

Métodos de estimación del gasto cardíaco: clasificación y avances en perros

Cardiac output estimation methods: classification and advances in dogs

Zapata, M.D.^{1*}; Nistal, A.J.¹; Meder, A.R.²

¹ Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.

² Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina.

* Correspondencia: Zapata Matías. Ovidio Lagos y Ruta 33. CP: 2170. Casilda, Santa Fe, Argentina | matiaszapata@fcv.unr.edu.ar

Recibido 10/02/2025 – Aceptado 06/06/2025

Resumen: El desarrollo de la medicina moderna desde el siglo XVII estableció un precedente en el conocimiento de la fisiología cardiovascular, destacando la obra de William Harvey sobre la circulación sanguínea. A partir de sus descubrimientos, el corazón pasó a entenderse como una bomba funcional, lo que permitió avances significativos en la investigación cardiovascular. Durante los siglos posteriores, diversos métodos se han desarrollado para la determinación del gasto cardíaco, clasificándose según su grado de invasión: invasivos, mínimamente invasivos y no invasivos. En medicina veterinaria, se han aplicado estas técnicas en perros, utilizando diversas razas y métodos para evaluar la precisión y confiabilidad de las mediciones. Los resultados reportados son variables, informando valores de gasto cardíaco que oscilan entre 0,5 y 12,8 L/min, e índice cardíaco entre 3,1 y 4,3 L/min/m².

Palabras clave: gasto cardíaco, índice cardíaco, perros.

Summary: The development of modern medicine since the 17th century set a precedent in the understanding of cardiovascular physiology, with William Harvey's work on blood circulation standing out. From his discoveries, the heart came to be understood as a functional pump, which allowed significant advances in cardiovascular research. During the following centuries, various methods have been developed for determining cardiac output, classified according to their degree of invasion: invasive, minimally invasive and noninvasive. In veterinary medicine, these techniques have been applied to dogs, using various breeds and methods to assess the accuracy and reliability of the measurements. The reported results are variable, reporting cardiac output values ranging from 0.5 to 12.8 L/min, and cardiac index between 3.1 and 4.3 L/min/m².

Keywords: cardiac output, cardiac index, dogs.

La medicina moderna surgió durante la época post-renacentista y alcanzó un importante desarrollo a mediados del siglo XVII, impulsada por el trabajo de destacados físicos, fisiólogos y biólogos. En este contexto, el médico inglés William Harvey marcó un hito en la fisiología cardiovascular al publicar en 1628 su obra *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*. En este trabajo, además de varios puntos clave, calculó el volumen de sangre bombeado por unidad de tiempo, pero sin utilizar el término con el que hoy se identifica: gasto cardíaco (Buzzi, 2016).

Luego de las publicaciones de Harvey, el corazón dejó de ser considerado como la “morada del alma”, creándose un nuevo paradigma que lo ubicaba como una bomba funcional dentro del sistema cardiovascular.

En este contexto, la fisiología cardiovascular continuó evolucionando con avances importantes en la comprensión de los mecanismos del corazón (Escaned Barbosa, 2009).

Richard Lower y Stephen Hales, realizaron contribuciones al entendimiento de la función del corazón como bomba. Posteriormente, Carl Ludwig y sus discípulos avanzaron en la cuantificación de los parámetros funcionales del corazón. Otto Frank, desarrolló un concepto de bomba aplicable a un órgano constituido por músculo. Ernest Starling, permitió relacionar la capacidad contráctil del corazón con el llenado de las cámaras cardíacas, estableciendo así la base para lo que conocemos hoy como la Ley de Frank-Starling (Escaned Barbosa, 2009).

Estas investigaciones sentaron las bases para comprender el corazón no solo como una estructura anatómica, sino como una bomba con propiedades dinámicas y cuantificables. En este contexto, uno de los parámetros fundamentales que refleja la función del corazón como bomba es el gasto cardíaco, el cual varía considerablemente según el nivel de actividad del organismo y está influenciado por factores como el sexo, la edad, la actividad física y el tamaño corporal. Para facilitar comparaciones entre individuos con diferentes biomasa, especialmente en animales, se recurre a índices normalizados. El más utilizado es el índice cardíaco, que ajusta el gasto cardíaco en función de la superficie corporal, comúnmente expresada en metros cuadrados (m^2), según la fórmula: $IC = GC / SC$ (Hall et al., 2011; Riedesel, 2004).

Métodos de estimación del gasto cardíaco

La determinación del gasto cardíaco ha sido un tema crucial en medicina a lo largo de la historia. Uno de los primeros en abordar de manera sistemática la determinación del gasto cardíaco fue Fick, en 1887, basándose en: (1) el contenido arterial de oxígeno, (2) el contenido de oxígeno en la sangre venosa y (3) el consumo de oxígeno. Para determinar el gasto cardíaco, siguiendo este principio, el consumo de oxígeno (Co) = gasto cardíaco (GC) * diferencia arteriovenosa de oxígeno (DAO) (Charlo Molina, 2000 y García, *et al.*, 2011).

