

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de la metodología para la profilaxis y corrección del trastorno de acidosis metabólica en pacientes sometidos a cirugía cardiovascular con circulación extracorpórea por profesionales perfusionistas brasileños.

Evaluation of the methodology for the prophylaxis and correction of metabolic acidosis in patients undergoing cardiovascular surgery with cardiopulmonary bypass by Brazilian perfusionists.

AUTORES: ALÍCIA CATÂNIO CAMPANINI ¹, SAMARA MELLO ÁVILA ², BRUNO ALENCAR HERRERA DE SOUZA ³, ANA PAULA BIADOLA ³.

1. Hospital Universitario do Oeste do Paraná. Cascavel, Paraná, Brasil.

2. UNINGA. Maringá, Paraná, Brasil.

3. Universidad Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. Paraná. Brasil.

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo analizar los métodos de corrección de la acidosis metabólica mediante el uso de bicarbonato de sodio al 8,4% durante la circulación extracorpórea (CEC), comparando las recomendaciones descritas en la literatura con las conductas adoptadas por perfusionistas brasileños. Se trata de una investigación transversal, de naturaleza observacional y enfoque cuali-cuantitativo, compuesta por revisión bibliográfica y levantamiento de campo. Los datos fueron analizados mediante el método estadístico porcentual, utilizando un cuestionario electrónico aplicado a 82 perfusionistas de diferentes regiones de Brasil. Los resultados indicaron que el 59,8% de los participantes realiza profilaxis de la acidosis metabólica, mientras que el 40,2% no adopta esta práctica. También se observó que el 26,8% realiza corrección empírica y el 73,2% no lo hace; esta práctica puede estar relacionada con la demora en la obtención de los resultados de laboratorio, ya que la gran mayoría espera dichos resultados. Se concluye que, aunque existe consenso sobre la importancia de mantener el equilibrio ácido-base durante la CEC, no existe una estandarización nacional en cuanto a la profilaxis y las dosis utilizadas.

Palabras clave: Acidosis metabólica. Bicarbonato de sodio. Circulación extracorpórea. Trastornos ácido-base. Equilibrio ácido-base.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the methods used to correct metabolic acidosis through the administration of 8.4% sodium bicarbonate during cardiopulmonary bypass (CPB), comparing the recommendations described in the literature with the practices adopted by Brazilian perfusionists. This is a cross-sectional study of an observational nature with a qualitative-quantitative approach, comprising a literature review and a field survey. Data were analyzed using the percentage-based statistical method, based on an electronic questionnaire administered to 82 perfusionists from different regions of Brazil. The results showed that 59.8% of the participants perform prophylaxis for metabolic acidosis, whereas 40.2% do not adopt this practice. It was also observed that 26.8% perform empirical correction, while 73.2% do not; this practice may be related to delays in obtaining laboratory results, since the vast majority wait for these results. It is concluded that, although there is consensus regarding the importance of maintaining acid-base balance during CPB, there is no national standardization concerning prophylaxis and the doses used.

Keywords: Metabolic acidosis. Sodium bicarbonate. Cardiopulmonary bypass. Acid-base disorders. Acid-base balance.

INTRODUCCIÓN

Con el advenimiento de la Circulación Extracorpórea (CEC), la Cirugía Cardiovascular (CCV) fue revolucionada, creando nuevas posibilidades para el tratamiento de enfermedades cardíacas jamás imaginadas en la primera mitad del siglo pasado.¹

Junto con el avance de la cirugía cardiovascular y de la circulación extracorpórea, también se produjeron actualizaciones en los profesionales que la conducen, mediante las técnicas utilizadas durante el procedimiento.² En este período, paralelamente a dicho perfeccionamiento, se observó el avance de la tecnología extracorpórea, así como de la industria farmacéutica, con fármacos que minimizan los efectos deletéreos causados por la CEC.³

La circulación extracorpórea sustituye temporalmente las funciones del corazón y de los pulmones mediante materiales artificiales, permitiendo que los cirujanos corrijan las lesiones intracardíacas. Se trata de una simulación mecánica de principios de la fisiología humana relacionados con la circulación, la respiración y los balances hidroelectrolítico y ácido-base.¹

