

Recomendaciones basadas sobre la evidencia en circulación extracorpórea pediátrica: consenso latinoamericano.

Evidence-based recommendations on pediatric extracorporeal circulation: latin american consensus

AUTORES: ACOSTA HUERTAS, SANDRA¹; CAÑAS DURAN, MARITZA²; MARTÍNEZ, LESLLY³; PACHECO, CRISTIAN⁴; HERNÁNDEZ ABAUNZA, MÓNICA PATRICIA⁵.

¹Enfermera de la Universidad Nacional de Colombia. Enfermera con Entrenamiento en Perfusión y Circulación Extracorpórea en Hospital Ramón y Cajal. Magister en Epidemiología y Atención al Niño en Universidad del Valle –Colombia. Perfusionista en Angiografía de Colombia. Villavicencio-Colombia

²Enfermera de la Universidad Industrial de Santander. Especialista en Perfusión y Circulación Extracorpórea y Magister en tecnologías de la Información y Comunicación en Salud. Universidad CES, Medellín - Colombia. Coordinadora del Servicio de Perfusión en Instituto del Corazón de Bucaramanga. Bucaramanga-Colombia.

³Enfermera Perfusionista del Hospital Italiano de Buenos Aires - Argentina. Perfusionista en Instituto del Corazón en Bucaramanga. Bucaramanga-Colombia.

⁴Enfermero Universitario, Perfusionista, Especialista en Cardiología Infantil. Especialista en Soporte Extracorpóreo. Servicio de Cirugía Cardíaca Congénito. Hospital Roberto del Río. Santiago de Chile. Chile.

⁵Enfermera de Universidad de Antioquia. Especialista en Cuidado Crítico del Adulto. Universidad de Antioquia. Especialista en Perfusión y Circulación Extracorpórea del CES, Medellín-Colombia. Perfusionista Clínica CardioVid. Medellín-Colombia.ww

RESUMEN

En el marco de la misión de la Asociación de Perfusionistas de Latinoamérica ALAP, el impulsar la educación continua, el mejoramiento profesional y gremial de los perfusionistas latinoamericanos, para alcanzar y mantener los más altos estándares de seguridad y calidad en la atención de nuestros pacientes, se presenta el siguiente Referente en el manejo de la Circulación Extracorpórea en pediatría.

Estos referentes por parte de ALAP ofrece una serie de pautas de manejo a los perfusionistas tanto en lo teórico como en lo práctico, con el fin de brindar atención basada en la mejor evidencia encontrada a la fecha, incluyendo en algunas técnicas la recomendación por expertos. Se espera, que con estos referentes se facilite la toma de decisiones por parte de los perfusionistas.

El presente documento está constituido por tres grandes capítulos, a saber: el primero de ellos denominado “Sustento teórico de la práctica de perfusión pediátrica”, el cual compila la evidencia y recomendaciones a la fecha en el marco de la perfusión dirigida por objetivos, los estándares de la perfusión y recomendaciones por expertos en aspectos de: Gestión de gases en CEC; Gestión de líquidos, circuitos y manejo de sangre durante CEC; entre otros, temas que de una u otra manera afectan los resultados en el niño sometido a una cirugía cardíaca con CEC.

El segundo capítulo designado “De la teoría a la práctica de perfusión pediátrica” consta de una serie de tablas, gráficos y algoritmos referenciados, de aplicabilidad en la práctica clínica.

En el tercer capítulo titulado “Indicadores de calidad para evaluar y controlar el proceso de la CEC pediátrica”, se sugieren algunos indicadores operacionales, simplemente con el fin de medir y por ende analizar para implementar mejoras en el proceso de atención a un niño que requiere de CEC.

Palabras clave: Circulación extracorpórea. Perfusión pediátrica, calidad en perfusión. Estándar de práctica clínica. Abstract

ABSTRACT

We present the following reference in the management of Extracorporeal Circulation in pediatrics to reinforce the mission of Latin America Perfusionists Association (ALAP) to promote continuous education, professional union improvement of Latin American perfusionists, to achieve and maintain the highest standards of safety and quality care of our patients.

These references by ALAP offer a series of management guidelines to perfusionists both theoretically and practically, to provide care based on the best evidence found to date, including in some techniques the recommendation by experts. It is hoped that these references will facilitate decision-making by perfusionists.

This document is made up of three main chapters: “Theoretical support of the practice of pediatric perfusion”, which compiles the evidence and recommendations to date related to goal-directed perfusion, the standards of perfusion and recommendations by experts in aspects of: Gas management in CEC; Fluid management, circuits, and blood handling during CPB; among others, issues that in one way or another affect the results of pediatric cardiac surgery with CPB.

The second chapter, entitled “Pediatric Perfusion from Theory to Practice,” consists of a series of tables, graphs, and referenced algorithms, of applicability in clinical practice.

In the third chapter, entitled “Quality indicators to evaluate and control the pediatric CPB process”, some operational indicators are suggested, simply for the purpose of measuring and therefore analyzing to implement improvements in the care process for a child who requires CPB.

Key words: Extracorporeal circulation. Pediatric perfusion, quality of infusion. Standard of clinical practice.

INTRODUCCIÓN

La seguridad clínica es un tema que sin lugar a dudas va unido al diario que hacer de varias profesiones, es así, que para los perfusionistas pediátricos es un pilar básico y más aún en el contexto actual donde los avances de la ciencia, permiten la innovación en técnicas quirúrgicas cardíacas cada vez más precoces y complejas, en conjunto con la circulación extracorpórea.

En el marco de la misión de la Asociación de Perfusionistas de Latinoamérica ALAP, el impulsar la educación continua, el mejoramiento profesional y gremial de los perfusionistas latinoamericanos, para alcanzar y mantener los más altos estándares de seguridad y calidad en la atención de nuestros pacientes, se presenta el siguiente Referente en el manejo de la Circulación Extracorpórea en pediatría.

Estos referentes por parte de ALAP ofrece una serie de pautas de manejo a los perfusionistas tanto en lo teórico como en lo práctico, con el fin de brindar atención basada en la mejor evidencia encontrada a la fecha, incluyendo en algunas técnicas la recomendación por expertos, debido a la falta de literatura disponible específica en pediatría secundario a limitaciones en el tamaño de la muestra, técnicas variables entre los perfusionistas congénitos, entre otras.

Se espera, que con estos referentes se facilite la toma de decisiones por parte de los perfusionistas y por ende se logren minimizar riesgos, mejorar los resultados clínicos en los pacientes e invitarlos a desarrollar investigación propia y colaborativa de perfusión pediátrica, lo cual beneficiaría el encontrar la evidencia clínica faltante.

Este documento se construyó luego de una revisión exhaustiva de estándares, guías, editoriales y actualizaciones de diferentes sociedades de profesionales del área de cirugía cardíaca. Referencia obligatoria, es la brindada por la American Society of ExtraCorporeal Technology (AmSECT), quienes publicaron los Estándares y pautas para la práctica de perfusión pediátrica y congénita en 2019.¹ Estos estándares fueron creados como una lista de verificación, que simplemente son considerados como los requisitos mínimos para una circulación extracorpórea segura. No obstante, pueden ser reemplazadas por el criterio del profesional teniendo en cuenta circunstancias del paciente en particular.

Es de resaltar el aporte que realiza los denominados Programas de recuperación mejorada ERPs (Enhanced

Recovery Programs),² los cuales desean facilitar el retorno de la persona a su funcionalidad lo más normal posible con un abordaje integral, es decir, aplicando un enfoque multidisciplinario para lograr la optimización en las diferentes áreas como educación desde la fase pre quirúrgica al niño y su cuidador, el patrón nutricional, abordaje multimodal del dolor, prevención del delirium, entre otras, impactando en la reducción de la estancia hospitalaria versus rentabilidad y principalmente mejorando la experiencia del paciente y su cuidador durante esta etapa perioperatoria.

El manejo del *bypass* cardiopulmonar o circulación extracorpórea del niño (neonato, infante y pediátrico) es retardadora por la inmadurez, complejidad anatómica y tamaño de los niños. Si bien es cierto los múltiples avances en esta área de perfusión extracorpórea, aún existen muchos campos por investigar para obtener la evidencia robusta.

El presente documento está constituido por tres grandes capítulos, a saber: el primero de ellos denominado “Sustento teórico de la práctica de perfusión pediátrica”, el cual compila la evidencia y recomendaciones a la fecha en el marco de la perfusión dirigida por objetivos, los estándares de la perfusión y recomendaciones por expertos en aspectos de: Gestión de gases en CEC; Gestión de líquidos, circuitos y manejo de sangre durante CEC; Gestión para el manejo de las variables fisiológicas en CEC; Gestión de la anticoagulación en CEC y reversión de la anticoagulación; Gestión en la protección miocárdica durante CEC; Gestión en la monitorización neurológica central y somática durante CEC; Gestión en la introducción de avances tecnológicos en CEC, temas que de una u otra manera afectan los resultados en el niño sometido a una cirugía cardíaca con CEC.

El segundo capítulo designado “De la teoría a la práctica de perfusión pediátrica” consta de una serie de tablas, gráficos y algoritmos referenciados, con el fin de facilitar al perfusionista la toma de decisiones en el diario que hacer durante una CEC, al momento de, seleccionar un oxigenador o membrana, construir un circuito, definir una cánula, etc.

En el tercer capítulo titulado “Indicadores de calidad para evaluar y controlar el proceso de la CEC pediátrica”, se sugieren algunos indicadores operacionales, simplemente con el fin de medir y por ende analizar para implementar mejoras en el proceso de atención a un niño que requiere de CEC.

Se destaca que el abordaje del niño (neonato, infante y pediátrico) debe ser individualizado en esta fase perioperatoria, con el fin de obtener el cuidado en salud en forma continua y la respectiva trazabilidad en las oportunidades de mejora. Sin embargo, este documento sólo tendrá el alcance al momento de la Circulación Extracorpórea y pretende únicamente orientar al perfusionista en su toma de decisiones.

Se propone y se invita a la formulación desde el área de calidad en perfusión, el tener indicadores que permitan la medición, análisis y mejoramiento continuo de la práctica clínica, tanto de cada centro asistencial como la posibilidad de referenciación más allá de una competitividad, sino dentro de una evolución en el “aprendizaje colaborativo” hispano, que es parte de la Misión de ALAP

0. ALCANCE

Este documento esta dirigido a perfusionistas y personal de salud pertenecientes al servicio de cirugía cardiaca, cuidado intensivo pediátrico y áreas afines; pretende ser aplica en la población (neonatal, infantil y pediátrica) sometidos a la técnica de circulación extracorpórea en cirugía cardiovascular.

1. DEFINICIONES

Estándar: Hace referencia a una práctica, tecnología y/o conducta de atención en salud que se debe cumplir, por ser requisito.

Deberá: En este documento, la palabra deberá se utiliza para indicar un requisito obligatorio.

Debería: En este documento, la palabra debería se utiliza para indicar una recomendación.

Directriz: Recomendación que debe considerarse y puede ayudar en el desarrollo e implementación de protocolos.

2. OBJETIVO GENERAL

Ofrecer al perfusionista del área pediátrica una guía referente de trabajo en los principales aspectos teóricos y técnicos durante la circulación extracorpórea basados en la evidencia científica disponible a la fecha, con la intención de mejorar los resultados clínicos en la atención prestada a la población pediátrica llevada a cirugía cardiaca.

3. DESARROLLO

Se organizó el presente documento reconociendo que los resultados en los niños con cardiopatías después de una circu-

lación extracorpórea (CEC) son multifactoriales y por ello se resalta la intervención del perfusionista en el intraoperatorio de manera integral.

Directrices de expertos basadas en evidencias para una adecuada aplicación que se menciona en los Programas de Recuperación Mejorada ERPs (Enhanced recovery programs)² en niños sometidos a cirugía de corazón congénito con el fin de alcanzar un éxito perioperatorio, enfatizan en la fase quirúrgica, donde la calidad de la reparación quirúrgica sea alta, evitando lesiones residuales significativas, con una estabilidad hemodinámica; optimización en el manejo de hemocomponentes acompañado de una hemostasis meticulosa, mantener un hematocrito objetivo en la CEC y uso de las diferentes técnicas de ultrafiltración, en especial la modificada (MUF).

3.1 Sustento teórico de la práctica de perfusión pediátrica

Este primer capítulo denominado Sustento teórico de la práctica de perfusión pediátrica, el cual compila la evidencia y recomendaciones a la fecha en el marco de la perfusión dirigida por objetivos, los estándares de la perfusión y recomendaciones por expertos en aspectos de: gestión de gases en CEC; gestión de líquidos, circuitos y manejo de sangre durante CEC; Gestión para el manejo de las variables fisiológicas en CEC; gestión de la anticoagulación en CEC y reversión de la anticoagulación; Gestión en la protección miocárdica durante CEC; Gestión en la monitorización neurológica central y somática durante CEC; Gestión en la introducción de avances tecnológicos en CEC, temas que de una u otra manera afectan los resultados en el niño sometido a una cirugía cardiaca con CEC.

3.1.1 Aportar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de variables fisiológicas en el marco de la perfusión dirigida por objetivos tales como la entrega de O₂, consumo de O₂, extracción de O₂, saturación venosa de O₂, delta de CO₂ y prevención de la injuria renal durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Este objetivo se abordará desde la perspectiva del manejo de las variables fisiológicas en el marco de la perfusión dirigida por objetivos en relación a la Gestión de gases, reconociendo que se complementa con el siguiente capítulo de Gestión de líquidos, circuitos, priming y manejo de la sangre en CEC en pediatría.

Gestión de gases durante CEC.

La terapia dirigida a objetivos implica una monitorización perioperatoria y posoperatoria continua de parámetros clínicos vitales para adaptar la perfusión a las necesidades específicas de cada paciente. Existen numerosos factores durante la CEC como la temperatura, la tasa metabólica, la hemoglobina y la complejidad quirúrgica, los cuales pueden afectar el suministro global de oxígeno. Se suma a ello la heterogeneidad en los pacientes pediátricos (niños ≤ 7 años) quienes se pueden dividir en tres subgrupos: recién nacidos, lactantes y niños en edad preescolar según sus diferentes características fisiológicas.³

Diferentes variables están asociadas como factores causantes durante CEC de injuria renal (IRA), entre estos encontramos la respuesta inflamatoria sistémica, lesión por isquemia/reperfusión, microembolia (gaseosa, ateromas), hipotensión, bajo gasto cardíaco y transfusión de hemocomponentes,⁴ adicional a los efectos “*per se*” del *bypass* cardiopulmonar tanto en el comportamiento del flujo sanguíneo en la microcirculación⁵ y el aporte de oxígeno al riñón. Ranucci y cols⁶ en estudios (retrospectivos) realizados en hipotermia moderada (28-34°C), concluyeron que la saturación venosa de oxígeno (SvO₂) en valores estimados normales (siendo en ese entonces como el “*gold-standard*” en CEC), podría enmascarar periodos de hipoperfusión causando insuficiencia renal por déficit de aporte de oxígeno.