Durante varias décadas, han surgido numerosas técnicas para la estimación de este parámetro. Según el grado de invasión, los métodos se clasifican en: (1) invasivos, (2) mínimamente invasivos y (3) no invasivos (Barril, 2004; García *et al.*, 2011).

1. Métodos invasivos

Los métodos habituales para la determinación del gasto cardíaco se basan en el estudio de la hemodilución de una sustancia que entra fisiológicamente o de manera artificial en el organismo. Para determinar el gasto cardíaco, siguiendo este principio, hay que asegurarse de que la muestra de sangre que se toma antes de la introducción de la sustancia sea representativa de todo el gasto cardíaco y que también lo sea la muestra extraída, para poder valorar la dilución luego de que la sustancia se haya distribuido de manera completa y homogénea en todo el cuerpo (Charlo Molina, 2000).

Stewart en 1897, desarrolló un método donde se valora la dilución de un colorante tras la inyección de una cantidad conocida del mismo. Para su determinación, se registra una curva de concentración para calcular el gasto cardíaco, se utiliza una fórmula que es $Q = I / (c * t)$, donde Q es el flujo o gasto cardíaco, I es la cantidad del indicador inyectado, c es la concentración media del indicador durante el primer pasaje y t es la duración total de la curva (Charlo Molina, 2000).

Otra alternativa, es la curva de termodilución, que consiste en la colocación de un catéter de Swan-Ganz® en la arteria pulmonar, introducido en 1970. La técnica se basa en el mismo principio de dilución de colorante, con la diferencia de que con ésta lo que se valora es la dilución térmica tras la inyección de un bolo de suero frío. El cálculo del gasto cardíaco a partir de la curva de termodilución se efectúa de manera similar al de las curvas de dilución de colorantes (Charlo Molina, 2000; González Torrijos, 2006).

El sistema NICO® fundamenta la medición del gasto cardíaco en los cambios en la relación existente entre la eliminación del dióxido de carbono, tras un período breve de reinhalación. Para la determinación y medición, la técnica requiere intubación endotraqueal y ventilación mecánica, incluye una válvula, un bucle de reinhalación, un sensor de flujo de gas, un sensor de rayos infrarrojos para la concentración de dióxido de carbono, un pulsioxímetro y un computador que controla el funcionamiento de la válvula de reinhalación (González Torrijos, 2006).

Otro método invasivo, se basa en la curva radiocardiográfica obtenida mediante conteos externos sobre el área precordial, luego de la administración por vía endovenosa de un radiotrazador (compuesto químico que posee isótopos radioactivos). Las variaciones de radioactividad, sobre el área precordial, se registran mediante un detector de centelleo y un colimador. Los pulsos que se obtienen a la salida del tubo fotomultiplicador pasan a través de un canalizador de altura de pulsos, que selecciona solamente las relaciones correspondientes a la energía de emisión del radioisotopo (Fránquiz *et al.*, 1975).

2. Métodos mínimamente invasivos

La termodilución transpulmonar, también denominada sistema PiCCO[®], es una variante del principio de termodilución. Requiere de un catéter venoso central, el cual se conecta externamente a un sensor capaz de medir la temperatura de la solución inyectada y un catéter en la arteria femoral o axilar que posee un sensor de temperatura en su extremo distal. La inyección venosa central de suero frío produce cambios de temperatura en la sangre, que son medidas por el sensor arterial, con lo que se obtiene el gasto cardíaco mediante una ecuación modificada de Stewart - Hamilton (González Torrijos, 2006; García *et al.*, 2011).

La técnica de dilución de litio, presentada por Linton en 1993, es un procedimiento que involucra una inyección de cloruro de litio en una vena, lo que resulta en la creación de una concentración plasmática controlada de este marcador. Esta concentración se mide mediante un sensor selectivo colocado en una línea arterial, la curva de dilución resultante proporciona información hemodinámica. La elección del litio como indicador se fundamenta en su ausencia en el torrente sanguíneo en condiciones normales, lo que permite generar una señal significativa con una inyección mínima (García *et al.*, 2011).

Otro método, es el análisis de la curva de presión arterial, también denominado el sistema Vigileo[®]. Dado que la presión de pulso es proporcional al volumen de eyección y a la elasticidad aórtica, el sistema correlaciona las variaciones de la presión arterial con cambios en el volumen de sangre. El origen de este método se remonta al modelo clásico Windkessel, descrito por Otto Frank en 1899, por el cual el volumen sistólico puede ser estimado por: (1) la porción sistólica de la onda de pulso o (2) la diferencia entre presión sistólica y diastólica o también denominada presión de pulso (González Torrijos, 2006; García *et al.*, 2011).

3. Métodos no invasivos

Dentro de los métodos no invasivos se encuentra la bioimpedancia - biorreactancia eléctrica torácica, mencionada inicialmente por Nyvoer en 1959. La técnica consiste en la colocación de cuatro electrodos a nivel torácico y un set de cables, se aplica una corriente eléctrica de alta frecuencia y baja amplitud, registrándose los cambios en la impedancia eléctrica torácica en función del tiempo. Si bien no mide directamente el gasto cardíaco, lo extrapola a través de la velocidad global de conducción de un estímulo eléctrico, mediante la integración de múltiples señales generadas por el flujo pulsátil de la aorta y la resistencia a la aplicación de la corriente eléctrica (García *et al.*, 2011).