Sin embargo, la relación de la sangre con los materiales artificiales que componen la CEC provoca trastornos que comprometen la fisiología y la homeostasis del organismo humano. Las superficies de contacto de los diversos componentes del circuito extracorpóreo no presentan ninguna similitud con el ambiente natural de la circulación, como el revestimiento endotelial del sistema circulatorio. Todas las superficies no endoteliales producen alteraciones en los tejidos con los que entran en contacto.¹

Entre los trastornos más comunes se encuentra la acidosis metabólica, desencadenada por diversos factores relacionados con la CEC, como la hipoxia tisular, el desequilibrio electrolítico, la hemodilución y la hipotermia, lo que incrementa el riesgo de lesión tisular y disfunción orgánica durante la CEC.⁴ La acidez se expresa en la escala de pH, y el valor fisiológico normal del pH plasmático humano se encuentra en el rango de 7,35–7,45 (N: 7,4). El equilibrio ácido-base se controla con precisión, ya que incluso una pequeña desviación del rango normal puede afectar gravemente a numerosos órganos.

El organismo humano posee sus propios mecanismos de compensación frente a los trastornos primarios del equilibrio ácido-base (EAB), de forma rápida o prolongada, como el tamponamiento extracelular por bicarbonato, el tamponamiento respiratorio mediante el aumento de la excreción de CO₂, el tamponamiento óseo e intracelular, así como el aumento de la excreción renal de hidrógeno.^{5,6} En casos más graves durante la CEC, la forma más común de corrección inmediata de la acidosis metabólica se realiza mediante la administración intravenosa de bicarbonato de sodio al 8,4% (HCO₃⁻).

Las formas más comunes de corrección de la acidosis metabólica con bicarbonato de sodio al 8,4% en pacientes sometidos a cirugía cardiovascular, basadas en el valor de bicarbonato y del exceso de base, se realizan de acuerdo con las fórmulas de Mellengard-Astrup y la fórmula de corrección.⁶ Para la corrección de la acidosis de la solución celular que compone el perfusato, se emplean 10 ml de bicarbonato de sodio al 8,4% por cada 1,5 litros de solución.¹

Esto se debe a su capacidad teórica de corregir rápidamente el pH sanguíneo, revirtiendo posteriormente los efectos adversos inducidos por la acidosis aguda, como la depresión miocárdica, la inestabilidad hemodinámica, la alteración en la producción de energía celular, la disminución de la respuesta a las catecolaminas, el metabolismo alterado, la supresión enzimática, la disfunción inmunológica, la coagulopatía y el suministro ineficaz de oxígeno.⁷

No obstante, en el contexto de que es inevitable que la circulación extracorpórea favorezca el desarrollo de una disfunción primaria del equilibrio ácido-base, debido a los múltiples factores predictivos involucrados en el procedimiento, el trastorno más común es la acidosis metabólica.¹

Dentro de la práctica habitual de la mayoría de los servicios de CCV, es frecuente que los profesionales informen sobre el tiempo excesivo de espera para obtener los resultados del análisis de gases en sangre, que proporciona los valores de las bases no mensurables, del exceso de base (BE) y del propio bicarbonato.⁸ Este hecho ocurre porque no es práctica común disponer de equipos “point of care” dentro del quirófano, debido a su elevado costo. En este contexto, los exámenes

se realizan en ambientes externos o incluso en laboratorios fuera del hospital, aumentando el tiempo para la obtención de los resultados. Estos resultados ayudan a los profesionales a corregir posibles déficits de base, y esta situación puede llevar, en muchas ocasiones, a la realización de correcciones de forma empírica.

Sin embargo, los estudios se contradicen al especificar la mejor forma de corrección y el momento adecuado para intervenir.⁶ Dado que la corrección inadecuada o excesiva del trastorno con bicarbonato de sodio puede causar efectos adversos no esperados, como hipernatremia (resultado de la elevada concentración de sodio en la solución al 8,4%), sobrecarga de volumen, hipocalcemia (derivada del desplazamiento intracelular de potasio) e hipocalcemia (efecto directo de la alcalinización sobre el calcio ionizado), comprometiendo el pronóstico del paciente. Además, puede provocar un desplazamiento hacia la izquierda de la curva de disociación oxígeno-hemoglobina, lo que puede perjudicar el suministro periférico de oxígeno.^{6,9,10}