Posteriormente, De Somer y cols⁷ enunciaron la importancia de no solo monitorizar variables de aporte (DO₂) y consumo de oxígeno (VO₂), sino incluir la producción de CO₂, lo cual refleja el inicio del metabolismo anaeróbico y que la relación entre el DO₂/VCO₂ debe ser mayor a 5. Idealmente esta monitorización de variables debe ser en línea durante el *bypass* cardiopulmonar, y que la aplicabilidad de estas directrices es lo que se denomina Goal Directed Perfusion (GDP),⁸ es decir, Perfusión Guiada por Objetivos, con el fin de disminuir la incidencia de AKI tipo I post operatoria asociada a la CEC (sin cambios significativos para AKI tipo II y III). El límite crítico de DO₂ de 280 ml/min/m², fue obtenido en diferentes estudios, como el de Ranucci⁹ y Magruder¹⁰ en pacientes adultos.

En la práctica pediátrica faltan datos que determinen el nivel crítico de oxígeno para prevenir un desajuste entre la oferta y la demanda y, por lo tanto, mitigar la lesión renal aguda (IRA).

Bojan y colaboradores¹¹ establecieron que el DO₂ normo térmico mínimo requerido para mantener el metabolismo aeróbico durante la CEC neonatal es 340 ml/min/m². Este umbral mínimo de DO₂ es más alto que el informado para adultos y niños pequeños durante la CEC, y está de acuerdo con la tasa metabólica más alta conocida de los recién nacidos.

El DO₂ también es un factor de riesgo independiente para el desarrollo de IRA en pacientes pediátricos. Hayward (12) y Zhang (13), establecieron que DO₂<350 ml/min/m² está asociada con lesión renal aguda pos operatoria en la población infantil y pediátrica. La prevención de la IRA *posbypass* es un objetivo importante del equipo de cirugía cardíaca pediátrica en la misión general de lograr que un niño pase de manera segura una cirugía a corazón abierto.

Es de gran importancia tener presente las estrategias normóxica e hiperóxica al manejar la PaO₂ durante CEC, debido a sus ventajas y desventajas, aunque a veces, se realice cruce entre ellas.

La estrategia normóxica radica en mantener la PaO₂ arterial en el rango de 100 a 300 mmHg, mientras que la estrategia hiperóxica establece una PaO₂ mayor a 300mmHg. Esta última se le cuestiona la mayor probabilidad del daño por reperfusión isquémica en el *bypass*, debido a que la lesión ocurre cuando el flujo sanguíneo y el oxígeno se establecen en un lecho de tejido isquémico, porque el aumento repentino de oxígeno en la sangre permite el daño oxidativo secundario a la formación de radicales libres de oxígeno, es decir, ello ocurre solo cuando existe un ambiente hipóxico y ácido. El resultado final, es que los radicales libres saturan o sobre cargan el sistema celular, causando estrés y daño oxidativo. No obstante, Nollert, *et al*, concluyeron a favor de esta estrategia hiperóxica por la disminución de la lesión cerebral hipóxica.¹⁴

Dexter y cols, demostraron que el cerebro utiliza más oxígeno disuelto que el oxígeno unido a la hemoglobina durante la CEC en hipotermia profunda¹⁴ y Perla, *et al*, señalo que una estrategia hiperóxica combinada con el control de gases pH-stat, produce significativamente menos ácido que la estrategia normóxica y alfa-stat, lo que sugiere una mejor atenuación del metabolismo anaeróbico.¹⁴ La lesión cerebral hipóxica está relacionada con varios factores incluyendo el suministro de O₂, uso de oxígeno, hematocrito, temperatura, densidad capilar perfundida, flujo sanguíneo cerebral y PaO₂.

Tener presente en la estrategia que se escoja para oxigenar, lo relacionado con los eventos microembólicos en el *bypass*, debido que, a pesar de tener filtro integrado o

anexo al circuito, se evidencia entrega de micro émbolos al paciente,¹⁵ derivados del aire en la línea venosa, a altas concentraciones de FiO₂ y las propias características del oxigenador microporoso.

Las estrategias de gestión de gases en sangre son cada vez más importantes. Existe poca discrepancia en el manejo del CO₂ a temperaturas superiores a 30°C, se encuentran diferencias a medida que se acerca a una hipotermia profunda.

En el alfa-stat el objetivo es mantener un pH en sangre arterial de 7.4 y PCO₂ entre 35 y 40 mmHg con mediciones a 37°C. Esta estrategia optimiza la actividad celular enzimática, conserva la ionización de los grupos imidazol en proteínas intracelulares y la neutralidad electroquímica, de igual manera permite mayor alcalinidad durante la hipotermia, lo cual preserva la autorregulación del flujo sanguíneo cerebral y es protectora durante periodos de isquemia. Se denomina comúnmente como gases no corregidos con la temperatura. Por otro lado, la meta del pH stat es mantener un pH en sangre arterial de 7,4 y PCO₂ de 40 mmHg con la temperatura actual del paciente y con adición de CO₂ durante el enfriamiento, por incremento de la solubilidad de este gas en hipotermia. En adición la curva de disociación del oxígeno se desvía a la derecha.¹⁶

El deber ser al realizar la estrategia pH-Stat es proporcionar CO₂ entre 2%-10% como forma segura en un control de gases en sangre, con la adecuada configuración para el blender y el caudalímetro del CO₂.

Los pacientes de cirugía cardíaca congénita tienen más probabilidades de sufrir secuelas relacionadas con el enfriamiento desigual del cerebro y el suministro inadecuado de oxígeno. Por estas razones, pH-stat es la estrategia de elección en la gestión de gases en pacientes con cardiopatía congénita, debido a que se optimiza el flujo sanguíneo cerebral.

Puntos claves:

Se debe monitorizar gases en forma continua tanto PaO₂ y PCO₂, con los resultados calculados, para fundamentar las decisiones según la temperatura y el flujo de la bomba que se esté administrando.

Los argumentos sobre la estrategia de oxigenación de los pacientes con defectos cardíacos congénitos se centran en prevenir la toxicidad del oxígeno, limitando la lesión por reperfusión secundario a la formación de

radicales libres de oxígeno, maximizando suministro de oxígeno (especialmente durante la hipotermia) y con eso, minimizando el potencial de lesión cerebral hipóxica.¹⁴

La evidencia y la investigación actual respaldan la hiperoxia durante el bypass cardiopulmonar para evitar un inadecuado suministro de oxígeno independientemente de que se utilice paro circulatorio o no.^{14, 15}

TABLA 1. VALORES OBJETIVO DURANTE CEC EN PEDIATRÍA.

Parámetro	Niño con cardiopatía cianótica	Niño sin cardiopatía cianótica	Observación
DO ₂	≥350 ml/min/m ²	≥350 ml/min/m ²	Según la temperatura
DO ₂ /VCO ₂ SvO ₂	Mayor a 5 65-75%	Mayor a 5 65-75%	Según hemoglobina y flujo sanguíneo (GC)
PaO ₂	100-250 mmHg	150-250 mmHg	Estrategia normóxica PaO ₂ : 100-300 mmHg Estrategia hiperóxica: PaO ₂ mayor a 300 mmHg ¹⁴
PCO ₂	35-45 mmHg	35-45 mmHg	Según las condiciones basales del niño, lo que se requiera corregir debe ser lentamente, para respetar los mecanismos de autorregulación cerebral.
Hematocrito	Mayor a 40%	30-35%	Individualizar, por ejemplo, en los neonatos con hipoplasia del VIZq se sugiere mantener el hematocrito mayor a 40%.
pH-stat	En los casos que requiera enfriamiento moderado a severo	En los casos que requiera enfriamiento moderado a severo	Enfriamiento, en especial al disminuir los 30°C
Alfa-stat	Sugerido en normotermia e hipotermia leve	Sugerido en normotermia e hipotermia leve	De acuerdo, al protocolo institucional

Fuente: Recomendación de expertos. Autores del presente documento. ALAP. 2024

NOTA: siempre individualizar el caso, son únicamente parámetros que guían los objetivos a mantener, según la temperatura y el procedimiento quirúrgico a realizar.

REFERENTE
Estándar 7: Monitoreo/Estándar 9: Intercambio de gases
Norma 9.4: El uso de CO ₂ suplementario y un micro regulador deben estar disponibles para optimizar la gestión de gases en sangre. Para compensar los efectos adversos de la hipocapnia (principalmente una reducción en el flujo sanguíneo cerebral), así como ayudar con el uso frecuente de técnicas de control de gases en sangre pH-stat durante la hipotermia, se debe disponer de CO ₂ exógeno.
Estándar 7.7: Durante la CEC, se debe usar monitoreo continuo de gases en sangre.
Directriz 7.1: La eliminación de dióxido de carbono debe monitorearse continuamente durante la CEC.
Directriz 7.2: La saturación arterial de oxígeno debe controlarse continuamente durante la CEC.
Directriz 7.4: Se debe utilizar la monitorización continua de gases en sangre en línea durante la CEC.
Estándar 7.10: La saturación de oxígeno venoso se controlará continuamente durante la CEC.
Estándar 7.12: La oximetría cerebral debe ser monitoreada durante la CEC. La monitorización continua de gases en sangre y el uso de oximetría cerebral son pautas previas que fueron elevadas a estándares en el documento pediátrico y congénito. Si bien la evidencia de mejores resultados en la literatura para justificar esta elevación en el estado puede no ser abrumadora, los autores sintieron que, en el ámbito de la seguridad, a través de la identificación temprana de problemas, la prevención de eventos adversos y la consistencia en la atención brindada, estaba justificado.
Estándar 7.13: El flujo de sangre arterial debe monitorearse continuamente en un punto del circuito de CEC donde refleje con precisión el flujo administrado al paciente durante la CEC (derivaciones distales a dentro del circuito). ^{14, 15} En el circuito: Estándar 12, la disponibilidad de una sonda de flujo arterial distal ofrece una mayor precisión de atención a pacientes neonatales y pediátricos.
Estándar 9: Intercambio De Gases
Estándar 9.1: Se deberá mantener el intercambio de gases durante la circulación extracorpórea (CEC) según protocolo, contabilizando: <ul style="list-style-type: none"> Las características individuales del paciente/perfil de riesgo. Tipo de oxigenador, diseño e instrucciones de uso. Flujo sanguíneo, temperatura y demanda metabólica.
Norma 9.2: Los dispositivos utilizados para medir el intercambio de gases deberán calibrarse de acuerdo con las instrucciones de uso del fabricante.
Estándar 9.3: Los análisis de gases en sangre se realizarán y registrarán de acuerdo con el protocolo.
Directriz 9.1: Se deben considerar las pruebas en el lugar de atención para proporcionar información precisa y oportuna, prioritariamente la información de análisis sanguíneos.
Directriz 9.2: Se deben utilizar cálculos de suministro y consumo de oxígeno para evaluar y optimizar el intercambio de gases.

Fuente(17) Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

3.1.2 Suministrar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo del primado o cebado, la hemodilución, y los circuitos durante la circulación extracorpórea en pediatría. Gestión de líquidos, circuitos y manejo de la sangre durante CEC.

Los patrones regionales de práctica en bypass cardiopulmonar siguen siendo poco comprendidos, con evidencia contradictoria con respecto a las mejores opciones en las preferencias de cebado de la bomba con respecto a coloides, cristaloides y diferentes tipos de fluidos dentro de estas categorías que actualmente se denominan soluciones balanceadas.

La composición principal del circuito debe ser muy similar al contenido vascular, es decir, debe tener características comparativamente significativas al volumen total de sangre circulante de un niño. Por ende, debe ser muy estricto el priming o cebado en un neonato debido a que su impacto será mayor versus que un niño infante o pediátrico.

En los Estándares de la AmSECT¹⁷ es mandatorio medir los niveles de electrolitos y gases en sangre del priming del circuito extracorpóreo antes de iniciar la perfusión, se usa como una forma de protección contra el error humano que puede existir incluso en presencia de protocolos escritos. Esta medición permitirá identificar y corregir potenciales anomalías fisiológicas. Además, se entiende que la definición de "fisiológico" puede variar entre pacientes de distintos tamaños, valores de hemoglobina preoperatorio y situaciones clínicas.¹⁷

REFERENTE
Estándar 13: El perfusionista deberá considerar el impacto del cebado sobre el volumen circulante del paciente pediátrico y su efecto en los niveles de electrolitos, la presión coloidosmótica y la coagulación.
Estándar 13.2: Cuando se purga con sangre exógena se deben obtener niveles de gases y electrolitos antes de iniciar el bypass y realizar ajustes para corregir cualquier anomalía fisiológica.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938 <https://www.amssect.org/policy-practice/amssects-standards-and-guidelines>

Para contribuir al balance de este priming u optimización de la composición principal, la ultrafiltración previa al bypass (preBUF) o el lavado de glóbulos rojos son pautas que se utilizan durante los procedimientos de preparación para obtener niveles más fisiológicos de glicemia, potasio y sodio en comparación con la sangre almacenada en un banco.¹⁸

Soluciones balanceadas

Una solución ideal para el primado de la CEC, que contenga todo lo que el paciente pediátrico necesita para mantener el equilibrio metabólico y hemostático, no existe, por lo cual el perfusionista debe adicionar al sistema diferentes componentes para lograr lo que hoy se conoce como soluciones balanceadas.

Diferentes estudios han indicado que la principal causa de coagulopatía y sangrado durante y después de la cirugía cardíaca con CEC, es el uso de diferentes soluciones para la preparación de este sistema. En algunos casos, estas soluciones pueden provocar incluso una reducción del 35% en las proteínas de la coagulación y los factores fibrinolíticos en los pacientes.¹⁸

El uso de solución salina isotónica en el volumen del cebado ha evidenciado que induce un estado hiperclorémico asociado con un mayor riesgo de lesión renal aguda (IRA). De allí, que se vienen usando soluciones fisiológicas con o sin adición de coloides como la albúmina.

Las soluciones balanceadas son aquellas que se asemejan al pH y la osmolalidad del plasma humano con diferentes concentraciones de electrolitos, incluidos calcio, magnesio y potasio. Ninguna de estas soluciones coincide exactamente con la del plasma humano y sus efectos comparativos sobre los resultados clínicos siguen siendo en gran medida desconocidos. Se han llevado a cabo algunos estudios en el escenario del cuidado crítico, con este tipo de soluciones encontrando que la administración de Plasmalyte produce concentraciones séricas más bajas de cloruro, lactato y un mayor exceso de bases que otros cristaloides equilibrados, aunque faltan estudios en bypass pediátrico.¹⁹

Un inconveniente importante de las soluciones cristaloides, es la falta de actividad oncótica, lo cual puede provocar el desarrollo de edema intersticial y un equilibrio de líquidos positivo. Los pacientes neonatales y pediátricos que requieren corrección quirúrgica de malformaciones cardíacas congénitas complejas presentan una presión oncótica (COP) inicial extremadamente baja, comparable al de otras poblaciones neonatales enfermas. La COP inicial se correlaciona significativamente con las tasas de supervivencia y el tiempo de permanencia en un ventilador mecánico.^{20, 21}

Es de destacar, que el uso de soluciones hiperosmolares puede resultar en una elevación dramática e instantánea de la osmolalidad plasmática. Los cambios rápidos en la osmolalidad plasmática se asocian con disfunción orgánica (p. ej., síndrome de desmielinización osmótica); por lo tanto, se deben reconocer los efectos de estas soluciones al ser usadas en la composición

de la purga de CEC.²² El mantenimiento de la presión oncótica durante el bypass normalmente se logra añadiendo al volumen de cebado: albúmina, plasma fresco congelado o un coloide sintético.