Otro método no invasivo es por ecocardiografía. Dicho procedimiento, utiliza la medición del gasto cardíaco por: (1) métodos volumétricos y/o (2) ecografía Doppler (García *et al.*, 2011).

El método volumétrico comprende una modalidad geométrica (método de Teicholz) y una modalidad planimétrica, basadas en las fórmulas de Simpson y Simpson modificada. A través de estos enfoques, se procede a la determinación de los volúmenes telesistólico [(VTS) volumen de sangre que se encuentra en el ventrículo al final de la sístole] y telediastólico [(VTD) volumen de sangre que se localiza en el ventrículo al final de la diástole]. A partir de estos datos, los equipos calculan el volumen sistólico (VS), cuya fórmula se expresa como $VS = VTD - VTS$. Posteriormente, este valor se multiplica por la frecuencia cardíaca para obtener el gasto cardíaco (Boon, 2012).

La medición del gasto cardíaco mediante el uso de dispositivos basado en la tecnología Doppler, ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, debido a su menor invasividad respecto a otros métodos. Dicha medición, se realiza en el tracto de salida del ventrículo izquierdo, vinculando dos variables: (1) el diámetro del anillo aórtico, para calcular el área y (2) la integral velocidad-tiempo. Estos datos nos permiten estimar el volumen sistólico, el cual, posteriormente, se multiplica por la frecuencia cardíaca para obtener el gasto cardíaco. Estos procedimientos se pueden realizar tanto por vía transtorácica como transesofágica (García *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2019).

Además, se ha desarrollado una escala matemática para estimar el gasto cardíaco en animales de diferentes pesos. Al igual que otras variables biológicas, el gasto cardíaco no muestra una relación lineal con el peso, sino una relación logarítmica. En especies como perros, caballos, vacas y humanos, se ha observado que el gasto cardíaco guarda una relación directamente proporcional con el peso corporal elevado a una potencia que oscila entre 0,78 y 0,81. Esta relación se expresa de la siguiente manera: $GC (l/min) = 0,187 \times \text{Peso Corporal (kg)}^{0,81}$ (Riedesel, 2004).

Determinación del gasto cardíaco en perros

Cox *et al.* (1976), emplearon una muestra compuesta por 46 perros adultos jóvenes, los que se discriminaron en dos grupos: mestizos, con un tamaño muestral de $n=26$, y Greyhounds, con $n=20$. Se obtuvieron los valores de índice cardíaco ($l/min/m^2$) expresados en medias aritméticas y errores estándar: para el grupo de mestizos, se registró un valor de $3,1 \pm 0,2$, mientras que para el grupo de Greyhounds, se obtuvo un valor de $4,3 \pm 0,2$. Estos resultados revelaron diferencias significativas entre ambos grupos. Mathias *et al.* (1998), evaluaron valores hemodinámicos durante el taponamiento cardíaco, se examinaron 5 perros mestizos, con un peso comprendido entre 25,6 kg y 28,7 kg, donde registraron un gasto cardíaco (l/min) de $3,0 \pm 0,9$. Por otra parte, Rabanal Llevot *et al.* (1998), estudiaron 18 perros con un peso medio de 19,7 kg (rango de 15 kg – 30 kg), con un gasto cardíaco de $3,81 \pm 1,4 l/min$.

O'Malley *et al.* (2000), desarrollaron un proyecto cuyo propósito fue comparar dos métodos de determinación del gasto cardíaco, termodilución en bolo y de gasto cardíaco continuo, en 30 perros con insuficiencia cardíaca, obteniéndose valores de gasto cardíaco bajos de 0,50 a 4,67 l/min y de 1,00 a 5,40 l/min , respectivamente. Mason *et al.* (2001), determinaron la concordancia del gasto cardíaco mediante el uso de dilución de litio y termodilución y, además, evaluaron el efecto de las concentraciones séricas de litio, sobre la precisión a la hora de determinar el gasto cardíaco. Se analizaron un total de 10 perros (7 machos y 3 hembras), con un peso medio de 36,2 kg (30,5 kg y 45,4 kg). El gasto cardíaco varió entre 1,10 a 12,80 l/min . Sostres-Vega *et al.* (2002), reportaron parámetros hemodinámicos obtenidos en 50 perros mestizos, adultos, clínicamente sanos. El gasto cardíaco (l/min) fue de $2,32 \pm 0,88$. Neath *et al.* (2004), evaluaron el efecto hemodinámico de la oxitocina intratecal en 6 perros adultos sanos, con peso comprendido entre 7,3 kg y 14,5 kg, el gasto cardíaco (l/min) fue de $1,9 \pm 0,7$.