La falta de estudios prospectivos de gran tamaño que exploren el impacto de la prevención de la acidosis durante la cirugía cardíaca en los resultados del paciente sustenta este proyecto, cuyo propósito es evaluar cómo se realiza la corrección de la acidosis metabólica de acuerdo con los métodos ya descritos y cómo se comportan los profesionales perfusionistas en relación con la corrección de este trastorno durante la CEC, considerando que existe un consenso general en cuanto a la necesidad de mantener condiciones fisiológicas normales, incluido un pH estable y la prevención de la acidosis.⁴

El objetivo principal de este trabajo es estudiar los métodos descritos para la corrección de la acidosis metabólica mediante el uso de bicarbonato de sodio al 8,4% como “sistema tampón” y compararlos, a partir de la literatura disponible, con los métodos practicados por los profesionales a nivel nacional, mediante un cuestionario como investigación pública de opinión.

Con este estudio fue posible obtener resultados a través de un cuestionario aplicado a profesionales perfusionistas, con un total de 82 respuestas. Estos resultados reforzaron la inexistencia de un consenso nacional, demostrando así variaciones en las experiencias profesionales en la práctica clínica.

METODOLOGÍA

Estudio transversal con finalidad aplicada y naturaleza observacional, con enfoque cualitativo y cuantitativo, delineamiento bibliográfico y de campo, y procedimiento técnico de análisis estadístico orientado a esclarecer las posibles conductas de los profesionales perfusionistas frente a la profilaxis o corrección de la acidosis metabólica durante la CEC.

Para cumplir con los criterios de registro del estudio, este proyecto fue sometido al Comité de Ética en Investigación (CEP) de la UNINGÁ – Centro Universitario Ingá, con Certificado de Presentación para Apreciación Ética (CAAE 87905325.4.0000.5220), aprobado en la interfaz del sistema Plataforma Brasil. El CEP dispensó el Término de Consentimiento Libre e Informado (TCLE), siempre que la información correspondiente estuviera expresada en el encabezado del cuestionario digital, tal como se realizó.

Se aplicó al público objetivo —profesionales perfusionistas brasileños— un cuestionario mediante la herramienta Google Forms. Estos profesionales forman parte de una comunidad en línea compuesta por 290 miembros denominada “Perfusionistas Brasil”. El propósito del cuestionario fue recopilar información sobre las conductas individuales practicadas por cada profesional.

La información recolectada fue utilizada exclusivamente con fines científicos, y los participantes contribuyeron de forma anónima. El número de participantes fue de 82 perfusionistas de diferentes regiones de Brasil, lo que corresponde a un tamaño muestral del 28,27% del público objetivo.

El cuestionario se inició con un campo de presentación del estudio, así como con la información sobre el consentimiento libre e informado. No se recopilaron datos sensibles, manteniéndose el anonimato de los participantes. Las preguntas del cuestionario fueron elaboradas de acuerdo con la hipótesis positiva y el objetivo del estudio, con un total de siete preguntas. Todas las preguntas fueron de formato objetivo, con posibilidad de marcar solo una alternativa (APÉNDICE A).

Tras finalizar el plazo de participación, las respuestas

recopiladas mediante Google Forms fueron registradas en una ficha de recolección de datos y organizadas en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel® 2016 para su evaluación estadística, aplicándose el análisis porcentual para la presentación de los resultados. Los resultados fueron analizados en forma de gráficos de columnas, con un total de siete gráficos, en los que cada respuesta obtuvo un porcentaje de correspondencia.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron identificar el perfil de las conductas adoptadas por los perfusionistas brasileños en relación con el uso de bicarbonato de sodio al 8,4% para la profilaxis y corrección de la acidosis metabólica durante la circulación extracorpórea (CEC), posibilitando comparaciones con las recomendaciones descritas en la literatura y, de este modo, alcanzando los objetivos propuestos, incluso frente a respuestas que divergieron de la obtención de un resultado estandarizado.