Cebado sanguíneo

Un componente del primado en CEC pediátrico, son los glóbulos rojos homólogos empaquetados (GRE), puesto que el paciente pediátrico una vez entra en contacto con la CEC, sufre una hemodilución extrema. Desde hace algunas décadas se han venido investigado los circuitos miniaturizados, es decir aquellos que requieren bajo volumen de cebado (aproximadamente de 140 ml) e incluso la literatura a descrito las técnicas de primado sin sangre para pacientes neonatales y se reconoce que los factores limitantes de la cirugía cardíaca sin sangre no son el hematocrito preoperatorio y la complejidad del procedimiento quirúrgico, sino el tiempo de CEC y el peso corporal del paciente²²

Las soluciones de cebado a base de sangre, son aquellas que incluyen sangre entera, y/o concentrados de glóbulos rojos empaquetados (GRE) y GRE más plasma fresco congelado (PFC). Este tipo de purgas se indica, cuando el paciente tiene un peso corporal bajo o un hematocrito pre CEC inadecuado, que resultará en un hematocrito estimado bajo durante la CEC, producto de la hemodilución. Ahora bien, los principales riesgos del uso de sangre en la solución de cebado incluyen infecciones, reacciones transfusionales, inmunosupresión, aloinmunización, entre otras.

Por otro lado, el uso de glóbulos rojos almacenados durante más de cuatro días usados, en el cebado del circuito de CEC, tienen cambios físicos y bioquímicos, que incluyen el agotamiento de 2,3-difosfoglicerato, formación de citoquinas pro inflamatorias, una disminución en la deformabilidad globular, un aumento en la adhesividad y agregabilidad de los mismos, lo cual está asociado con un riesgo significativamente mayor de morbilidades en los niños, en especial complicaciones pulmonares.^{24, 25}

En los recién nacidos, la hemoglobina fetal, está presente en grandes cantidades, en conjunto con la disminución de los niveles de 2,3-DPG en los glóbulos rojos contribuye al desplazamiento de la curva hacia la izquierda.²⁶ El nivel de 2,3-DPG está disminuido en la sangre y glóbulos rojos transfundidos en el primado.

Por lo tanto, la sangre o los GRE utilizados en el mediante cebado en la CEC para los recién nacidos y lactantes exacerba aún más la desviación hacia la izquierda. Es así, que algunos grupos quirúrgicos sugieren lavar los glóbulos rojos previamente con el salvador de células antes de ser incorporados al primado de los niños. (Recomendación de expertos)²⁷

Uno de los componentes más empleados para el primado de la CEC, es el plasma fresco (PFC). Frente a su uso, hay controversia, puesto que algunos estudios han descrito que agregar PFC en la etapa de preparación de la CEC, reduciría la hipo fibrinogenemia y se demostró que la coagulopatía por dilución más importante después de la cirugía con el empleo de la CEC es el nivel de fibrinógeno bajo y el uso de PFC puede reducir su incidencia hasta 24 horas después del procedimiento quirúrgico.

Otra bondad, del priming con PFC, es que favorece el mantenimiento de la resistencia a los coágulos y mejora los factores de coagulación. Sin embargo, un estudio realizado por Dieu et al, demostró que el primado con cristaloides y sangre, no representa mayor riesgo de sangrado o mayor requerimiento de empleo de otros productos sanguíneos comparado con aquellos circuitos en los cuales se adicionó PFC en el primado del sistema de CEC (28).

Como consecuencia del uso de productos sanguíneos en el cebado de la CEC, alteran el estado ácido-base, los electrolitos, el equilibrio de líquidos, la oxigenación y la hemodinámica del paciente, por ende, se hace importante, mantener un perfil fisiológico normal durante el transcurso de la CEC para el resultado en el paciente (29).

Establecer un estándar para una preparación sanguínea de CEC segura y adecuada es un componente importante de ese proceso. Los protocolos institucionales establecen la conducta del CPB, que incluye ajustar los componentes principales dentro de normalidad.

Estudios avalan la realización de la ultrafiltración al cebado con sangre de los niños llevados a cirugía cardíaca, demostrando reducciones significativas en la pérdida de sangre posoperatoria, la transfusión de sangre, el tiempo de extubación, la duración de la estancia en la UCI, los niveles de lactato, sodio y nitrógeno ureico del postoperatorio de estos pacientes, al disminuir las citoquinas pro inflamatorias y la carga metabólica del primado.^{30, 31}

De igual manera, se ha logrado establecer beneficio en evaluar la calidad del priming antes de iniciar el bypass, a través de un perfil de gases del volumen del cebado, que permita detectar anomalías ácido-base o electrolíticas y realizar intervenciones correctivas que favorezcan un cebado confiable y seguro para el paciente.

Puntos clave:

A continuación, se propone un esquema de primado que concuerda con ciertas instituciones referentes de cirugía cardíaca pediátrica y también con algunos protocolos que se encuentran en la literatura.^{32, 33}

TABLA 2. PROPUESTA DEL PASO A PASO EN EL PRIMADO DE UN CIRCUITO*	
Primado de un circuito de CEC	
1.	Una vez ensamblado todo el circuito, purgar con CO ₂ a 5 lpm durante 5 minutos.
2.	Programar el blender de acuerdo a la relación O ₂ , CO ₂ , FiO ₂ que se tenga establecido.
3.	Instalar el intercambiador de calor y verificar la integridad de la membrana.
4.	Administrar 500 cc de solución cristaloides (multielectrolitos o plasmalyte), recircular y filtrar hasta un nivel de reservorio dinámico (algunos estudios lo consideran 30 ml y otros 75 ml).
5.	Incorporar el volumen de glóbulos rojos y PFC, continuar recirculando.
6.	Filtrar hasta un volumen de 250 ml en el reservorio (Primer lavado). Depende del oxigenador
7.	Adicionar 250 ml de cristaloides para continuar con el segundo lavado.
8.	Sí, los glóbulos rojos presentan un tiempo de almacenamiento prolongado, el sistema podrá requerir un tercer lavado.
9.	Obtener un volumen de reservorio de 150 ml y adicionar los siguientes componentes: <ul style="list-style-type: none"> • Solución Salina al 0.45% (entre 60-100 ml dependiendo si es un paciente neonatal o pediátrico). • Bicarbonato de Sodio: 15-20 meq. • Heparina: según protocolo institucional. • Gluconato de Calcio: 600 mgrs, hasta alcanzar niveles fisiológicos, si aplica. • Sulfato Magnesio, es opcional.
10.	Recircular todo el volumen de cebado obtenido durante 5 minutos y una vez cumplido ese tiempo, realizar toma de muestra del primado, para evaluar: ACT, Bicarbonato, Gases arteriales, Hemoglobina, Hematocrito, Electrolitos sericos (sodio, potasio, cloro, calcio), lactato y glucometría.
11.	Con los resultados de laboratorio obtenidos, se harán los ajustes necesarios, para que cada uno de estos parámetros se encuentren en rangos de normalidad.
Nota: Para el paciente neonatal de cirugía compleja, se puede extraer 10-15 cc/kg del volumen de PFC para ser empleado en la fase del calentamiento, ya que estudios han demostrado su impacto positivo si se administra antes de la toma del ROTEM.	

* (ajustar según características del oxigenador, circuito y variables clínicas del paciente).

Fuente: Recomendación de expertos. Autores del presente documento. ALAP. 2024

Lineamientos en relación al hematocrito mínimo aceptable en CEC pediátrica.

Para proporcionar un suministro más fisiológico de sangre oxigenada a los órganos vitales, se realizó un estudio en un centro que ha estado utilizando con éxito una estrategia de derivación cardiopulmonar de alto flujo y alto hematocrito desde 2006. Los componentes esenciales de esta estrategia incluyen mantener flujos altos (consultar **Tabla 25**. Flujo sanguíneo estimado para CEC a 37 °C) durante la duración de la circulación extracorpórea independientemente de la temperatura del paciente, además de mantener un hematocrito de al menos 32% en *bypass*. La incidencia de lesión renal aguda posoperatoria fue alrededor del 3% y los eventos neurológicos clínicos agudos <1%, siendo resultados inferiores versus otras publicaciones contemporáneas que utilizan la estrategia de derivación cardiopulmonar convencional.³⁴

REFERENTE
<p>Estándar 7.7: El hematocrito (o hemoglobina) se controlará continuamente durante la CEC.</p>
<p>Estándar 15: Manejo de la sangre: El perfusionista deberá participar en los esfuerzos para minimizar la hemodilución y evitar transfusiones de sangre innecesarias.</p> <ul style="list-style-type: none"> El perfusionista deberá minimizar el tamaño del circuito de CEC para reducir el volumen de cebado de los circuitos. El perfusionista deberá calcular y comunicar al equipo quirúrgico antes de iniciar la CEC, la hemoglobina o el hematocrito pos dilucional previstos del paciente. Hematocrito mínimo: Según el estado de la fisiopatología cianósante o no, la corrección quirúrgica a realizar con CEC y las normas institucionales. Exposiciones del donante/edad de la sangre transfundida: Se prefiere que sean hemocomponentes provenientes de monodonantes, leucorreducidas y con el menor tiempo posible de extracción.
<p>Directriz 15.1: Los esfuerzos de gestión de la sangre deben incluir lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Participación en un equipo multidisciplinario de manejo de sangre. Minimizar la hemodilución mediante: ver Estándar 12 Circuitos. Evaluar posibilidad de realizar (según condiciones clínicas del niño, recursos locales y experiencia de los perfusionistas): Cebado autólogo del circuito en CEC, incluidos los arteriales y venosos retrógrados. Recubrimiento biocompatible en la superficie de todos los componentes de la CEC. Recuperación y reinfusión de células sanguíneas perioperatorias después de ser procesadas adecuadamente. Recuperación de sangre del circuito CEC al final del procedimiento.
<p>Directriz 15.2: Se debe utilizar la monitorización de la hemostasia en el lugar de atención para minimizar la pérdida de sangre. El seguimiento puede incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ratio normalizado internacional Tiempo parcial de tromboplastina. Tiempo de trombina. Tromboelastografía/Tromboelastometría. Recuento de plaquetas. Análisis de la función plaquetaria.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938 <https://www.amsect.org/policy-practice/amsects-standards-and-guidelines>

Reagor *et al*,³⁵ también sugirieron que se puede simplemente aumentar el flujo para optimizar el suministro de oxígeno en lugar de aumentar el hematocrito. Asimismo, un mayor suministro de oxígeno en la CEC puede reducir la lesión renal aguda. Para ello emplearon 2 estrategias de perfusión, en una se utiliza un índice cardíaco (IC) objetivo de 2,4 L/min/m² y un hematocrito nadir del 28 % y en la otra un IC de 3,0 L/min/m² con un hematocrito nadir del 25 %. Hubo una tasa más baja y estadísticamente significativa de IRA en cualquier estadio (p = 0,03) para el grupo de la estrategia 2 en comparación con la estrategia uno.

Es importante, tener en cuenta que los pacientes de cirugía cardíaca pediátrica pueden variar desde recién nacidos hasta adolescentes, con defectos cardíacos cianóticos o

no cianóticos, con concentraciones basales variables de hemoglobina (Hb) y niveles de ferritina. Al igual que las características de los pacientes pediátricos, los valores óptimos de Hb preoperatoria para cirugía cardíaca pediátrica son inciertos, especialmente para niños menores de 6 meses o para aquellos con cianosis crónica.

De la misma forma, hay pocos datos sobre la relación entre la anemia preoperatoria con la morbimortalidad en recién nacidos y niños sometidos a cirugía cardíaca.

La utilidad del hierro y el uso de la eritropoyetina en el preoperatorio, en cirugía cardíaca pediátrica se ha estudiado poco. La Network for the Advancement of Patient Blood Management, Haemostasis and Thrombosis (NATA)^{36,37} ha proporcionado una serie de recomendaciones sobre el manejo de la anemia y las prácticas de transfusión de sangre en la atención perioperatoria de recién nacidos y niños sometidos a cirugía cardíaca.

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Los autores recomiendan el diagnóstico y tratamiento de la anemia por deficiencia de hierro preoperatoria con hierro oral o intravenoso en pacientes pediátricos de cirugía cardíaca.	Grado IC
Los autores sugieren considerar la eritropoyetina preoperatoria (EPO) sólo en situaciones de necesidad específicas (p. ej., testigos de Jehová).	Grado IIC
Los autores recomiendan la administración profiláctica de análogos de lisina (ya sea TXA o EACA) para todos los recién nacidos y niños sometidos a cirugía con CEC para reducir el sangrado perioperatorio y la transfusión.	Grado IB
Los autores desaconsejan la administración de dosis altas de análogos de lisina (ya sea TXA o EACA) debido al riesgo de convulsiones clínicas.	Grado IC
Se deben preferir los análogos de lisina (ya sea TXA o EACA) a la aprotinina en recién nacidos y niños sometidos a cirugía cardíaca con CEC.	Grado IIC
Los autores recomiendan la implementación de CEC miniaturizada para recién nacidos y lactantes con el fin de reducir los efectos de la hemodilución y la probabilidad de transfusión.	Grado IC
Los autores sugieren la adición de glóbulos rojos para mantener un hematocrito >24% durante la CEC basándose en la estimación del grado de hemodilución relacionada con la CEC y la cardioplegia.	Grado IIC

(36)David Faraoni, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036>.

La Society of Thoracic Surgeons (STS), la Society of Cardiovascular Anesthesiologists (SCA), la American Society of ExtraCorporeal Technology (AmSECT)¹ y la Society for the Advancement of Patient Blood Management (SABM),³⁷ realizaron una actualización de las Guías de práctica clínica para la conservación de la sangre en el año 2021. En ellas citan recomendaciones importantes sobre un enfoque multimodal, multidisciplinario y basado en evidencia para conservar los recursos sanguíneos, optimizar los resultados en pacientes con alto riesgo de transfusión y brindan las guías de manejo específicas de la sangre en neonatos y niños sometidos a cirugía cardíaca.

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Se debe realizar la identificación preoperatoria de los pacientes de alto riesgo y se deben tomar todas las medidas perioperatorias disponibles de conservación de sangre en este grupo, ya que representan la mayoría de los productos sanguíneos transfundidos.	Clase I, Nivel A
Cuando se necesite una transfusión de sangre alogénica, es razonable utilizar sangre de donante leucorreducida, sí está disponible.	Clase IIA, Nivel B

(37)Tibi, P., McClure, R. S., Huang, J., Baker, R. A., Fitzgerald, D., Mazer, C. D., Stone, M., Chu, D., Stammers, A. H., Dickinson, T., Shore-Lesserson, L., Ferraris, V., Firestone, S., Kissoon, K., & Moffatt-Bruce, S. (2021). STS/SCA/AmSECT/SABM Update to the Clinical Practice Guidelines on Patient Blood Management. The Annals of thoracic surgery, 112(3), 981-1004. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.03.033>

Por otro lado, algunos estudios encontraron, que pacientes menores de 10 kgs, con patologías cianosantes se benefician de la administración de PFC en el volumen del cebado, ya que mantiene los niveles de presión oncótica, disminuye la hemodilución de los factores de coagulación solubles y conserva los niveles de fibrinógeno en el pos operatorio, aunque no se encontraron diferencias en términos de sangrado, transfusiones u otros resultados. La adición del PFC se sugiere durante el calentamiento en CEC (34°C o más) (38).

