estudio impide establecer relaciones de causalidad directa entre las variables. Aunque se confirman correlaciones matemáticas sólidas, no es posible determinar si la hiperlactatemia es la causa directa o no de la hipoperfusión tisular.
- **Variabilidad interindividual de la muestra:** El perfil heterogéneo de los pacientes sometidos a CCA introduce variables de confusión que podrían influir en marcadores tan sensibles como la diuresis intraoperatoria o los niveles de lactato.
- **Ausencia de un registro continuo e indexado de DO_2 :** Aunque la literatura des-



taca que valores de DO_2 inferiores a 300 ml/min/m^2 en normotermia son predictores críticos de IRA, la falta de una monitorización continua completamente automatizada e indexada minuto a minuto en la base de datos limitó la capacidad de cruzar de forma exacta el tiempo acumulado bajo este umbral con el gradiente combinado de VCO_2/DO_2 .

periodo postoperatorio inmediato en la UCI, analizando el impacto de las Terapias Guiadas por Objetivos (GDPT) en la supervivencia a los 6 y 12 meses, la progresión de la enfermedad renal crónica residual y la calidad de vida percibida.

► Conflicto de intereses

Los autores no poseen conflicto de intereses.

Futuras líneas de investigación

Para dar continuidad a los hallazgos de este trabajo y superar las limitaciones metodológicas identificadas, se proponen las siguientes líneas de investigación:

- **Estudios multicéntricos con mayor potencia estadística:** Desarrollar ensayos clínicos prospectivos y cooperativos entre múltiples centros para ampliar de forma significativa el tamaño de la cohorte.
- **Algoritmos de alerta en tiempo real basados en el DO_2 :** Diseñar e implementar sistemas de soporte a la decisión clínica integrados en las máquinas de perfusión.
- **Validación prospectiva del gradiente combinado VCO_2/DO_2 :** Investigar en profundidad el papel del gradiente combinado como predictor independiente de morbilidad. Al haberse asociado de forma directa con la estancia en UCI y el requerimiento de transfusiones, se requiere diseñar protocolos específicos que analicen su capacidad predictiva frente a escalas de riesgo tradicionales (como el EuroSCORE II).
- **Análisis estratificado por tipo de cirugía y comorbilidades:** Evaluar el comportamiento de los biomarcadores metabólicos de forma diferenciada según la complejidad quirúrgica y según el perfil basal de riesgo renal del paciente, minimizando así las variables de confusión.
- **Evaluación del impacto de la GDPT en resultados a largo plazo:** Extender el seguimiento de los pacientes más allá del

Bibliografía

1. DE SOMER F, MULHOLLAND JW, BRYAN MR, ALOISIO T, VAN NOOTEN GJ, RANUCCI M. *O₂ delivery and CO₂ production during cardiopulmonary bypass as determinants of acute kidney injury: time for a goal-directed perfusion management?* Crit Care. 2011;15(4): R192. doi: [10.1186/cc10349](https://doi.org/10.1186/cc10349).
2. MESQUIDA J, BORRAT X, LORENTE JA, MASIP J, BAIGORRI F. *Objetivos de la reanimación hemodinámica*. Med Intensiva. 2011;35(8):499-508.
3. TINEO DROVE T, OLIVA ILLESCAS N, UTANDA HERVÁS J, DE ANTONIO ANTÓN N. *Gradiente de CO₂ venoarterial como herramienta en la monitorización de la hipoperfusión tisular en circulación extracorpórea*. Rev Esp Perfusión [Internet]. 2021;(71):5-10.
4. INZUNZA CERVANTES G, ESPINOZA ESCOBAR G, ZAZUETA ARMENTA V, ORNELAS AGUIRRE JM, CORTES GARCÍA VA, VELARDE PÉREZ D. *Monitorización hemodinámica integrada: clínica, gasométrica y ecocardiográfica*. Rev Urug Cardiol [Internet]. 2023;38(1): e403. Disponible en doi: [10.29277/cardio.38.1.4](https://doi.org/10.29277/cardio.38.1.4)
5. SANTOS JIMÉNEZ JC, JAIME BORREGO JM, GONZÁLEZ NAVARRO JM. *Perfusión dirigida a objetivos: Revisión bibliográfica*. Rev Esp Perfusión. 2019;(66):5-11.
6. MARTÍN CALABUIG A, ALBENDEA PERELLÓ C, ALEMÁN VÁSQUEZ JF, GÓMEZ SIMÓN V, CIURO CEREZO L. *Perfusión óptima: Revisión basada en la evidencia científica reciente*. Rev Esp Perfusión. 2019;(67):13-27.
7. PUIS L, MILOJEVIC M, BOER C, DE SOMER FMJJ, GUDBJARTSSON T, VAN DEN GOOR J, ET AL. *2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery*. Interact Cardiovasc Thorac Surg. 2020;30(2):161-202.
8. CONDELLO I, SANTARPINO G, NASSO G, MOSCARELLI M, FIORE F, SPEZIALE G. *Associations between oxygen delivery and cardiac index with hyperlactatemia during cardiopulmonary bypass*. JTCVS Tech. 2020; 2:92-99. doi: [10.1016/j.jtc.2020.04.001](https://doi.org/10.1016/j.jtc.2020.04.001).
9. EUROSETS. *Landing Advance CPB* [Internet]. Medolla (MO): Eurosets S.r.l.; c2024 [citado 3 jun 2026]. Disponible en: <https://www.eurosets.com/en/product/landing/>



10. GARCÍA CAMACHO C, ARTEAGA SANTIAGO J, CABALLERO GÁLVEZ S, GUILLÉN ROMERO G Y SÁINZ AM. *Control de la perfusión tisular en circulación extracorpórea*. En bomba (publicado por ALAP); 2018 (2) n° 1: 5-8. ISSN 2575-2650.
11. DENAULT A, BELISLE S, BABIN D, HARDY JF. *Difficult separation from cardiopulmonary bypass and PCO₂*. *Can J Anesth*. 2001;48(2):169-199.
12. GATICA A, MUÑOZ-VALDIVIA C, VAN SINT JAN N, RAMOS S. *Perfusión dirigida por objetivos: práctica actual en técnicas de oxigenación extracorpórea*. *Rev Med Clin Condes*. 2024;35(1):8-
13. RANUCCI M, CARBONI G, COTZA M, DE SOMER F. *Carbon dioxide production during cardiopulmonary bypass: pathophysiology, measure and clinical relevance*. *Perfusion*. 2017;32(1):4-12. doi: [10.1177/0267659116659919](https://doi.org/10.1177/0267659116659919).