Se observó que el 59,8% de los participantes realiza la profilaxis de la acidosis metabólica, mientras que el 40,2% no adopta dicha práctica. Este hallazgo revela que, aunque la profilaxis se considera una conducta preventiva para minimizar los efectos de la acidosis, su aplicación no constituye un estándar entre los servicios, corroborando la observación de Rocha (2009), quien señala que la adopción de esta estrategia varía según los protocolos institucionales, la experiencia del profesional y las condiciones clínicas del paciente. La profilaxis con bicarbonato de sodio durante la CEC, de acuerdo con Souza y Elias (2006), tiene como objetivo mantener el pH dentro del rango fisiológico y prevenir la instauración de acidosis metabólica resultante de factores como la hemodilución, la hipotermia y las alteraciones del metabolismo celular.

En cuanto a la corrección empírica, aunque la literatura no describe su realización ni especifica en qué circunstancias puede llevarse a cabo, ante la realidad de los profesionales respecto al prolongado tiempo de espera para la obtención de resultados de exámenes de laboratorio, como los de bicarbonato y exceso de base, el 26,8% de los profesionales adopta esta práctica. Se concluye que el método de corrección

varía, incluso cuando la literatura científica proporciona fórmulas de corrección de la acidosis, como las de Astrup y Mellengard, utilizadas por el 95,1% de los profesionales que aguardan los resultados de laboratorio, mientras que el 2,4% emplea el cálculo del bicarbonato.

Esta variabilidad refuerza la inexistencia de un consenso nacional y confirma lo señalado por Rocha (2009), en el sentido de que factores como la experiencia clínica del profesional, las condiciones intraoperatorias y la respuesta del paciente influyen directamente en la decisión terapéutica. No obstante, la variación en las conductas de profilaxis y la ausencia de estandarización en las dosis administradas indican la necesidad de elaborar protocolos clínicos más específicos y uniformes, con el fin de optimizar los resultados intraoperatorios y la seguridad de los pacientes sometidos a CEC.