Haskins *et al.* (2005), recopilaron mediciones cardiopulmonares de 97 perros adultos jóvenes o de mediana edad, clínicamente sanos, y determinaron el gasto cardíaco mediante termodilución. El índice cardíaco ($l/min/m^2$) fue de $4,42 \pm 1,24$. Peng *et al.* (2005), analizaron 8 perros anestesiados, con un peso comprendido entre 15 kg y 22 kg, encontrando un gasto cardíaco (l/min) de $1,5 \pm 0,6$. Cooper y Muir (2007), compararon el gasto cardíaco mediante el método de análisis de la forma de onda de la presión arterial y la técnica de dilución de litio, utilizando 12 perros mestizos adultos, con un gasto cardíaco (l/min) de $2,93 \pm 0,45$.

Ferro Lopes *et al.* (2010), compararon el gasto cardíaco, en 8 perros con un peso de $8,3 kg \pm 2,0 kg$, mediante el método de termodilución, ecocardiografía doppler del flujo aórtico y evaluación doppler del flujo pulmonar. Los resultados del gasto cardíaco (l/min), fueron para el método de termodilución $1,7 \pm 0,4$, para evaluación doppler del flujo pulmonar $1,8 \pm 0,4$ y para evaluación doppler del flujo aórtico $2,4 \pm 0,7$. Shih *et al.* (2011), determinaron si la presión en la arteria metatarsiana es comparable con la presión en la arteria femoral, para estimar el gasto cardíaco a través del contorno del pulso transpulmonar, utilizando el método de dilución de litio como estándar, en 10 perros entre 1 y 8 años, con un peso comprendido entre 12 kg y 25 kg, anestesiados. El índice cardíaco ($ml/min/kg$), obtenido por el método de dilución de litio fue de $143,8 \pm 80,0$. Valverde *et al.* (2011), compararon el índice cardíaco mediante el método de análisis de la onda de la presión de pulso arterial y el método de dilución de litio, en 6 perros, con una edad comprendida entre 1 y 4 años, que pesaban entre 19,8 kg y 27,0 kg, anestesiados a diferentes concentraciones de isoflurano. El valor del índice cardíaco ($ml/min/kg$) medido por el método de dilución de litio fue $144,6 \pm 56,7$ y el valor determinado por el análisis de la onda de presión de pulso arterial fue $241,2 \pm 84,86$.

Bektas *et al.* (2012), evaluaron la precisión de un monitor de gasto cardíaco de contorno de pulso, utilizando como procedimiento de referencia el método de termodilución, en 8 perros de raza Beagle, adultos, con un peso de 13,1 kg (9,8 – 17,1). Los resultados del gasto cardíaco (l/min), fueron expresados en mediana (percentil

10 y 90), la determinación medida por termodilución fue de 2,54 (1,47 y 5,15) y el valor obtenido por el monitor de contorno de pulso fue de 8,6 (3,9 y 17,3). Park *et al.* (2012), compararon el gasto cardíaco mediante los métodos de: (1) Simpson modificado, (2) doppler sobre el tracto de salida izquierdo, (3) seguimiento de contorno y (4) termodilución. La muestra consistió en 10 perros (tres machos y siete hembras), de raza Beagle, adultos de entre 2 y 3 años, clínicamente sanos, con un peso comprendido entre 6,6 kg y 10,8 kg. El gasto cardíaco (l/min) determinado por el método de Simpson modificado fue de $1,09 \pm 0,249$, por el método doppler del tracto de salida izquierdo fue de $1,31 \pm 0,402$, por el seguimiento de contorno fue de $0,94 \pm 0,212$ y por el método de termodilución fue de $1,795 \pm 0,469$. Morgaz *et al.* (2014), compararon el método de termodilución, dilución de litio y análisis de contorno de pulso, para medir el índice cardíaco en tres estados hemodinámicos diferentes, en 14 perros (siete machos y siete hembras), de raza Beagle, adultos entre 1 y 2 años de edad, con un peso comprendido entre 12,1 kg y 17,9 kg. Los resultados obtenidos de índice cardíaco (l/min/m²) fueron de $4,61 \pm 2,04$ para el método de termodilución, $4,64 \pm 2,22$ para el método dilución de litio y $4,46 \pm 1,29$ para el método de análisis de contorno de pulso.

Itami *et al.* (2016), compararon las mediciones del gasto cardíaco mediante termodilución transpulmonar y técnicas de termodilución convencional, en 6 perros sanos, de raza Beagle, adultos entre 7 y 8 años, anestesiados con sevoflurano, se calculó el gasto cardíaco mediante ambas metodologías a una presión venosa central de 3 – 7 mmHg, luego se administró una solución para inducir sobrecarga de líquidos y medir el gasto cardíaco con diferentes presiones venosas centrales (8-12 mmHg, 13-17 mmHg, 18-22 mmHg y 23-27 mmHg), los valores de gasto cardíaco determinados con el método de termodilución transpulmonar fue entre 1,45 l/min y 4,69 l/min, y para el método de termodilución convencional fue entre 1,30 l/min y 4,61 l/min. Leblanc *et al.* (2016), evaluaron la precisión del gasto cardíaco estimado mediante tomografía computarizada, ecocardiografía en modo M (utilizando el método de Teicholz), ecocardiografía bidimensional, ecocardiografía doppler en la válvula aórtica, ecocardiografía doppler en la válvula pulmonar, ecocardiografía tridimensional y método de termodilución. Se analizaron 6 perros (tres hembras y tres machos), enteros, mestizos, todos los perros tenían 13 meses, con un peso comprendido entre 19,5 kg y 23,8 kg. El gasto cardíaco (l/min) por tomografía fue de $1,60 \pm 0,30$, medido por el método de Teicholz $2,13 \pm 0,77$, ecocardiografía bidimensional en corte longitudinal derecho de eje largo $1,59 \pm 0,31$, ecocardiografía bidimensional en corte apical izquierdo $1,51 \pm 0,24$, ecocardiografía doppler sobre la válvula aórtica $2,10 \pm 0,66$, ecocardiografía doppler sobre la válvula pulmonar $2,07 \pm 0,51$, ecocardiografía tridimensional en corte longitudinal derecho de eje largo $1,94 \pm 0,42$, ecocardiografía tridimensional en corte apical izquierdo $1,70 \pm 0,35$ y medido por método de termodilución $2,17 \pm 0,36$.