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Los autores sugieren agregar PFC a la preparación de la CEC en recién nacidos (<30 días) sometidos a cirugía cardíaca con circulación extracorpórea (Grado 2C). Debido a la ausencia de evidencia, los autores no pueden hacer una recomendación con respecto a la adición de PFC en bebés y niños (C).	Grado 2 C

(36)Faraoni, David, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036>.

La Iniciativa de Experiencia en Anemia y Transfusiones de Cuidados Intensivos Pediátricos,³⁹ reunieron a 38 expertos internacionales en el manejo de transfusiones de glóbulos

rojos en niños críticamente enfermos. Se reunieron a lo largo de dos años para desarrollar recomendaciones basadas en evidencia, las cuales fueron calificadas por el panel utilizando el Método de idoneidad de Investigación y Desarrollo/UCLA.

Todas las recomendaciones llegaron a un acuerdo (>80%). De esta forma presentaron las recomendaciones y la literatura de respaldo para las transfusiones de glóbulos rojos en niños críticamente enfermos con cardiopatías adquiridas y congénitas.

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Preoperatorio	
En niños con enfermedad con disfunción ventricular derecha o izquierda documentada (adquirida o congénita), hay evidencia insuficiente para apoyar la transfusión dirigida a una concentración específica de hemoglobina (Hb). Además, no hay evidencia de que la transfusión sea beneficiosa para un nivel de Hb>10 g/dl.	Recomendación de expertos. Experiencia del panel de consenso, 83% de acuerdo (n = 35), mediana 8, RIQ 7,25-8,75.
En lactantes y niños hemodinámicamente estables y críticamente enfermos con enfermedad cardíaca no corregida, se recomienda la transfusión de glóbulos rojos para mantener una concentración de Hb de al menos 7,0 a 9,0 g/dl dependiendo del grado de reserva cardiopulmonar.	Recomendación débil, evidencia pediátrica de baja calidad (2C). 81% Acuerdo (n = 35), mediana 8, IQR 7-8.
Intraoperatorio	
En infantes y niños sometidos a cirugía cardíaca, se recomienda el desarrollo con la implementación a nivel intra y postoperatorio, de procedimientos con el fin de ahorrar y conservar sangre, para reducir el número y el volumen de glóbulos rojos transfundidos (cebado, adición, destete de CEC y postoperatorio), limitando la exposición a donantes y la transfusión de otros componentes sanguíneos.	Recomendación fuerte, evidencia pediátrica de baja calidad (1C);100% de acuerdo (n = 35), mediana 9, IQR 8.
Postoperatorio	
En infantes sometidos a procedimientos paliativos en etapa 1(Norwood, Damus-Kaye-Stansel, Blalock-Taussig o banding de arteria pulmonar) para fisiología de ventrículo único, que tengan una fisiología hemodinámicamente estable, con adecuada oxigenación para su lesión cardíaca. Tiene un beneficio limitado y un riesgo la exposición a transfusiones con concentraciones de Hb mayor a 9,0 g/dL.	Recomendación débil, evidencia pediátrica de baja calidad (2C); 96% de acuerdo (n = 29), mediana 8, IQR 7-9.
En infantes y niños hemodinámicamente estables con fisiología del ventrículo único, bajo procedimientos de estadio 2 y 3 con adecuado aporte de oxígeno no se recomienda administrar glóbulos rojos si la concentración de Hb es mayor de 9 g/dL	Recomendación débil, evidencia pediátrica de baja calidad (2C); 96% de acuerdo (n = 29), mediana 8, IQR 8-9.

(39)Cholette, Jill M. MD1; Willems, Ariane MD2; Valentine, Stacey L. MD, MPH3; Bateman, Scot T. MD3; Schwartz, Steven M. MD4. Recommendations on RBC Transfusion in Infants and Children With Acquired and Congenital Heart Disease From the Pediatric Critical Care Transfusion and Anemia Expertise Initiative. Pediatric Critical Care Medicine 19(9S):p S137-S148, September 2018. | DOI: 10.1097/PCC.0000000000001603

Adiciones de otras sustancias en el cebado.

Fármacos.

Es importante tener en cuenta, la influencia de la CEC en la farmacocinética (PK) de los fármacos comúnmente utilizados durante la cirugía cardíaca, ya que el cebado del sistema de la CEC además de diluir la sangre del paciente, puede afectar la osmolaridad y valores electrolíticos. Adicionalmente, el circuito de CEC está compuesto de plásticos como cloruro de polivinilo (PVC), policarbonato, poliuretano y silicona que están recubiertos con materiales biocompatibles como heparina, polímeros de fosforilcolina o poli (2-metoxiacrilato) entre otros, los cuales también pueden impactar la farmacocinética (PK) de los medicamentos. Se ha informado de una mayor absorción de fármacos, en los tubos de silicona en comparación con los tubos de PVC desconociendo si esto es reversible.⁴⁰

La concentración y la distribución de los fármacos se puede ver afectada por el volumen de líquido del cebado, el cual ya es sensiblemente mayor a la volemia del paciente; así como la unión de fármacos a proteínas, más aún, cuando a menudo se añade plasma fresco y albúmina.⁴⁰

Existen estudios farmacocinéticos que muestran que la temperatura no es un factor que influye en el metabolismo de los fármacos, y se desconoce si los cambios en el flujo sanguíneo de los órganos durante la CEC y la respuesta inflamatoria pueden causar cambios clínicamente relevantes en los parámetros farmacocinéticos. En cuanto a las diferentes ultrafiltraciones: convencional, balance Zero y modificada que a menudo se realiza durante la CEC no han demostrado una influencia significativa en la farmacocinética de los medicamentos.^{40, 41}

Metilprednisolona.

En un metanálisis realizado en 2014 sobre glucocorticoides usados durante la CEC en niños, se encontró que la mortalidad era menor con el uso de glucocorticoides perioperatorios que con otras intervenciones clínicas. Sin embargo, dos metanálisis recientes⁴²⁻⁴⁴ no mostraron diferencias en la mortalidad.

Recientemente en un ensayo multicéntrico, prospectivo, aleatorizado, controlado con placebo y basado en registros, en el que participaron bebés (<1 año de edad), el uso profiláctico de metilprednisolona no redujo la probabilidad de un peor resultado, pero si se asoció con el desarrollo posoperatorio de hiperglicemia y el uso de la insulina en un porcentaje mayor.⁴⁵

Albúmina.

Dado que las soluciones cristaloides carecen de actividad oncótica, frecuentemente se agrega albúmina a la solución de cebado, no sólo para disminuir la respuesta inflamatoria generada cuando la sangre interactúa con la superficie del circuito, sino también para contrarrestar la disminución de la presión oncótica coloidal; y se ha demostrado un recuento de plaquetas significativamente más alto en estos pacientes, lo cual redundaría en menor pérdida de sangre postoperatoria y disminución en requerimientos de productos sanguíneos.^{46, 47}

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Los autores recomiendan que se prefieran los coloides (p. ej., albúmina) a los cristaloides para el priming en niños sometidos a cirugía cardíaca (Grado 1C).	Grado IC

(36)Faraoni, David, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036>.

Manitol.

Se usa en la CEC de adultos como diurético osmótico y eliminador de radicales libres. No obstante, en pediatría existen resultados de estudios duales, por una parte, demuestran mayor probabilidad de producir un estado hiperosmolar no fisiológico con potencial predisposición a lesión del sistema nervioso y de otro lado podría mejorar la función renal posoperatoria en niños sometidos a cirugía cardíaca con CEC⁴⁵

REFERENTE
Estándar 13: Cebado
Directriz 13.1: Cuando se ceba con sangre exógena, se sugiere lavar los glóbulos rojos bien sea con el uso de ultrafiltración previa a la derivación (preBUF) 39, 40, 41, 42, 43, 44 o con otras técnicas que aseguren niveles adecuados de glicemia, lactato y potasio.
Directriz 13.2: El perfusionista debe considerar hacer coincidir la composición primaria del cebado con los valores individuales del paciente (gases sanguíneos y electrolitos séricos).

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

Impacto de la ultrafiltración en el bypass cardiopulmonar pediátrico.

Las diferentes técnicas de Ultrafiltración bien sean pre, intra o post CEC han demostrado beneficios para recuperar el hematocrito, disminuir el agua corporal total, por ende, el edema tisular y la consecuente disfunción multiorgánica.

REFERENTE	RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
<p>Estandar 16: Gestión de Fluidos</p> <p>Pauta 16.1: Se debe utilizar el uso de ultrafiltración modificada (MUF) (a menos que esté contraindicado) para optimizar la hemodinámica y el hematocrito.</p> <p>Pauta 16.2: Se debe considerar el uso de ultrafiltración dilucional o de equilibrio cero (ZBUF) durante la CEC. Las técnicas de MUF como las de dilución o ZBUF se sugieren como pautas basadas en la literatura y el uso mayoritario dentro de la comunidad de perfusión pediátrica.</p>	<p>Los autores recomiendan la ultrafiltración convencional o ultrafiltración modificada mayor o igual a 10 min para recién nacidos y lactantes sometidos a cirugía cardíaca con CEC.</p>	<p>Grado IB.</p>

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

(36)Faraoni, David, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036

Es así, que la ultrafiltración (UF) pre bypass (PBUF) facilita el lavado de los glóbulos rojos que se adicionan al priming sobre todo en los pacientes anémicos que tienen patologías de base cianosantes, de igual manera esta UF reduce la cantidad de cristaloide del priming, facilitando el balance del priming, es decir, obtener un cebado muy similar a la composición sanguínea intravascular, evaluándose con una toma de gases sanguíneos extendido a química sanguínea, con hematocrito y lactato.

Durante la CEC se realiza la ultrafiltración convencional (CUF) la cual facilitará el mantener las metas de hematocrito según la patología de base y el grado de hipotermia, finalizando con la ultrafiltración modificada (MUF), la cual se realiza inmediatamente al terminar la CEC, eliminando el exceso de agua del paciente, salvar el residual de sangre del circuito de CEC, con los objetivos de: modular la respuesta inflamatoria de la CEC, eliminado mediadores tales como la interleucina (IL-6, IL-8) y el factor de necrosis tumoral, disminuyendo requerimientos transfusionales de glóbulos rojos, mejorar la función del ventrículo izquierdo, con un aumento de la presión arterial sistólica e índice cardíaco.⁴⁸⁻⁵⁰

Las Directrices EACTS/EACTA Guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery 2017.⁵¹

sobre el manejo de la sangre del paciente para cirugía cardíaca en adultos recomendaron que se pueda considerar la ultrafiltración modificada (MUF) como parte de una estrategia de conservación de la sangre para minimizar la hemodilución (Clase IIb, nivel B), lo cual también está respaldado por las guías clínicas para el tratamiento de pacientes con transposición de las grandes arterias con tabique ventricular intacto en aplicar MUF.⁵²

Con estos reportes de la literatura, el perfusionista puede implementar la MUF en diferentes escenarios de cirugías cardíacas que requieren CEC tanto en el área pediátrica o adultos con cardiopatías congénitas.

Circuito sugerido en el bypass cardiopulmonar del niño.

Se propone tener presente varios ítems al construir el circuito ideal para cada caso en mención: neonato (menor de 5kg), infante (5.1-19,9kg) y pediátrico (mayor a 20kg) (53). Un primer aspecto es reconocer los efectos deletéreos de la hemodilución excesiva debido al volumen del cebado y la respuesta inflamatoria resultante del contacto del área de superficie.

Un segundo aspecto es no determinar “tallas únicas”, cada caso es único debido a los factores anatómicos, fisiológicos del paciente; se recomienda la importancia de limitar el tamaño y el número de derivaciones dentro del circuito extracorpóreo debido al potencial "robo" del flujo sanguíneo arterial, lo que resulta en una hipoperfusión inadvertida. Los estudios han demostrado que, con flujos bajos, hasta el 40 % del flujo total de la bomba puede desviarse del flujo sanguíneo sistémico del paciente a través de derivaciones abiertas.¹⁷

El estándar 7.13 hace referencia al monitoreo del paciente, requiriéndose la medición del flujo arterial distal a todas las derivaciones dentro del circuito.

Tercer aspecto a tener presente en la construcción del circuito de bypass pediátrico, es que a mayor número de derivaciones se aumentará las revoluciones de la bomba arterial por minuto (RPM) necesarias para mantener el flujo sanguíneo sistémico, lo que puede provocar hemólisis de glóbulos rojos.

Cuarto aspecto relacionado con la reducción del tamaño del circuito, una nueva directriz recomienda utilizar el retorno venoso asistido para limitar la longitud o el tamaño del tubo venoso. Los estudios han demostrado que los beneficios del retorno venoso asistido superan los riesgos en la perfusión pediátrica y congénita cuando se usa de manera correcta y segura.