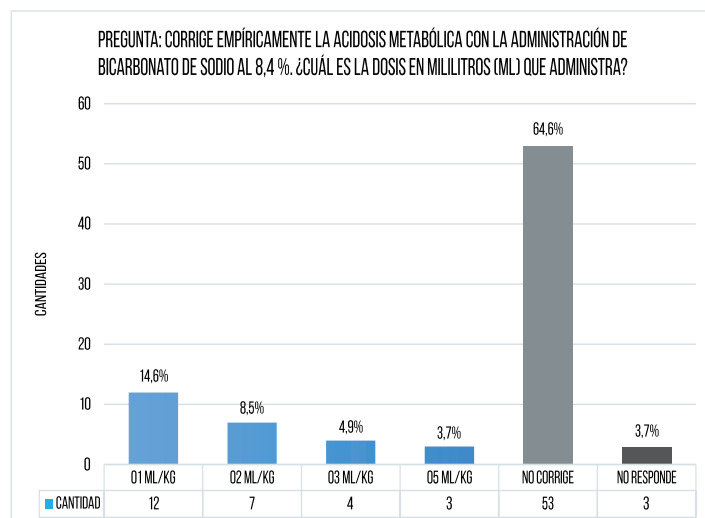
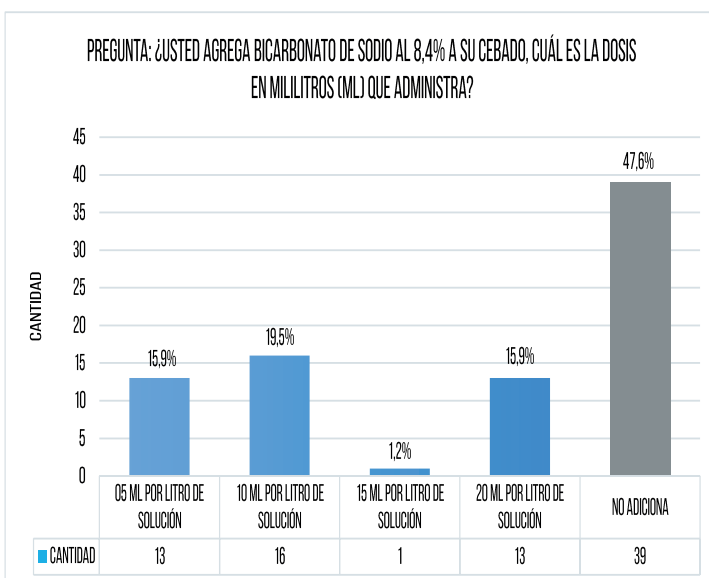
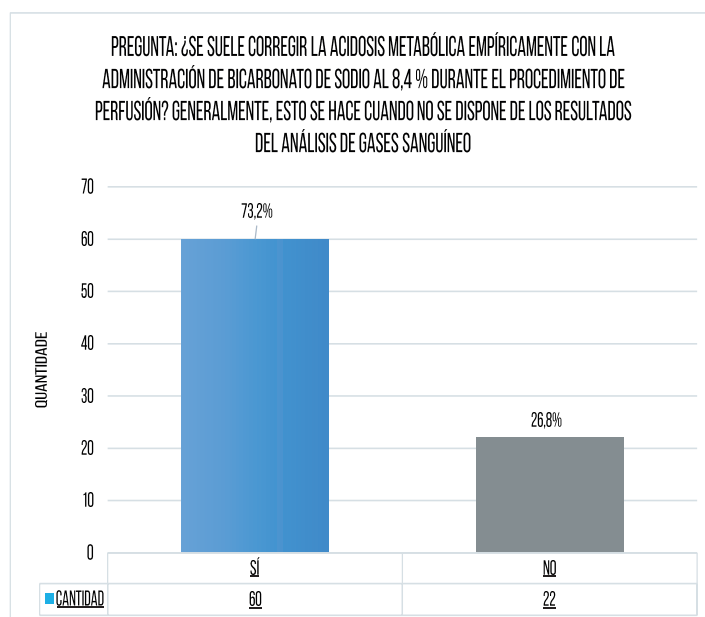
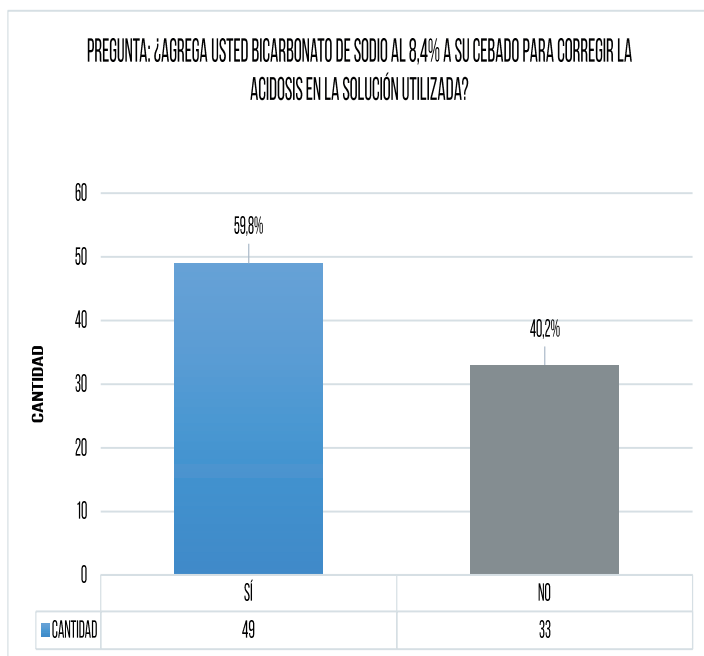
Investigaciones futuras de carácter prospectivo, que incluyan la observación directa de los procedimientos y el análisis de los desenlaces clínicos, pueden proporcionar datos más sólidos para fortalecer las conclusiones y proponer recomendaciones nacionales fundamentadas, así como una posible estandarización.

RESULTADOS

Las respuestas de cada pregunta, formuladas con más de una opción de elección, fueron analizadas individualmente mediante el método porcentual entre las 82 respuestas obtenidas.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Los valores correspondientes a las respuestas relacionadas con la profilaxis de la acidosis metabólica mediante el uso de bicarbonato de sodio al 8,4% fueron analizados por el método porcentual, de acuerdo con el ítem seleccionado por cada participante, observándose que el 59,8% realiza profilaxis y el 40,2% no la realiza. Asimismo, en relación con la dosis de elección para la corrección empírica, los resultados fueron del 19,5% para la corrección con 10 ml por litro de solución, seguido del 15,9% para la corrección con 20 ml y 5 ml por litro, y del 1,2% para 15 ml por kilogramo.