Tenenbaum *et al.* (2016), compararon el gasto cardíaco obtenido por tomografía computarizada y el método de termodilución como criterio de referencia, en 5 perros (dos machos y tres hembras), enteros, de raza Beagle, de edad $15,6 \pm 2,2$ meses, con peso de $9,2 \pm 2,6$ kg. El gasto cardíaco (l/min), para la tomografía computarizada fue de $1,35 \pm 0,4$ y para el método de termodilución fue de $1,25 \pm 0,3$. Kutter *et al.* (2016), evaluaron la concordancia y capacidad de la tendencia de los métodos de termodilución transpulmonar, contorno de pulso calibrado y potencia de pulso en comparación con la termodilución de la arteria pulmonar para la determinación del gasto cardíaco, en 6 perros (tres hembras y tres machos), de raza Beagle, adultos, de edad 38 ± 8 meses, con peso de $15,0 \pm 1,1$ kg, anestesiados. El gasto cardíaco (l/min) en termodilución transpulmonar fue de $2,92 \pm 0,53$, para el método de contorno de pulso fue de $2,99 \pm 0,61$, para el método de potencia de pulso fue de $2,14 \pm 0,46$ y para el método de termodilución de la arteria pulmonar fue de $2,27 \pm 0,6$.

Sakaki *et al.* (2017), compararon la velocimetría eléctrica y la técnica de termodilución convencional para determinar el índice cardíaco, en 7 perros, de raza Beagle, adultos, con peso [mediana (rango intercuartil)] de 13,6 kg (9,8 kg – 15,9 kg), sometidos a cirugía cardiovascular. El índice cardíaco (l/min/m²) para la velocimetría eléctrica fue de $3,8 \pm 2,0$ y para la termodilución convencional fue de $4,0 \pm 1,9$. Mantovani *et al.* (2017), compararon la ecocardiografía transesofágica utilizando el transgástrica del tracto de salida del ventrículo izquierdo y la técnica de termodilución para la evaluación del gasto cardíaco, en 8 perros, con peso de $24,5 \pm 2,1$ kg, anestesiados. El gasto cardíaco (l/min) para la técnica ecocardiográfica fue de $3,11 \pm 0,73$ y para el método de termodilución fue de $3,11 \pm 0,72$. Briganti *et al.* (2018), compararon el método de análisis de registro de presión con la termodilución de la arteria pulmonar para determinar el gasto cardíaco, en 6 perros. El gasto cardíaco [mediana (rango)] para el método de registro de presión fue de 3,33 l/min (0,81 – 7,21) y para el método de termodilución fue de 3,48 l/min (1,41 – 6,56).

Paranjape *et al.* (2023a), evaluaron la concordancia entre la técnica de termodilución de la arteria pulmonar y la cardiometría eléctrica para medir el gasto cardíaco, en 6 perros machos, sanos, edad comprendida entre 11 a 15 meses, peso de $9,2 \pm 0,5$ kg, anestesiados con isoflurano. El gasto cardíaco (l/min) para el método de cardiometría eléctrica fue de $1,32 \pm 0,1$ y para la termodilución de la arteria pulmonar fue de $1,85 \pm 0,3$. Paranjape *et al.* (2023b), además, compararon las mediciones del gasto cardíaco mediante ecocardiografía transesofágica, ecocardiografía esofágica y termodilución de la arteria pulmonar, en 6 perros machos, de raza Beagle, con un peso de $10,8 \pm 0,7$ kg, anestesiados con isoflurano y sometidos a cuatro intervenciones farmacológicas aleatorias para cambiar la hemodinamia. El gasto cardíaco (l/min) determinado por el método de termodilución, teniendo presente todas las intervenciones farmacológicas, fue de $1,58 \pm 0,176$. Así mismo, Paranjape *et al.* (2023c), también evaluaron la técnica de termometría eléctrica y el método de dilución de litio, para determinar el gasto cardíaco, en 6 perros machos, sanos, de 1 a 2 años de edad, con un peso de $11,5 \pm 0,9$ kg, anestesiados y sometidos a cuatro tratamientos farmacológicos aleatorios. El gasto cardíaco (l/min) determinado por el método de dilución de litio, teniendo presente todos los tratamientos farmacológicos, fue de $1,59 \pm 0,267$.