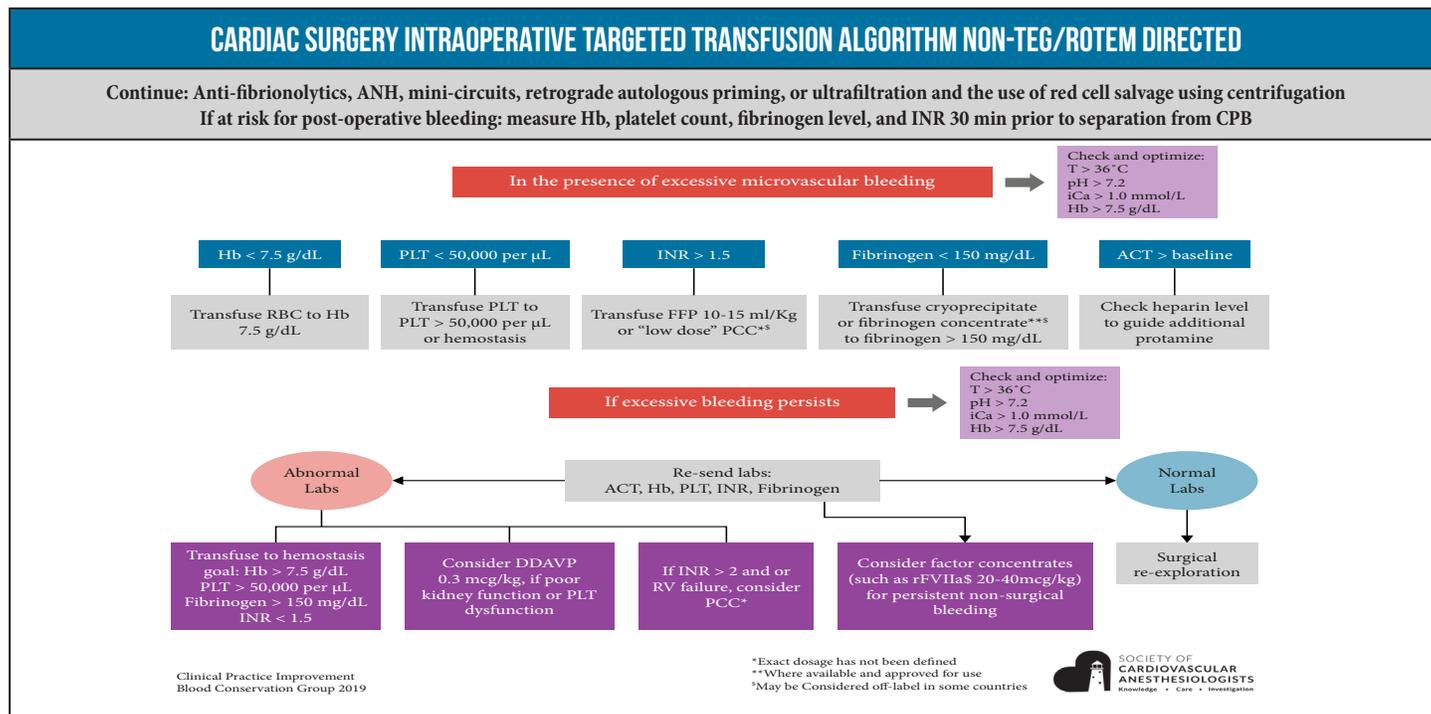
REFERENTE
Estándar 12: circuito
Estándar 12.1: El perfusionista deberá seleccionar los componentes del circuito, teniendo en cuenta el volumen principal, el área de superficie, la seguridad y los requisitos metabólicos esperados del paciente.
Estándar 12.2: Se debe minimizar tanto el número como el tamaño de las derivaciones dentro del circuito para evitar el robo del flujo sanguíneo arterial. ¹³⁻¹⁵
Directriz 12.1: El perfusionista debe considerar el retorno venoso asistido, teniendo en cuenta cualquier contraindicación específica del paciente. ¹⁶⁻²⁰
Estándar 13: Manejo de la sangre.
Estándar 13.1: El perfusionista deberá participar en los esfuerzos para minimizar la hemodilución y evitar transfusiones de sangre innecesarias.
Estándar 13.2: El perfusionista deberá minimizar el tamaño del circuito de derivación cardiopulmonar (CEC) con el fin de reducir el volumen del priming o cebado.
Estándar 13.3: El perfusionista deberá calcular y comunicar al equipo quirúrgico antes de al iniciar la CEC, la hemoglobina o el hematocrito pos dilucional previstos del paciente.
Directriz 13.1: Los esfuerzos de gestión de la sangre deben incluir lo siguiente, participación en un equipo multidisciplinario de manejo de sangre. Minimizar la hemodilución: circuitos reducidos; cebado autólogo en lo posible (anterógrado arterial y retrogrado venoso); recubrimiento biocompatible de punta a punta del circuito de CEC; recuperación y reinfusión de células sanguíneas perioperatorias después de un adecuado procesamiento (ultrafiltración o lavado celular).

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938.

Técnicas de ahorro sanguíneo en bypass cardiopulmonar pediátrico:

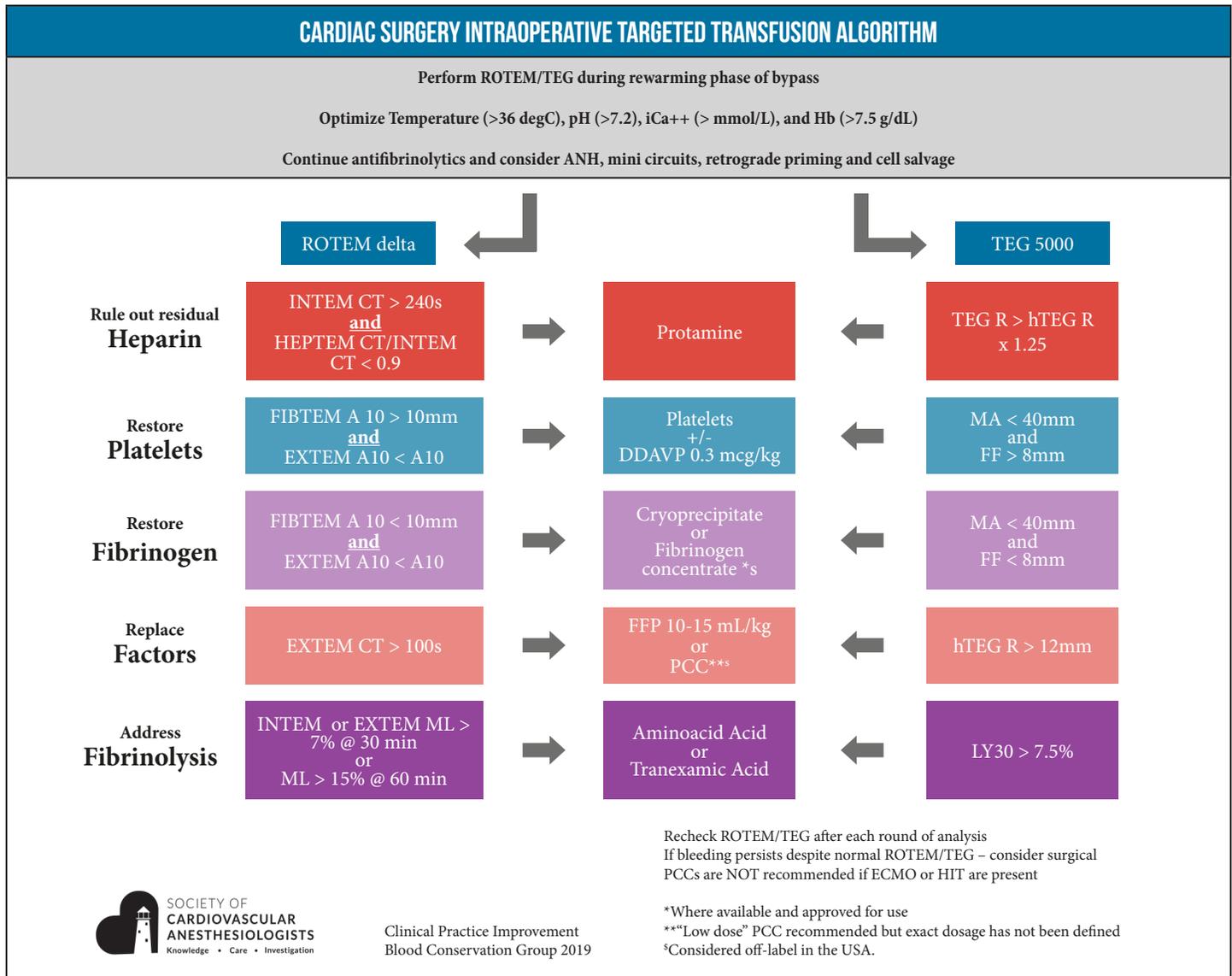
El tema de las técnicas de ahorro sanguíneo más idóneas a desarrollar en cirugía cardíaca que requiere CEC en la población pediátrica, es dependiente de varios factores, entre ellos los recursos disponibles, para disminuir la longitud al máximo de la tubería sin

comprometer la seguridad en la hemodinámica de los flujos, conjugando diferentes variables según la clínica del niño y la técnica quirúrgica a realizar. Ver **Figura 1.** Algoritmo de transfusión intraoperatoria de cirugía cardíaca SCA no basado en ROTEM/TEG y **Figura 2.** Algoritmo de transfusión en cirugía cardíaca basado en ROTEM/TEG).⁵⁴



ACT indica tiempo de coagulación activado; ANH: hemodilución normovolémica aguda; CEC, circulación extracorpórea; DDAVP, 1-desamino-8- d -arginina vasopresina; PFC, plasma fresco congelado; Hb, hemoglobina; iCa ++, calcio ionizado; INR, ratio internacional normalizado; PCC, concentrado de complejo de protrombina; PLT, plaquetas; RBC, glóbulo rojo; rFVIIa, factor VII activado recombinante; VD, ventrículo derecho; T, temperatura

Figura 1. Algoritmo de transfusión intraoperatoria de cirugía cardíaca SCA no basado en ROTEM/TEG.



Fuente: Raphael, J, et al. Society of Cardiovascular Anesthesiologists Clinical Practice Improvement Advisory for Management of Perioperative Bleeding and Hemostasis in Cardiac Surgery Patients. Anesthesia & Analgesia 129(5):p 1209-1221, November 2019. | DOI: 10.1213/ANE.0000000000004355 (53).

Figura 2. Algoritmo de transfusión en cirugía cardíaca basado en ROTEM/TEG.

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Los autores recomiendan el uso de recuperación celular en cirugía cardíaca pediátrica para reducir la transfusión perioperatoria.	Grado IC
Los autores sugieren la recuperación activa de la sangre residual del circuito de CEC, ya que puede disminuir el número de transfusiones.	Grado IIC
Los autores desaconsejan el uso de Hemodilución Aguda Normovolémica (ANH) de rutina en pacientes pediátricos sometidos a cirugía cardíaca con CEC.	Grado IC
La ANH es un método razonable para reducir el sangrado y la transfusión.	Clase IIA, Nivel A
Cebado autólogo retrógrado del circuito CEC.	Clase I, Nivel BR
La circulación extracorpórea mínimamente invasiva es razonable para reducir la pérdida de sangre y la transfusión de glóbulos rojos como parte de un enfoque combinado de conservación de sangre.	Clase IIA, Nivel B-R

(36) Faraoni, David, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036.

3.1.3 Proporcionar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de variables fisiológicas en circulación extracorpórea como: presión arterial media, temperatura, marcadores bioquímicos y aplicabilidad del flujo pulsátil.

Gestión para el el manejo de las variables fisiológicas en CEC.

Existen una relativa coincidencia en que la presión arterial es un factor importante en niños con cardiopatía congénita que requieren CEC, con el fin de disminuir lesiones en múltiples órganos, en especial las cerebrales, por las consecuencias observadas en el seguimiento de estos niños.

Por lo anterior, se enuncia la importancia del flujo sanguíneo cerebral (FSC), el cual se ha equiparado a la Presión de Perfusión Cerebral (PPC) dividida en la Resistencia Vascular Cerebral (RVC). Se puede homologar la PPC a la presión arterial media del paciente (PAM) menos presión venosa central (PVC).⁵⁵

FSC (mL/min) =	PPC mmHg / RVC mmHg/ mL/min
PPC (mmHg) =	PAM (mmHg) - PVC (mmHg)

Se ha aceptado la afirmación que un flujo sanguíneo cerebral adecuado, se consigue con una presión arterial sistémica “razonable” y flujo apropiado en CEC (basado en la temperatura). No obstante, el flujo sanguíneo cerebral se puede ver afectado por diferentes variables de la CEC, por ejemplo, el suministro general de oxígeno al cerebro aumenta con la dilatación de los vasos sanguíneos cerebrales a través del manejo de gases en sangre pH-stat; aumento del flujo por la bomba; un hematocrito óptimo; mientras los requerimientos de oxígeno cerebral disminuyen con anestesia, relajantes musculares y la hipotermia. El cerebro autorregula el flujo sanguíneo para satisfacer las necesidades metabólicas.

Algunos problemas para conseguir un flujo sanguíneo cerebral adecuado pueden estar relacionados con enfermedad cerebrovascular, canulación arterial direccionada a uno de los grandes vasos aórticos, alta ventilación por la raíz aórtica, ventilación aorto pulmonar preferencial a través de colaterales, etc., que pueden robar la circulación eficaz al cerebro.

La presión arterial en los niños aumenta con la edad. Los recién nacidos suelen tener una presión arterial de 70/40 mmHg dando una media normal de 50 mmHg. Estos valores aumentan hacia el rango de referencia para adultos (120/80 mmHg) en la adolescencia.

Este mecanismo autorregulador es dependiente de unos rangos de presión arterial, es probable que esté en el rango de 50 a 150 mmHg para adultos y 30-110 mmHg en niños y lactantes.⁵⁵ La presión arterial en CEC suele ser de 30 a 45 mmHg en recién nacidos y de 40 a 60 mmHg en niños.

El control de gases en sangre con la estrategia pH-stat es comúnmente utilizado en cirugía cardíaca congénita con hipotermia inferior a 30°C, debido a que aumenta la PaCO₂ y dilata los vasos sanguíneos cerebrales haciendo que el flujo cerebral dependa más del flujo de la bomba y de la presión arterial del paciente. La hipotermia profunda, por sí sola inhibe la autorregulación cerebral dejando el flujo sanguíneo cerebral dependiente de la gestión de gases con la estrategia pH-stat, de la presión arterial y el flujo de la CEC. Sin embargo, este concepto se debe manejar muy cuidadosamente para evitar el exceso de flujo sanguíneo cerebral en los niños, lo cual también es deletéreo, por el riesgo de lesión por hiperperfusión, incluido edema y hemorragia en especial en los neonatos.

TABLA 3. RANGOS DE PRESIÓN ARTERIAL OBJETIVO DURANTE CEC

EDAD	PRESIÓN ARTERIAL MEDIA (mmHg)
<1 mes	30-45
1-12 meses	40-50
1-10 años	45-60
10-16 años	50-70
>16 años	60-90

El uso universal de NIRS ha permitido a los profesionales de la salud conocer más sobre el comportamiento cerebral, los límites de la presión arterial en CEC y determinar situaciones a riesgo en diferentes poblaciones durante CEC.⁵⁵

REFERENTE

Estándar 13: Cebado
Estándar 7.1: La presión arterial del paciente se controlará continuamente durante CEC.
Estándar 7.2: La presión de la línea arterial se controlará continuamente durante la CEC.
Estándar 7.3: El flujo sanguíneo arterial se controlará continuamente durante la CEC.
Estándar 11: Presión arterial.

REFERENTE
Estándar 11.1: El perfusionista, en colaboración con el equipo quirúrgico responsable, definirá y comunicará el algoritmo de tratamiento previsto para el control de la presión arterial antes del bypass cardiopulmonar (CEC), incluidos los rangos aceptables de presión en la línea arterial del paciente.
Estándar 11.2: El perfusionista trabajará estrechamente con el equipo de atención quirúrgica para mantener los niveles de presión arterial del paciente.
Directriz 11.1: La variación de la presión arterial prevista y objetivo debe documentarse y comunicarse al grupo médico, para ajustar el plan de manejo de la presión arterial.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938.

Flujos en CEC.

Los flujos sanguíneos en CEC para los niños con cardiopatías congénitas han sido citados con índices cardiacos en normotermia entre 2,5–4,2 L/min/m²,^{56, 57} por supuesto, todo va de acuerdo a la individualidad de cada caso, que, en conjunto con una adecuada monitorización con las diferentes variables de aporte de O₂, entrega de O₂, consumo de O₂, producción de ácido láctico, el NIRS, entre otros, favorecen una conducción segura de la CEC. No obstante, no hay datos que describan con absoluta seguridad, el flujo de la CEC para prevenir diversas lesiones.⁵⁶

El perfusionista determina los diferentes flujos del *bypass* cardiopulmonar principalmente, por las características propias de cada paciente, las alteraciones anatómicas vs fisiológicas, la técnica quirúrgica a realizar y las variables involucradas en una perfusión guiada por objetivos.