Gráficos 1 y 2: Resultados de las preguntas sobre profilaxis y acidosis metabólica.

Fuente: Elaborado por el autor (2025) con datos de Google Forms.

Gráficos 3 y 4 : Resultados de las preguntas sobre corrección empírica de la acidosis metabólica y dosificación.

Fuente: Elaborado por el autor (2025) con datos de Google Forms.

Los resultados del análisis sobre el uso empírico de bicarbonato de sodio al 8,4% demostraron que el 73,2% no realiza esta práctica y el 26,8% sí la realiza. Entre quienes realizan corrección empírica, el 14,6% utiliza 1 ml por kilogramo, seguido del 8,5% con 2 ml por kilogramo, el 4,9% con 3 ml por kilogramo y el 3,7% con 5 ml por kilogramo.

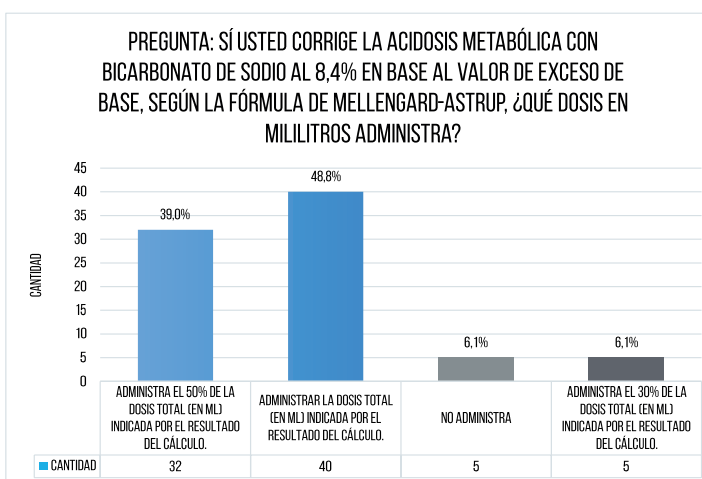
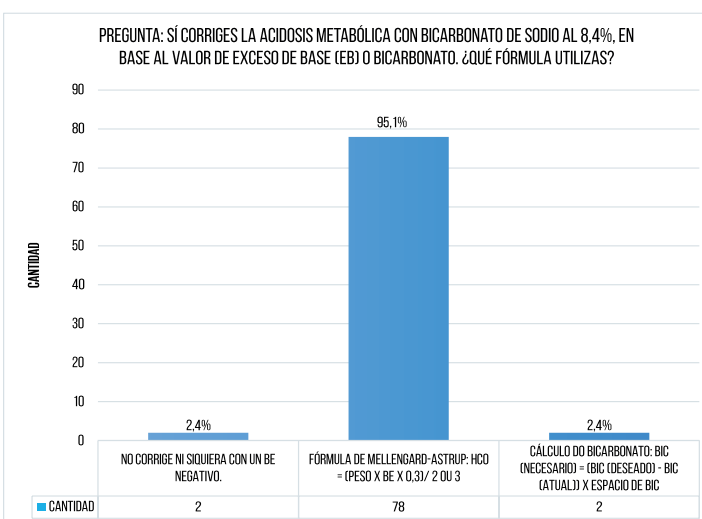
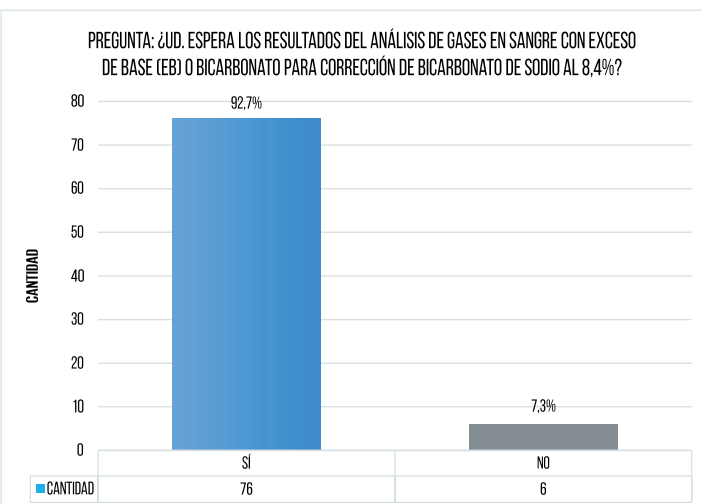
Para las correcciones basadas en los valores de exceso de base y bicarbonato medidos por exámenes de laboratorio, el 92,7% de los profesionales utiliza los resultados, mientras que el 7,3% no espera dichos resultados. Entre quienes realizan la corrección a partir de los resultados de laboratorio, el 95,1% utiliza la fórmula de Astrup y Mellengard y el 2,4% utiliza el cálculo del bicarbonato. En la corrección mediante la fórmula de Astrup y Mellengard, el 48,8% administra la dosis total, seguido del 39% que administra el 50% de la dosis y del 6,1% que administra el 30% del volumen total calculado.