Cannarozzo *et al.* (2024), compararon el gasto cardíaco mediante termodilución transpulmonar utilizando solución salina a temperatura ambiente y solución salina a temperatura helada, si bien no mencionaron en el trabajo con precisión el gasto cardíaco, los resultados fueron representados en una gráfica que indicó valores aproximados entre 0,8 a 2,5 l/min.

El índice cardíaco en caninos domésticos muestra un rango, en las distintas investigaciones analizadas, que se presenta entre 3,1 y 4,3 l/min/m², evidenciando diferencias entre razas. Por su parte, el gasto cardíaco presenta un rango con una amplia variabilidad entre los diferentes estudios, con valores mínimos y máximos que van desde 0,5 a 12,8 l/min, respectivamente; sin embargo, el promedio de la mayoría de las investigaciones se establece entre 2 y 5 l/min. Desde otro aspecto, las técnicas que se emplean para determinar el gasto cardíaco, siendo el método de termodilución el gold estándar, evidencian variabilidad en los resultados presentados por distintos autores. La muestra, en las distintas investigaciones, de manera particular en aquellas que trabajaron con caninos domésticos sanos, consideramos que no permite de manera estadística proponer conclusiones determinantes, debido a su escaso número. En este marco, sería importante continuar investigando, tanto el índice cardíaco como el gasto cardíaco, a los fines de establecer valores de referencia en la población de caninos domésticos y determinar, asimismo, la probable variabilidad en asociación a la edad, el sexo, la talla y la raza.

En línea con lo anterior, los métodos de estimación del gasto cardíaco presentan una amplia variedad de enfoques, cada uno con ventajas y limitaciones. Las técnicas invasivas, como el método de termodilución, ofrecen alta precisión y valor diagnóstico, pero implican riesgos asociados al cateterismo y requieren equipamiento especializado, lo que limita su uso rutinario. Las técnicas mínimamente invasivas, como el método de dilución de Litio, presentan buen equilibrio precisión/riesgo pero requiere acceso vascular. Por su parte, los métodos no invasivos, como la ecocardiografía Doppler, equilibran la fiabilidad con una menor agresividad, siendo útiles en la práctica clínica, aunque dependen en gran medida de la experiencia del operador y de las condiciones del paciente. Aun así, resultan más cómodos y seguros, tanto para el paciente como para el profesional, aunque su precisión puede verse afectada por factores fisiológicos o técnicos. En este marco, el estimador ideal sería aquel método no invasivo, confiable y de fácil aplicación, que permita un monitoreo eficaz sin comprometer la seguridad del paciente (García *et al.*, 2011).

Sobre esta base, en los últimos años, las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial (IA), han comenzado a transformar la ecocardiografía, mejorando la precisión, la reproducibilidad y la eficiencia del análisis de imágenes cardíacas. Si bien el estudio en cuestión se centra específicamente en la medición de las dimensiones lineales del ventrículo izquierdo en perros y no directamente en el cálculo del gasto cardíaco, demuestra que la IA puede alcanzar niveles de precisión comparables a los de ecocardiógrafos expertos. Este avance es especialmente relevante, ya que la automatización del análisis por IA contribuye a reducir la variabilidad dependiente del operador, lo que representa un paso importante hacia la obtención de mediciones más consistentes y confiables. En términos más amplios, la integración de la IA en la evaluación ecocardiográfica sienta las bases para optimizar el cálculo del gasto cardíaco en el futuro y mejorar significativamente el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades cardiovasculares (Stowell *et al.*, 2024).