El flujo inicial calculado se debe lograr normalmente a los pocos minutos de dar comienzo a la CEC, verificando todas

TABLA 4. FLUJOS SANGUÍNEOS SEGÚN TEMPERATURA	
Temperatura del paciente en °C	Flujo sanguíneo (L/min/m ²)
≥35	2.4–3.5
32	2.2
30	2.0
28	1.8
26	1.6
24	1.4
22	1.2
20	1.0
<20	0.7

Fuente: Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery: Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: The bypass plan, Cap 3, pag 52-5.

las medidas de seguridad, el drenaje venoso y los diferentes parámetros de monitorización. Sí, se requiere algún grado de hipotermia, el flujo irá descendiendo según la temperatura operativa y las necesidades técnicas del cirujano para mejorar la visualización del campo quirúrgico.⁵⁶

En la Tabla 4. Se enumeran los diferentes flujos sanguíneos expresados en índices cardiacos, utilizados en *bypass* cardiopulmonar de cirugías cardiacas congénitas. Estos valores son estimaciones, debido a que el flujo dependerá de numerosos factores en tiempo real.

Flujo pulsátil o no.

Durante CEC en pediatría ha sido usual el flujo no pulsátil o continuo (FNP), debido a que no existía un dispositivo o bomba adecuada que pudiera suministrar flujo pulsátil (FP) fisiológico, actualmente ya existe, pero aún se mantiene la controversia sobre la utilidad del FP durante el *bypass* cardiopulmonar en niños sumándole al temor por el aprendizaje de la técnica propiamente dicha.

No obstante, existe la teoría de los beneficios del FP aunado a los problemas en pacientes inducidos tal vez por la CEC, incluyendo disfunción neuropsicológica y daño a órganos vitales,⁵⁷ que pudiese ser consecuencia del flujo atenuado o no pulsátil de los pacientes.

El debate sobre la superioridad de la perfusión pulsátil o no pulsátil durante la CEC persiste, pero recientemente está aumentando la evidencia a favor de la perfusión pulsátil durante la CEC.⁵⁸ El FP tiene múltiples beneficios, como: mejorar el movimiento del fluido tisular alrededor de la célula, optimizar la microcirculación e incrementar la difusión, disminuir las resistencias y mejorar el consumo celular. En resumen, un mejor acoplamiento del aporte (DO₂) y consumo metabólico (VO₂).⁵⁹ Evidenciándose, por ejemplo, en la mejor oxigenación de la mucosa gástrica y las funciones tiroideas.⁶⁰

Nuevos estudios han determinado que el flujo pulsátil mejoró significativamente el flujo sanguíneo de los órganos vitales, incluidos el cerebro, el corazón, el hígado y el páncreas; redujo el síndrome de respuesta inflamatoria sistémica; y disminuyó la incidencia de muertes posoperatorias en pacientes pediátricos y adultos. Existe evidencia de que el flujo pulsátil mejorará significativamente la recuperación de órganos vitales en varios tipos de modelos animales en comparación con la perfusión no pulsátil. Varios investigadores también demostraron que

el flujo pulsátil genera más energía hemodinámica, lo que mantiene una mejor microcirculación en comparación con el flujo no pulsátil. Estos resultados sugieren claramente que el flujo pulsátil es superior al flujo no pulsátil durante y después de la cirugía a corazón abierto en pacientes pediátricos y adultos.^{61, 62}

Otro estudio, encontró que, aunque el índice de pulsatilidad fue mayor en el grupo pulsátil, otras medidas de perfusión cerebral intraoperatoria y los resultados a corto plazo fueron similares a los del grupo no pulsátil. Estos hallazgos sugieren que, si bien la perfusión pulsátil representa una modalidad segura para el soporte de circulación extracorpórea, su uso puede no traducirse en resultados clínicos detectablemente superiores.⁶³

Perfusiones alternas en CEC e hipotermia profunda.

En cirugía cardiaca congénita es frecuente utilizar perfusión de bajo flujo, hipotermia, perfusión miocárdica, del hemicuerpo distal, esplácnica y perfusión cerebral anterógrada selectiva, ésta última permite reparar el arco aórtico tratando de evitar el paro circulatorio,⁶⁴ se ha demostrado que tasas de flujo cerebral de 20 a 40 ml/kg/min logran perfundir adecuadamente el cerebro evitando secuelas por hiperperfusión,⁶⁵ por supuesto, guiado con la monitoria a través NIRS para el ajuste de los respectivos flujos.

Es de resaltar, que los resultados de niños después de correcciones cardio quirúrgicas con CEC, a nivel del desarrollo cognitivo son multifactoriales y no existe una asociación entre perfusión cerebral versus mejor desarrollo cognitivo. Los estudios, sí han demostrado que niños sometidos a hipotermia profunda con arresto circulatorio mayor a 40 minutos, pudiesen mostrar alteraciones en el desarrollo neurológico,⁶⁴ aunado a que algunos de estos pacientes ya ingresan al quirófano con déficits y vulnerabilidades preexistentes.

Una duración segura del arresto circulatorio no ha sido definida, no obstante, los autores Whittaker y Grist proporcionan un límite de tiempo teórico basado en la prevención del metabolismo anaeróbico con una carga adecuada de oxígeno en los tejidos.⁶⁶

El paro circulatorio hipotérmico todavía desempeña un papel en las enfermedades congénitas que requieren cirugía cardiaca con CEC, la técnica es de gran beneficio para el cirujano, especialmente cuando la circulación colateral u otra circulación única impide un campo de visión suficiente para lograr una reparación precisa.

REFERENTE
Manejo del flujo sanguíneo
Estándar 10.1: Las tasas de flujo sanguíneo objetivo se determinarán antes del bypass cardiopulmonar (CEC) de acuerdo con el protocolo.
Estándar 10.2: El perfusionista trabajará estrechamente con el equipo de atención quirúrgica para mantener tasa de flujo sanguíneo objetivo durante la CEC. Recordar los ajustes del flujo total, cuando se tienen abierto otros shunts o flujos, como el de ventilación a través de la raíz aórtica.
Directriz 10.1: La variación del flujo sanguíneo previsto y objetivo debe comunicarse al equipo quirúrgico.
Directriz 10.2: El Flujo sanguíneo apropiado debe determinarse mediante la evaluación de: <ul style="list-style-type: none"> • Equilibrio ácido base o Exceso de Base. • Nivel anestésico. • Presión arterial. • Oximetría cerebral. • Comportamiento del lactato sérico. • Aporte y consumo de oxígeno. • Resistencia vascular sistémica (RVS). • Temperatura. • Saturación venosa de oxígeno.
El flujo sanguíneo arterial se debe monitorear continuamente en un punto del circuito de la CEC donde refleje con precisión el flujo administrado al paciente durante la CEC (lo más distal después de los shunts).14.15

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938.

Lactato.

La acidosis láctica o hiperlactatemia se describió clínicamente por primera vez en la década de 1920 y es común entre pacientes con hipoperfusión sistémica, lo que resulta en una reducción del suministro de oxígeno a los tejidos. La acidosis láctica tipo A es producto del metabolismo anaeróbico, cuando el suministro de oxígeno (DO₂) se reduce por debajo del requerimiento del metabolismo celular, lo que resulta en hipoxia tisular. El nivel de lactato sérico posterior está relacionado con la deuda total de oxígeno y el grado de hipoperfusión.⁶⁷

Los niveles de lactato >3,0 mmol/L se han descrito como un predictor de morbilidad y mortalidad en la población pediátrica. Muñoz y colegas⁶⁷ informaron un nivel medio de lactato más alto para los no sobrevivientes versus los sobrevivientes y correlacionan niveles >3,0 mmol/L con la mortalidad en pacientes sometidos a circulación extracorpórea (CEC) para reparaciones cardíacas congénitas. Sin embargo, es demasiado pedirle a un solo marcador bioquímico que prediga el mejor método de tratamiento o el curso potencial para pacientes complejos con cardiopatías congénitas,

Un DO₂ adecuado en la CEC intenta mantener la fisiología aeróbica normal y prevenir la producción de lactato debido a la reducción de la perfusión celular o la hipoxia. Se presume, que un índice cardíaco (IC) más alto, con un hematocrito nadir más bajo dará como resultado una menor producción de lactato en la CEC,⁶⁸ debido a que la producción del lactato es multicausal.

REFERENTE
Estándar 10: Una de las variables que determina el flujo apropiado es la evaluación del lactato.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

Manejo en la temperatura del bypass cardiopulmonar en pediatría.

Existe un gran número de cirugías cardíacas pediátricas que se realizan a temperatura entre 28-30°C. El fundamento del enfriamiento corporal es proteger el cerebro, los riñones y el corazón de lesiones isquémicas, al reducir la tasa metabólica y disminuir el consumo de oxígeno.

Se reconoce, que una reducción de temperatura de tan solo 1°C reduce el consumo de oxígeno entre un 6% - 7%, al mismo tiempo que mantiene intacta la barrera hematoencefálica, reduce la liberación de neurotransmisores excitotóxicos y mantiene la relación metabólica entre el suministro y la demanda de oxígeno. Sin embargo, hay evidencia que demuestra los efectos nocivos de la hipotermia, en la interferencia con la absorción de oxígeno y glucosa en el cerebro de pacientes pediátricos, lo cual puede desencadenar disfunción neurofisiológica, trombocítica y de coagulación.

REFERENTE
Estándar 7: USe monitorearán continuamente durante la CEC las temperaturas del paciente (p. ej. nasofaríngeo, rectal, vesical, esofágico) y en la extracorpórea (arterial, venosa y cardioplejía) así como en el intercambiador de calor (temperatura del agua).

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

Al enfriar el paciente, se sugiere que no debe existir una diferencia de más de 10°C entre las temperaturas arterial – venosa con la del intercambiador de calor (temperatura del agua), para prevenir embolias gaseosas. De manera similar, es deseable, una velocidad de recalentamiento de 0,5 °C por

minuto (recomendación de Clase IIa). Al calentar desde temperaturas superiores a 30°C, las temperaturas del flujo arterial de salida y del flujo venoso no deben diferir en más de 4°C, para evitar una embolia gaseosa. La razón de esto, es que el recalentamiento a un ritmo más lento garantiza que se alcancen temperaturas más constantes y homogéneas.⁶⁹

Los beneficios de la normotermia pueden ser mayores que los generados por la hipotermia, debido a que proporciona un equilibrio fisiológico gracias a la preservación del ATP, mejorando los resultados tardíos del desarrollo neurológico en casos cardio quirúrgicos simples, mientras que la hipotermia puede ofrecer más ventajas en casos de cirugía cardíaca compleja.^{70, 71}

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Sitios óptimos para medición de la temperatura: Se recomienda utilizar la temperatura arterial de salida del oxigenador como sustituto de la temperatura cerebral, medida durante CEC.	Clase I, nivel C
Es razonable el uso de la temperatura del catéter de la Arteria Pulmonar o de la temperatura nasofaríngea para el destete y la medición pos bypass inmediata.	Clase IIa, nivel C
Evitar la hipertermia (Se debe limitar la temperatura de la sangre en la salida arterial a <37°C para evitar la hipertermia cerebral).	Clase I, Nivel C
Gradiente de temperatura y velocidad máxima de enfriamiento: Los gradientes de temperatura de la salida arterial y el retorno venoso en el oxigenador, durante el enfriamiento en CEC no deberían superar 10°C para evitar la generación de émbolos gaseosos.	Clase I, Nivel C
Calentamiento cuando la temperatura de salida de la sangre arterial sea > 30°C: <ul style="list-style-type: none"> Para alcanzar la temperatura deseada para la separación del bypass, es razonable mantener una tasa de recalentamiento de ≤ a 0.5°C/min. Para lograr la temperatura deseada para la separación del bypass, es razonable mantener un gradiente de temperatura entre la temperatura de salida arterial y el flujo venoso de ≤ a 4°C. 	Clase IIa, Nivel B
Calentamiento cuando la temperatura de salida de la sangre arterial es ≤ a 30°C: <ul style="list-style-type: none"> Para lograr la temperatura deseada para la separación del bypass, es razonable mantener un gradiente máximo de 10°C entre la temperatura de salida arterial y el intercambiador de calor (temperatura del agua). 	Clase IIa, Nivel C

(70) Engelman R., Baker R., Likosky D. S; The Society of Thoracic Surgeons, The Society of Cardiovascular Anesthesiologists, and The American Society of extracorporeal Technology: Clinical Practice Guidelines for Cardiopulmonary Bypass—Temperature Management during Cardiopulmonary Bypass JECT. The Journal of extracorporeal technology. 2015; 47:145-154

3.1.4 Brindar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de la anticoagulación durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión de la anticoagulación en CEC.

La anticoagulación es vital durante la CEC para prevenir la coagulación tanto en el paciente como en el circuito extracorpóreo. Si llegase a ocurrir trombos generarían potenciales daños en la membrana del oxigenador, en la bomba para funcionar correctamente y eventos embólicos en el paciente pudiendo ocasionar la muerte.

La forma prioritaria de la anticoagulación es prevenir la activación de la vía de la coagulación, tanto en la descripción clásica de la coagulación, sistema referido a intrínseco (contacto con superficie extraña), extrínseco (exposición a tejido lesionado) y vía común, formación de coágulos; como en la representación moderna del sistema de coagulación en donde se hace referencia a un único “camino” con fases de iniciación, amplificación, propagación y estabilización, con reacciones en diferentes superficies celulares, denominado como el “modelo de hemostasia basado en células”⁷¹

En este modelo basado en células, la iniciación comienza con activación del factor tisular, plaquetas y factor VII que cuando se combinan producen una pequeña cantidad de trombina. La amplificación continúa con más formación de trombina y activación adicional de plaquetas. La activación plaquetaria y la unión ayuda a localizar la formación del coágulo. Al mismo tiempo, la propagación aumenta la formación de trombina y fibrina con la fase de estabilización finalmente resulta en una organización del coágulo de fibrina.

Teniendo en cuenta estos procesos de coagulación, el objetivo del tratamiento anticoagulante en CEC, en última instancia, es prevenir la producción de trombina, que conduce a la formación de coágulos de fibrina.⁷²

Los esfuerzos para minimizar la exposición general al circuito, para imitar la apariencia no fisiológica de las superficies no endoteliales (por ej: las superficies biocompatibles) y restringir la activación de los factores pro coagulantes (por ej: succión de cardiotoromía), contribuyen al proceso de anticoagulación en CEC.

La heparina es el principal medicamento administrado para proporcionar anticoagulación en el *bypass* cardiopulmonar.

La eficacia de la heparina requiere de una concentración adecuada de antitrombina III. La heparina se une a la antitrombina III y trombina para formar un complejo que inhibe la activación de

plaquetas, factores VII, X y XIII (factor estabilizador de fibrina), y limita la trombina libre. Esta inhibición conduce a la anticoagulación y comúnmente se cuantifica con una prolongación de la ACT. La heparina normalmente se administra en forma de bolo antes del *bypass* cardiopulmonar.⁷³

Monitoreo del efecto y dosificación de heparina.