CONCLUSIÓN

Este estudio alcanzó su objetivo central y sus objetivos específicos al permitir el análisis de la información descrita en la literatura y de los métodos utilizados por los profesionales que adoptan la conducta de corrección de la acidosis metabólica. Los resultados evidenciaron divergencias entre los patrones de corrección sugeridos en la literatura y los practicados por los perfusionistas. El estudio demuestra un alto potencial y un fuerte impacto al permitir verificar que el problema de investigación propuesto presenta una hipótesis positiva, incluso con pequeñas limitaciones metodológicas y textuales. La investigación contribuyó a demostrar que deben desarrollarse patrones con el mejor método de corrección y que nuevos estudios, como los relacionados con las dosis ideales de la solución tampón, son necesarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Souza MA, Elias DO. Fundamentos de la circulación extracorpórea. 2ª ed. Río de Janeiro: Centro Editorial Alfa Rio; 2006.
2. Santos LS, Cerqueira LRS, Santos NS, Silva MS. Trayectoria y avance de la perfusión extracorpórea en la cirugía cardiovascular. En: Variaciones anatómicas: el avance de la ciencia en Brasil. Vol. 5. Científica Digital; 2024. Capítulo 4.
3. Passaroni AC, Silva MAM, Yoshida WB. Bypass cardiopulmonar: desarrollo de la máquina corazón-pulmón de John Gibbon. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2015;30(2):235-245.
4. Authors/Task Force Members; Kunst G, Milojevic M, Boer C, De Somer FMJJ, Gudbjartsson T, van den Goor J, Jones TJ, Lomivorotov V, Merkle F, Ranucci M, Puis L, Wahba A; EACTS/EACTA/EBCP Committee Reviewers; Alston P, Fitzgerald D, Nikolic A, Onorati F, Rasmussen BS, Svenmarker S. 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. Br J Anaesth. 2019 Dec;123(6):713-757.
5. Oliveira IM, Rosa RM. Alteraciones del equilibrio ácido-base. En: Trastornos ácido-base. 2010. Capítulo 4.
6. Rocha PN. Uso de bicarbonato de sodio en la acidosis metabólica del paciente críticamente enfermo. J Bras Nefrol. 2009;31(4):297-306.



Gráficos 5, 6 y 7: Resultados de las preguntas sobre los métodos de corrección de la acidosis metabólica.

Fuente: Elaborado por el autor (2025) con datos de Google Forms.

7. Eraky AM, et al. Complexities, benefits, risks, and clinical implications of sodium bicarbonate administration in critically ill patients. J Clin Med. 2024;13(24).
 8. Cavalheiro LF, Paulin FV. HCO_3^- y BE: análisis e importancia fisiológica en la gasometría arterial. Rev Multidiscip Salud. 2021;2(1).
 9. Sepúlveda RA, et al. Bicarbonato de sodio intravenoso: ¿cuándo, cómo y por qué utilizarlo? Rev Med Chil. 2022;150(9):1214–1223.
 10. Winslow EH, McMahon H, et al. Metabolic and hemodynamic consequences of sodium bicarbonate. Am J Physiol. 1979;237(2):H202–H207.
- Fechas de recepción: 11 de septiembre de 2025.
Fecha de aceptación: 20 de diciembre de 2025