Referencias bibliográficas

- Barril G, Andrino T, Iturralde E, Selgas R. 2004. Concordancia entre la técnica de dilución ultrasonidos y la ecocardiografía para la medida del gasto cardíaco en pacientes en hemodiálisis. *Nefrología* 24: 386-389.
- Bektas RN, Kutter APN, Hartnack S, Jud RS, Chnyder M, Matos JM, Bettschart-Wolfensberger R. 2012. Evaluation of a minimally invasive non-calibrated pulse contour cardiac output monitor (FloTrac/Vigileo) in anaesthetized dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* 39: 464-471. DOI: 10.1111/j.1467-2995.2012.00741.x
- Boon JA. 2012. *Ecocardiografía Veterinaria*. 2 ed. Barcelona, España: Multimedica Ediciones Veterinaria 452 pp.
- Briganti A, Evangelista F, Centonze P, Rizzo A, Bentivegna F, Crovace A, Staffieri F. 2018. A preliminary study evaluating cardiac output measurement using Pressure Recording Analytical Method (PRAM) in anaesthetized dogs. *BMC Vet. Res.* 14: 72. DOI: 10.1186/s12917-018-1392-5
- Buzzi AE. 2016. La circulación de la sangre a 400 años de su descubrimiento. *Rev. Argent. Cardiol.* 84: 595-600. DOI: 10.7775/rac.es.v84.i6.10117
- Cannarozzo CJ, Araos J, Martin-Flores M. 2024. Transpulmonary cardiac output with room temperature saline is accurate and tracks directional changes in anesthetized dogs. *Am. J. Vet. Res.* 85: ajvr.24.05.0154. DOI: 10.2460/ajvr.24.05.0154
- Charlo Molina T. 2000. Valores normales de gasto cardíaco medido mediante ecocardiografía 2D - Doppler en el período neonatal. Universidad de Sevilla Facultad de Medicina. Departamento de Pediatría, Farmacología y Radiología. España.
- Cooper E, Muir WW. 2007. Continuous cardiac output monitoring via arterial pressure waveform analysis following severe hemorrhagic shock in dogs. *Crit. Care Med.* 35: 1724-1729. DOI: 10.1097/01.CCM.0000266590.25109.F2
- Cox RH, Peterson LH, Detweiler DK. 1976. Comparison of arterial hemodynamics in the mongrel dog and the racing greyhound. *Am. J. Physiol.* 230: 211-218. DOI: 10.1152/ajplegacy.1976.230.1.211.
- Escaned Barbosa J. 2009. Breve historia del corazón y de los conocimientos cardiológicos. (pp. 23-33). En: López Farré A, Macaya Miguel C (eds.), *Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico de San Carlos y de la Fundación BBVA*. Fundación BBVA. ISBN 978-84-96515-92-5
- Ferro Lopes PC, Goncalves Sousa M, Camacho AA, Carareto R, Nishimori CTD, Santos PSP, Nunes N. 2010. Comparison between two methods for cardiac output measurement in propofol-anesthetized dogs: thermodilution and Doppler. *Vet. Anaesth. Analg.* 37: 401-408. DOI: 10.1111/j.1467-2995.2010.00552.x
- Fránquiz J, Pando A, Chiong A, Valladares T, Miranda N. 1975. Determinación del gasto cardíaco mediante un método radioisotópico y conteos externos sobre el área precordial. *Rev. Cub. Med.* 14: xxx-xxx.
- García X, Mateub L, Maynarc J, Mercadald J, Ochagavía A, Ferrandizb A. 2011. Estimación del gasto cardíaco. Utilidad en la práctica clínica. *Monitorización disponible invasiva y no invasiva*. Elsevier Doyma. *Med. Intensiva* 35: 552-561.
- González Torrijos J. 2006. Medición invasiva del gasto cardíaco en las unidades de cuidados críticos. *Enfermería en cardiología* 38: 30-35.
- Haskins S, Pascoe PJ, Ilkiw JE, Fudge J, Hopper K, Aldrich J. 2005. Reference cardiopulmonary values in normal dogs. *Comp Med.* 55: 156-161.
- Itami T, Endo Y, Hanazono K, Ishizuka T, Tamura J, Miyoshi K, Sano T, Yamashita, K. 2016. Comparison of cardiac output measurements using transpulmonary thermodilution and conventional thermodilution techniques in anaesthetized dogs with fluid overload. *Vet. Anaesth. Analg.* 43: 388-396. DOI: 10.1111/vaa.12331
- Kutter APN, Bettschart-Wolfensberger R, Romagnoli N, Bektas RN. 2016. Evaluation of agreement and trending ability between transpulmonary thermodilution and calibrated pulse contour and pulse power cardiac output monitoring methods against pulmonary artery thermodilution in anesthetized dogs. *J.Vet. Emerg.Crit. Care* 26: 531-540. DOI: 10.1111/vec.12439