Para dosificar heparina, se puede utilizar un método basado en el peso (WB) o basado en la concentración específica del paciente (PSCB). El protocolo WB calcula la dosis en función del peso de los pacientes y utiliza una prueba de tiempo de coagulación activado (ACT) para garantizar la anticoagulación. El ACT tiene limitaciones durante la CEC, especialmente para pacientes pediátricos que tienen sistemas hemostáticos inmaduros. El método PSCB predice la respuesta de los pacientes a la heparina mediante la proyección de una curva dosis-respuesta (HDR) de heparina. Algunos investigadores han encontrado beneficios en el uso del método PSCB, pero se necesita más investigación sobre qué tan bien el HDR predice la respuesta a la heparina.⁷⁴

En el protocolo basado en el peso, la prueba de ACT se realiza a través de la toma de sangre completa y estimulando el sistema de contacto con un activador que normalmente es caolín, pero algunos sistemas utilizan celita o perlas de vidrio. La estimulación resultante de la vía intrínseca de la cascada de la coagulación conduce a la producción de trombina, escisión del fibrinógeno, agregación plaquetaria y finalmente formación de trombos. En consecuencia, el tiempo necesario para la formación del coágulo es un reflejo directo de los efectos de la Heparina.⁷⁵

Ahora bien, es importante considerar que, para inhibir la trombina unida al coágulo, se requieren niveles plasmáticos de heparina de al menos 2,0 U/ml. Esto constituye la base a favor del control de la concentración de heparina, ya que el ACT no se correlacionan bien con los niveles de heparina durante la CEC hipotérmica. El método más común para evaluar los niveles de heparina es el sistema Hepcon (HMS); este utiliza la titulación de protamina. El método dispensa automáticamente una muestra de sangre completa del

paciente en un cartucho que contiene diferentes canales con tromboplastina y una concentración conocida de protamina. Como la protamina neutraliza la heparina en una proporción de aproximadamente 1:1 (1 mg de protamina por 100 U heparina), la cantidad de heparina en la muestra se puede calcular a partir de la cantidad conocida de protamina.⁷⁴

La resistencia a la heparina (HR) se define como la incapacidad de lograr una anticoagulación adecuada con un ACT > 480 s utilizando una dosis adecuada de heparina (300-400 U kg⁻¹). Existen diversas causas como la deficiencia de antitrombina, mecanismos independientes de la antitrombina y la pseudoresistencia. Por otro lado, la incidencia global de resistencia a la heparina en cirugía cardíaca es del 4-26%, dependiendo de la dosis de carga de heparina y del ACT objetivo delineado.

Se ha discutido que el ACT puede depender más de los niveles de fibrinógeno en comparación con el sistema HMS. Owings et al. encontraron que los niveles de fibrinógeno en pacientes pediátricos eran más bajos en comparación con los adultos. Los bajos niveles de fibrinógeno observados en pacientes pediátricos podrían sugerir mayores limitaciones del ACT como principal medida de manejo hemostático adecuado.⁷⁴

La resistencia a la heparina comúnmente se supera con dosis adicionales de heparina, pero existe un efecto techo, que puede ocurrir en el extremo superior del rango terapéutico (es decir, 4 U ml⁻¹). Los informes de casos documentan que no se logró un ACT adecuado a pesar de dosis tan altas como 1 200 U kg⁻¹, lo que requirió la suplementación con Antitrombina III(AT) sintética. Lo más habitual es que se utilice una dosis única de 1 000 U (1 ampolla). Como la vida media oscila entre 2 y 4 días, no es necesario repetir la dosis. Otra opción, el plasma fresco congelado normalmente contiene aproximadamente 1 UI/ml de AT para potenciar el efecto anticoagulante de la heparina. Por lo tanto, 2 unidades de FPP normalmente contendrán 500 U de AT.

Rebote de Heparina.

La detección de heparina residual en la sangre después de la reversión con protamina se produce debido a una dosificación incorrecta de protamina o a tasas de eliminación de protamina y heparina que no coinciden. Esto se ve agravado por el secuestro de heparina en los depósitos de grasa y su unión a las proteínas plasmáticas, que se redistribuye después de la neutralización de la protamina.⁷⁶

Efectos sobre la dosis de protamina.

La protamina se utiliza para revertir los efectos de la heparina. Durante la CBP, una anticoagulación adecuada es esencial, al igual que una reversión adecuada después de la CEC. Sin embargo, el exceso de protamina puede promover la coagulopatía y aumentar el sangrado a través de la inhibición de plaquetas y serina proteasa. También se ha descubierto que la protamina induce reacciones anafilactoides y anafilácticas, así como hipertensión pulmonar. De acuerdo a Nybo y Madsen, la incidencia de reacción anafiláctica a la protamina está entre 0,06% y 10,6%. Un estudio de Seifert et al. determinaron que la incidencia de hipotensión sistémica después de la administración de protamina en bebés y niños después de CEC estaba entre 1,76% y 2,88%.⁷⁶

Al igual que la heparina la dosis de protamina, generalmente se determina mediante una fórmula por el peso o en función de la concentración de heparina utilizando el HMS. La estrategia de dosificación de STS/SCA hace las siguientes recomendaciones de Clase IIa: 1. La dosis de reversión debe basarse en una titulación hasta la heparina existente. 2. Las dosis de protamina no deben exceder la relación 2,6:1 (protamina/heparina), ya que las dosis excesivas se asocian con un mayor riesgo de hemorragia, disfunción plaquetaria y ACT prolongado.⁷⁷

Las directrices EACTS/EACTA Guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery 2017, recomiendan una dosis total más baja y señalan los siguientes puntos: Idealmente, la dosis de protamina debería coincidir con la concentración real de heparina después de finalizar la ECC; Se recomienda que la dosis de protamina no exceda una proporción de 1:1 con respecto al bolo inicial de heparina.

Tanto las directrices STS/SCA como EACTS/EACTA recomiendan administrar protamina según la concentración de heparina existente. La disminución de las proporciones de protamina/heparina se asocia con mejores mediciones hemostáticas en ensayos visco elásticos como el ROTEM y reduce la incidencia de pérdida grave de sangre, en comparación con una proporción fija de protamina/heparina de 1:1. Actualmente se utilizan tres métodos para determinar la concentración de heparina residual: titulación de protamina, pruebas que involucran heparinasa y cálculos basados en ACT.⁷⁶

REFERENTE	RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Estándar 8		
Estándar 8.1: El perfusionista, en colaboración con el médico (cirujano y anestesiólogo), definirá el algoritmo de gestión de la anticoagulación, que incluye: <ul style="list-style-type: none"> Objetivo y rango aceptables para el tiempo de coagulación activado (ACT), considerando factores relevantes que incluyen la variabilidad en la medición. De ACT que se atribuyen a las características de rendimiento del dispositivo de medición. Monitorizar y tratar el estado de anticoagulación del paciente antes, durante y después del periodo de circulación extracorpórea. Dosis inicial de heparina específica del paciente utilizando uno de los siguientes métodos: <ul style="list-style-type: none"> Peso Curva dosis-respuesta (automatizada o manual) Volumen de sangre Área de superficie corporal Preparar medios alternativos de anticoagulación para cuando no se utiliza heparina. 	Es razonable utilizar pruebas de tiempo de coagulación activada (ACT) que producen tiempos de coagulación "activados al máximo", ya que estas pruebas mitigan la variabilidad del ACT, son menos susceptibles a la hipotermia y se correlacionan más estrechamente con la actividad del factor Xa en comparación con las pruebas que emplean un solo activador.	Nivel de evidencia B Clase IIa
	Es razonable mantener el ACT por encima de 480 segundos durante la CEC. Sin embargo, este valor umbral mínimo es una aproximación y puede variar según el sesgo del instrumento que se utiliza. Para los instrumentos que utilizan "activación máxima" de sangre total o tecnología de microcubetas, los valores superiores a 400 segundos se consideran frecuentemente terapéuticos.	Nivel de evidencia C Clase IIa
	El uso de una fórmula de dosis-respuesta de heparina puede identificar una sensibilidad reducida a la heparina, pero no se ha demostrado que sea más útil que la dosificación de heparina basada en el peso, en determinar la dosis de heparina necesaria para lograr un ACT adecuado para el inicio de la CEC.	Nivel de evidencia B Clase IIb
Directriz 8.1: La monitorización de la anticoagulación se sugiere con el tiempo de coagulación activado (ACT) y gestión de la concentración de heparina (Hepcon HMS, Medtronic Inc., Minneapolis, Minnesota). Adicionalmente, las pruebas de seguimiento pueden incluir: <ul style="list-style-type: none"> Medición del nivel de heparina (p. ej., titulación de heparina/protamina o nivel de heparina no fraccionada) Tiempo de tromboelastografía Tromboelastógrafo Tiempo de trombina Anti-Xa 	Se podría considerar el uso de monitorización de la concentración de heparina además de ACT, para el mantenimiento de la CEC, ya que esta estrategia se ha asociado con una reducción significativa en la generación de trombina, fibrinólisis y activación de neutrófilos.	Nivel de evidencia B Clase IIb
Directriz 8.2: Dosis adicionales de anticoagulante durante los procedimientos con CEC deben determinarse mediante el uso de una prueba de anticoagulación adecuada.	Durante la CEC, se podría considerar la administración rutinaria de heparina no fraccionada a intervalos fijos, con monitorización de ACT, y ofrece una alternativa segura a la monitorización de la concentración de heparina.	Nivel de evidencia C Clase IIb
Directriz 8.3: La estrategia de reversión de la heparina debe tener como objetivo limitar la sobreexposición a protamina y debe confirmarse mediante ACT y/o titulación de heparina/protamina.		
Estándar 12.1: La succión de la cardiomotía se suspenderá al inicio de la administración de protamina, para evitar la coagulación dentro del circuito CEC.	Para prevenir los efectos sobre el sangrado posoperatorio y la transfusión de sangre, se sugiere tomar un ROTEM después de los 34°C.	Recomendación de expertos. Autores del presente documento. ALAP. 2024 (52)

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938

(77)STS/SCA/AmSECT Clinical Practice Guidelines: Anticoagulation during Cardiopulmonary Bypass. Linda Shore-Lesserson, Robert A. Baker, Victor Ferraris, Philip E. Greilich, David Fitzgerald, Philip Roman, John Hammon. J Extra Corpor Technol. 2018;50:5-18 The Journal of ExtraCorporeal Technology.

Dosificación para inicio y mantenimiento de la anticoagulación en el bypass cardiopulmonar

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Se debe medir una prueba funcional de anticoagulación en sangre total, en forma de tiempo de coagulación, y debe demostrar una anticoagulación adecuada antes del inicio y a intervalos regulares durante la derivación cardiopulmonar.	Nivel de evidencia B Clase I
La respuesta individual a la heparina es heterogénea y requiere una prueba funcional terapéutica de inhibición de la coagulación antes de iniciar la CEC, independientemente de la dosis en bolo utilizada.	Nivel de evidencia C Clase IIa

Contraindicaciones de la heparina y sus alternativas

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Las estimaciones de puntuación clínica que utilizan una caída en el recuento de plaquetas superior al 50% y/o un evento trombótico entre 5 y 14 días después de una exposición a heparina, se pueden utilizar para determinar si, se debe realizar una prueba de anticuerpos contra plaquetas y heparina para diagnosticar la trombocitopenia inducida por heparina (HIT).	Nivel de evidencia B Clase IIa
Cuando la prueba de anticuerpos PF4/heparina no es concluyente (débilmente positiva) para TIH.	Nivel de evidencia C Clase IIa

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
En pacientes con diagnóstico de TIH y que necesitan una operación urgente que requiera CEC, la anticoagulación con bivalirudina es una opción razonable.	Nivel de evidencia B Clase IIa
En pacientes con disfunción renal significativa que son seropositivos para HIT y requieren una operación urgente que requiera CEC, se puede considerar el uso de plasmaféresis, argatroban o heparina con agentes antiplaquetarios (como tirofiban, ilioprost), entendiendo que existen mayores riesgos de sangrado con estas intervenciones.	Nivel de evidencia C Clase IIb

(77)STS/SCA/AmSECT Clinical Practice Guidelines: Anticoagulation during Cardiopulmonary Bypass. Linda Shore-Lesserson, Robert A. Baker, Victor Ferraris, Philip E. Greilich, David Fitzgerald, Philip Roman, John Hammon. J Extra Corpor Technol. 2018;50:5-18 The Journal of ExtraCorporeal Technology.

Reversión de la anticoagulación pos CEC

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Puede ser beneficioso calcular la dosis de reversión de protamina basándose en una titulación de la heparina existente en la sangre, ya que esta técnica se ha asociado con una reducción del sangrado y la transfusión de sangre.	Nivel de evidencia B Clase IIa
Es razonable limitar la proporción de protamina/heparina a menos de 2,6 mg de protamina/100 unidades de heparina, ya que las dosis totales superiores a esta proporción inhiben la función plaquetaria, prolongan el ACT y aumentan el riesgo de hemorragia.	Nivel de evidencia C Clase IIa
Debido al riesgo de rebote de heparina en pacientes que requieren dosis altas de heparina y con tiempos prolongados de CEC, se puede considerar la infusión de protamina en dosis bajas (25 mg/h) durante hasta 6 horas después de finalizar la CEC. Debe ser parte de un programa multimodal de conservación de sangre.	Nivel de evidencia C Clase IIb
En pacientes con alto riesgo de respuesta anafiláctica a la protamina que experimentan hipertensión pulmonar y colapso circulatorio poco después de la administración de protamina, la interrupción de la protamina y la implementación de medidas de reanimación, incluida la reinstauración de la CEC con anticoagulación adecuada, pueden salvar la vida.	Nivel de evidencia C Clase I
En pacientes que requieren anticoagulación con bivalirudina y experimentan sangrado excesivo después de la CEC, se puede utilizar una combinación de ultrafiltración modificada, columna de hemoadsorción, hemodiálisis y la administración de factor VIIa recombinante con sangre.	Nivel de evidencia C Clase IIb

(77)STS/SCA/AmSECT Clinical Practice Guidelines: Anticoagulation during Cardiopulmonary Bypass. Linda Shore-Lesserson, Robert A. Baker, Victor Ferraris, Philip E. Greilich, David Fitzgerald, Philip Roman, John Hammon. J Extra Corpor Technol. 2018;50:5-18 The Journal of ExtraCorporeal Technology.

Puntos claves de anticoagulación y su monitoreo en CEC

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Los autores recomiendan el uso de ACT en sangre total o concentración de heparina para evaluar la respuesta a la heparina en recién nacidos y niños.	Grado 1B
Los autores recomiendan apuntar a un ACT > 480 segundos antes de entrar en CEC y durante la CEC.	Grado 1B
Los autores recomiendan una dosis inicial de 400 U/kg de heparina no fraccionada antes del inicio de la CEC.	Grado 1C
En presencia de resistencia a la heparina y en ausencia de deficiencia de antitrombina, los autores sugieren la administración de 100 U/kg adicionales.	Grado 2C
Los autores recomiendan PFC (10 ml/kg) o suplementos de antitrombina en presencia de resistencia a la heparina secundaria a deficiencia de antitrombina.	Grado 1C
Los autores recomiendan que la dosis de protamina se calcule en función de la concentración de heparina.	Grado 1C
Los autores desaconsejan el uso de una proporción de protamina a heparina de 1:1 o superior, ya que el exceso de protamina podría aumentar el riesgo de hemorragia.	Grado 1C
Los autores recomiendan el uso de inhibidores directos de la trombina cuando la heparina esté contraindicada.	Grado 2C
En presencia de sangrado excesivo, los autores recomiendan el uso de monitorización intraoperatoria de la hemostasia para guiar la administración de hemoderivados.	Grado 1C
Los autores sugieren que la monitorización intraoperatoria de la hemostasia debería integrarse en los algoritmos de transfusión específicos de la institución.	Grado 1B
Los autores sugieren pruebas visco elásticas como alternativa a los ensayos de coagulación estándar para el tratamiento del sangrado intraoperatorio.	Grado 2C

(77)STS/SCA/AmSECT Clinical Practice Guidelines: Anticoagulation during Cardiopulmonary Bypass. Linda Shore-Lesserson, Robert A. Baker, Victor Ferraris, Philip E. Greilich, David Fitzgerald, Philip Roman, John Hammon. J Extra Corpor Technol. 2018;50:5-18 The Journal of ExtraCorporeal Technology.