- LeBlanc NL, Scollan KF, Stieger-Vanegas SM. 2016. Cardiac output measured by use of electrocardiogram-gated 64-slice multidetector computed tomography, echocardiography, and thermodilution in healthy dogs. *AJVR*. 78: 818-827. DOI: 10.2460/ajvr.78.7.818
- Mantovani MM, Fantoni DT, Gimenes AM, De Castro JR, Flor PB, Ida KK, Schwartz DS. 2017. Clinical monitoring of cardiac output assessed by transoesophageal echocardiography in anaesthetised dogs: a comparison with the thermodilution technique. *BMC Vet. Res.* 13: 325. DOI: 10.1186/s12917-017-1227-9
- Mason DJ, O'Grady M, Woods JP, McDonnell W. 2001. Assessment of lithium dilution cardiac output as a technique for measurement of cardiac output in dogs. *Am. J. Vet. Res.* 62: 1255-1261. DOI: 10.2460/ajvr.2001.62.1255.
- Mathias DW, Clifford PS, Klopfenstein HS. 1988. Mixed Venous Blood Gases Are Superior to Arterial Blood Gases in Assessing Acid-Base Status and Oxygenation during Acute Cardiac Tamponade in Dogs. *J. Clin. Invest.* 82: 833-838. DOI: 10.1172/JCI113686.
- Morgaz J, Granados MM, Muñoz-Rascón P, Dominguez JM, Fernández-Sarmiento JA, Gómez-Villamandos RJ, Navarrete R. 2014. Comparison of thermodilution, lithium dilution, and pulse contour analysis for the measurement of cardiac output in 3 different hemodynamic states in dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 24: 562-570. DOI: 10.1111/vec.12219
- Neath PJ, Brown DC, Hughes D, Perkowski SZ. 2004. The Hemodynamic Effects of Intrathecal Oxytocin in Normal Dogs. *Vet. Surg.* 33: 254-261. DOI: 10.1053/jvet.2000.5613.
- O'Malley P, Smith B, Hamlin R, Nickel J, Nakayama T, MacVicar M, Mann B. 2000. A comparison of bolus versus continuous cardiac output in an experimental model of heart failure. *Medicina de cuidados críticos* 28: 1985-1990. DOI: 10.1097/00003246-200006000.
- Paranjape VV, Henao-Guerrero N, Menciotti G, Saksena S, Agostinho M. 2023a. Agreement between Electrical Cardiometry and Pulmonary Artery Thermodilution for Measuring Cardiac Output in Isoflurane-Anesthetized Dogs. *Animals* 13: 1420. DOI: 10.3390/ani13081420
- Paranjape VV, Garcia Pereira FL, Menciotti G, Saksena S, Henao Guerrero N, Ricco Pereira, CH. 2023b. Agreement of cardiac output measurements by esophageal Doppler and transesophageal echocardiography with intermittent pulmonary artery thermodilution during pharmacologic manipulation of hemodynamics in anesthetized dogs. *Am. J. Vet. Res.* 84: ajvr.23.05.0101. DOI: doi.org/10.2460/ajvr.23.05.0101
- Paranjape VV, Garcia-Pereira FL, Menciotti G, Saksena S, Henao-Guerrero N, Ricco-Pereira CH. 2023c. Evaluation of Electrical Cardiometry for Measuring Cardiac Output and Derived Hemodynamic Variables in Comparison with Lithium Dilution in Anesthetized Dogs. *Animals* 13: 2362. DOI: 10.3390/ani13142362
- Park K, Yeon S, Lee H. 2012. Comparative Evaluation of Cardiac Output using Echocardiography in Beagle Dogs. *J. Vet. Clin.* 29: 384-390.
- Peng ZY, Critchley LAH, Fok BSP. 2005. An investigation to show the effect of lung fluid on impedance cardiac output in the anaesthetized dog. *Br. J. Anaesth.* 95: 458-64.
- Rabanal Llevot JM, Mons Lera R, Galindo Palazuelos M, Teja Barbero JL, Quesada Suescun A, García-Castrillo L. 1998. Modelo experimental canino de sangrado agudo: fisiopatología y factores predictores de la pérdida de volemia. *Rev. Emergencias* 10: 298-305.
- Riedesel DH y Hknight D. 2004. Actividad mecánica del corazón. (259-284). En: Dukes (eds). *Fisiología de los animales domésticos*. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Ruiz EM, Simón VR, De Jesús Montelongo F, Dominguez AC. 2019. Comparación del gasto cardíaco medido a través del volumen sistólico en modo bidimensional versus ecuación de continuidad en pacientes de terapia intensiva del Hospital General "Las Américas". *Med. Crít.* 33: 26-32. DOI: 10.35366/86341
- Sasaki K, Mutoh T, Mutoh T, Kawashima R, Tsubone H. 2017. Electrical velocimetry for noninvasive cardiac output and stroke volume variation measurements in dogs undergoing cardiovascular surgery. *Vet. Anaesth. Analg.* 44: 7-16. DOI: 10.1111/vaa.12380

- Shih A, Maisenbacher HW, Bandt C, Ricco C, Bailey J, Rivera J, Estrada A. 2011. Assessment of cardiac output measurement in dogs by transpulmonary pulse contour analysis. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 21: 321-327. DOI:10.1111/j.1476-4431.2011.00651.x
- Sotres-Vega A, Olmos-Zúñiga JR, Jasso-Victoria R, Franco-Oropeza A, Loyola-García U, Santillán-Doherty P. 2002. Registro hemodinámico en perros mestizos. *Rev. Inst. Nac. Enf. Respir.* 15: 69-77.
- Stowell CC, Kallassy V, Lane B, Abbott J, Borgeat K, Connolly D, Domenech O, Dukes-McEwan J, Ferasin L, Fernández Del Palacio J, Linney C, Novo Matos J, Spalla I, Summerfield N, Vezzosi T, Howard JP, Shun-Shin MJ, Francis DP, Luis Fuentes V. 2024. Automated echocardiographic left ventricular dimension assessment in dogs using artificial intelligence: Development and validation. *J. Vet. Inter. Med.* 38: 922-930. DOI: doi.org/10.1111/jvim.17012
- Tenenbaum S, Garcia-Pereira FL, Berry CR, Obert T. 2016. Comparison of cardiac output measured by use of computed tomography and thermodilution in dogs. *AJVR.* 78: 906-909. DOI: 10.2460/ajvr.78.8.906
- Valverde A, Gianotti G, Rioja E, Hathway A. 2011. Comparison of cardiac output determined by arterial pulse pressure waveform analysis method (FloTrac/Vigileo) versus lithium dilution method in anesthetized dogs. *J. Vet. Emerg. Crit. Care* 21: 328-334. DOI: 10.1111/j.1476-4431.2011.00650.x