3.1.5 Ofrecer al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de la protección miocárdica durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión en la protección miocárdica durante CEC

La protección miocárdica óptima para cirugía cardíaca congénita no ha sido alcanzada, debido a los siguientes factores:

- El miocardio de los neonatos contiene menos cantidades de proteínas contráctiles y con una menor proporción de proteínas contráctiles/no contráctiles en comparación con un miocardio “maduro”, ello hace que el miocardio neonatal sea menos contráctil y menos complaciente, lo que resulta en un rango muy limitado de la curva de Starling.
- El miocardio neonatal muestra una menor sensibilidad a los cambios en calcio ionizado extracelular y tiene menores reservas de energía con menor retículo endoplásmico que el miocardio maduro, lo que conlleva a que la función cardiaca adecuada sea más sensible al suministro de calcio y nutrientes, principalmente del metabolismo de la glucosa, por tanto, existe un mayor riesgo de disfunción miocárdica, dada la disminución de las reservas de calcio y glucógeno en los recién nacidos, y alteraciones de la gluconeogénesis.⁸²
- Los neonatos tienen un balance neurovegetativo caracterizado por predominio β -adrenérgico y tienen por esta razón una baja reserva inotrópica. Por lo tanto, la única forma en que pueden aumentar el gasto cardiaco es aumentando la frecuencia cardiaca.
- Los neonatos tienen mayores resistencias vasculares pulmonares que los niños mayores debido a la persistencia del patrón fetal de sus vasos pulmonares, es decir, pared media gruesa con un alto potencial de reactividad a los mediadores vasoconstrictores, lo que explica que la hipertensión pulmonar sea una condición común previa a la cirugía cardiaca y que las crisis de hipertensión pulmonar sean una complicación frecuente y potencialmente mortal.
- La remodelación miocárdica se cree que es adaptativa siempre que las señales de crecimiento impliquen el crecimiento hipertrófico del corazón en miocitos, sustitución de fibroblastos cardíacos y depósito de componentes de la matriz extracelular; son estas las características que predominan y se asocian a compensaciones hipertroficas. Diferente a la remodelación desadaptativa, la cual se asocia con dilatación del ventrículo, disfunción sistólica y diastólica. Se correlaciona clínicamente con insuficiencia cardíaca.⁸²⁻⁸⁴

Con cierta frecuencia llegan niños al quirófano con cianosis, hipertrofia miocárdica y acidosis, lo cual exigirá una meticulosa protección miocárdica, para poder compensar el robo de la cardioplejia por el flujo colateral bronquial aumentado y al requerir redosificaciones de cardioplejia, se deberá tener precaución al calentar el corazón y lavar la cardioplejia. La hipotermia^{85, 86} sigue siendo el factor más importante para el éxito protección miocárdica en lactantes.

Existen diferentes tipos de soluciones cardiopléjicas en cirugía cardiaca congénita, no obstante, con lo que se conoce de ellas y de esos factores particulares del niño al momento de la cirugía cardiaca con CEC, para lograr una adecuada protección miocárdica, se sugiere mantener las fórmulas de manera rigurosa, es decir, que sean las comercialmente distribuidas o en su defecto que sean preparadas por una central de mezclas con certificado de buenas prácticas vigente; considerar los diferentes métodos de entrega de la cardioplejia, según las condiciones anatómico fisiológicas del corazón del niño, controlando las variables de temperatura, presión, tiempo, volumen y redosificación por el perfusionista; realizar el seguimiento correspondiente para la evaluación de la protección miocárdica, con la consiguiente retroalimentación del protocolo institucional y tener un consenso cada vez más seguro.

Una encuesta norteamericana de la Congenital Heart Surgeons' Society demostró que el 86% de los encuestados utiliza cardioplejía basada en sangre, el componente cristaloides de esas soluciones es variado: 38% del Nido, 34% personalizado, 16% St Thomas/Plegisol/Baxter, 7% Custodiol y microplejía del 5%.⁸⁷ Se observaron variaciones con respecto a la dosis, el método de administración, la temperatura e intervalo de tiempo entre dosis.

La cardioplejía sanguínea puede ser superior a la cardioplejía cristaloides, especialmente para tiempos de isquemia miocárdica más prolongados (>1 hora).⁸⁸ Por lo general, las soluciones de cardioplejía deben tener una concentración de calcio que esté por debajo de la concentración sérica.⁸⁸ A pesar del potencial para la entrada excesiva de calcio secundaria a la hiperpotasemia inducida por la despolarización de la membrana, el potasio sigue siendo el agente más usado para realizar el paro cardíaco en las cirugías cardiovasculares. El magnesio ayuda a mantener ese potencial de membrana en reposo negativo y también inhibe la entrada de calcio al sarcolema, es decir, apoya significativamente la recuperación funcional del miocito.⁸⁶

La cardioplejía del Nido⁸⁷⁻⁸⁹ es una de las soluciones con más estudios a favor en las cirugías cardíacas congénitas, proporciona los beneficios de un requerimiento de dosis reducido, un menor consumo de sangre alogénica en circulación extracorpórea, una reanudación más rápida del ritmo cardíaco regular espontáneo y un menor requerimiento de soporte inotrópico en el traslado a la unidad de cuidados intensivos y a las 24h, en comparación con la cardioplejía sanguínea convencional e incluso las cristaloides. En reportes de metaanálisis comparando cardioplejías sanguíneas versus las cristaloides, tienen múltiples resultados donde ninguna es inferior a la otra.^{88, 89}

Un metanálisis en red (NMA) para evaluar la seguridad y eficacia de cuatro tipos de cardioplejía mostró que no había diferencias entre los tipos de cardioplejía sanguínea o cristaloides con respecto a la mortalidad, la duración de la estancia en la UCI o la estancia hospitalaria en cirugía cardíaca pediátrica. Dentro de los resultados el Custodiol se asoció con un riesgo de mortalidad significativamente menor que la cardioplejía sanguínea en niños. Esto puede ser producto de las diferencias anatómicas, funcionales y metabólicas entre el miocardio inmaduro y el adulto, que hacen que el corazón pediátrico sea más resistente a la isquemia que el corazón adulto.

Adicionalmente, el triptófano y el ácido cetoglutárico en el Custodiol mejoran la glucólisis miocárdica durante la isquemia y mantienen altos niveles de ATP intracelular a través de dos vías de generación de energía, lo cual también, puede explicar su desempeño superior en cirugía cardíaca pediátrica. Al mismo tiempo, la falta de calcio en esta solución puede aliviar la sobrecarga de calcio intracelular durante la isquemia/

reperusión, a la que el miocardio pediátrico es más sensible que el miocardio adulto. Así mismo, esta solución cardiopléjica puede inducir hiponatremia, lo que puede provocar convulsiones posoperatorias en pacientes pediátricos.⁸⁹

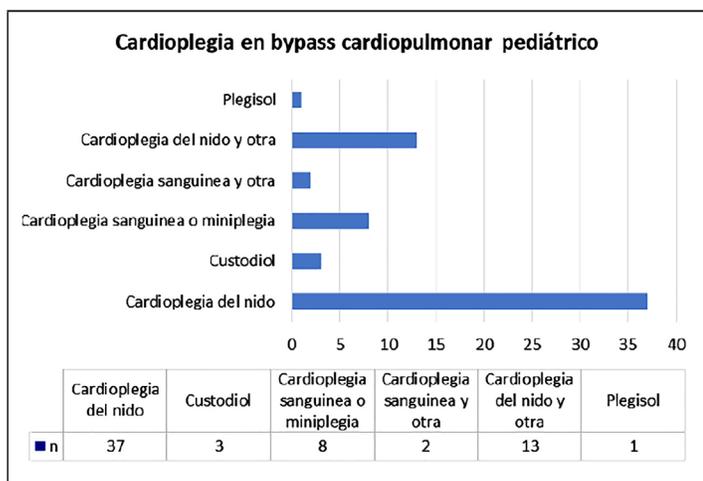
Se evidenció a través de una encuesta realizada a perfusionistas de Latinoamérica,⁹⁰ que la cardioplejía de mayor uso en la protección miocárdica corresponde a la cardioplejía del Nido con un 57,8%, cardioplejía sanguínea o miniplejía en un 12,5%, Custodiol 4,7%, Plegisol 1.6%, cardioplejía sanguínea y otra 3,1%, cardioplejía del nido y otra 20,3%

Puntos clave:

Típicamente una dosis de solución de cardioplejía en inducción es de 20-30 ml/kg, entre 4°-8°C, durante 4-6 minutos, cumpliendo las presiones de 80-120 mmHg en promedio (anterógrada) y 15-30 mmHg (retrograda) y con redosificaciones desde los 70 a 90 minutos con la mitad de la dosis inicial.

La literatura también reporta otras clases de protecciones miocárdicas, como el pre acondicionamiento miocárdico, la fibrilación ventricular, la perfusión coronaria continua (evitando la parada cardíaca), la hipotermia, entre otras, lo cual es decisión del cirujano y el respectivo protocolo institucional.

Se sugiere realizar el ajuste de la dosis de la cardioplejía del Nido por peso en kilogramos en los niños, para respetar al máximo la fórmula original de esta cardioplejía. Un ejemplo de este ajuste lo brinda el grupo de perfusionistas de la Clínica Cardio VID, Colombia.⁹¹



Fuente: Encuesta de Tendencias y actualizaciones sobre el Bypass cardiopulmonar en cirugía cardíaca pediátrica en Latinoamérica 2024. ALAP

CARDIOPLEJIA DEL NIDO. DOSIS Y RECONSTITUCIÓN

Pasos	
1	Peso kg x 20 cc ó 30 cc = dosis de plejía (puede ser 20 a 30 cc).
2	Dosis de Plejía+150 cc (vol de primado) +50 cc volumen recirculación = volumen de purga. Volumen purga = dosis total.
3	Dosis total/5 = dosis de sangre.
4	Adicionar volumen de sangre con jeringa de 50 cc conectada a llave de tres vías y extensión de anestesia. Dosis de plejía - dosis de sangre = dosis de Cristaloides.

RECOMENDACIÓN

Estándar 7
Estándar 7.4: La dosis de cardioplejía, el método de administración, la presión de línea (anterógrada), la presión (retrograda) y los intervalos isquémicos se controlarán continuamente durante CEC.

3.1.6 Brindar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para la monitorización neurológica central y somática durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión en la monitorización neurológica central y somática durante CEC.

En este capítulo se pretende ofrecer al perfusionista herramientas teóricas que le faciliten la detección temprana de eventos clínicos neurológicos utilizando los equipos tecnológicos disponibles.

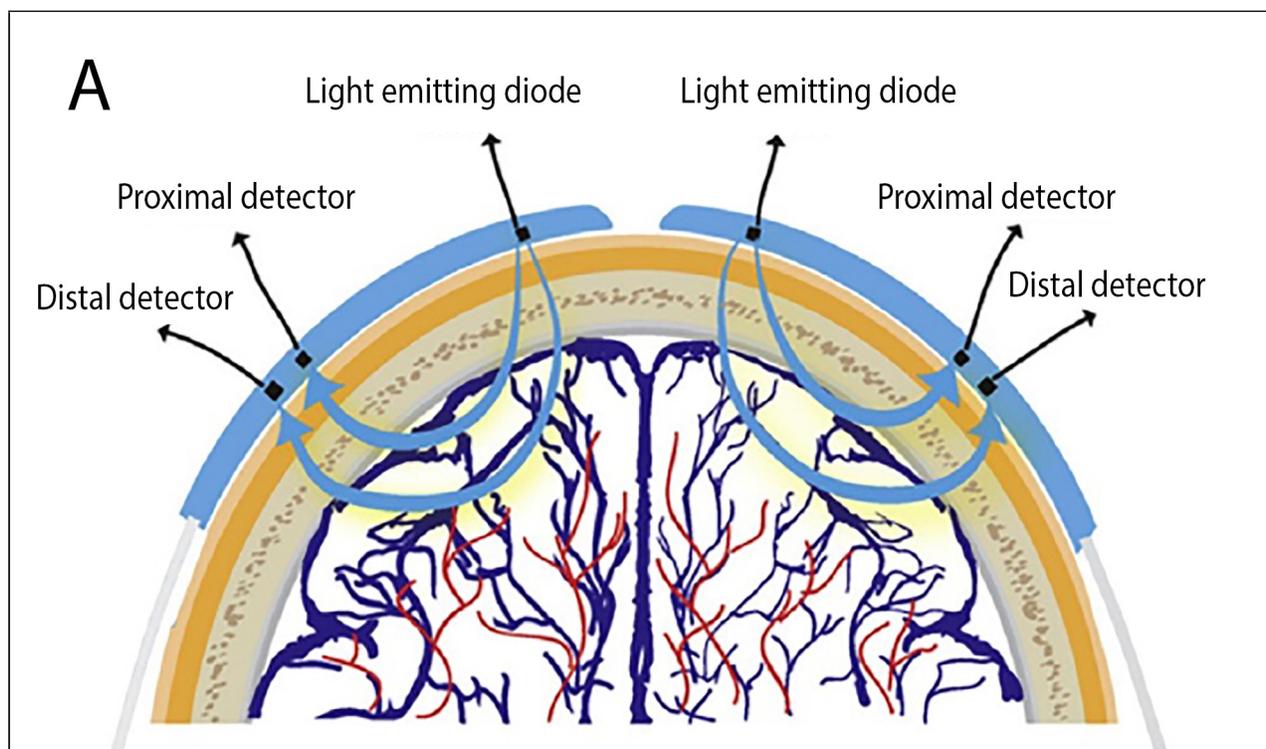
La monitorización cerebral durante el bypass cardiopulmonar pediátrico es fundamental para la detección temprana de eventos clínicos neurológicos modificables no deseados, como la pérdida de perfusión adecuada, la disminución de la oxigenación tisular y la presencia de émbolos.

Existen distintas herramientas tecnológicas de monitoreo, tales como la electroencefalografía EEG, la espectroscopia de infrarrojo cercano NIRS, la espectroscopia de luz visible VLS, el ultrasonido Doppler transcraneal TCD y la cuantificación de émbolos EDAC. La evidencia actual sugiere

que la monitorización multimodal que combina varias técnicas de medición, da como resultado la información más valiosa y procesable, permitiendo resultados neurológicos óptimos después de la CEC. Es importante destacar que la combinación de monitorización puede depender de los recursos locales y de los factores de riesgo del paciente.⁹²

La espectrometría de infrarrojo cercano (NIRS) es una técnica óptica que permite la medición continua, en tiempo real y de manera no invasiva, del balance entre la disponibilidad (DO_2) y el consumo (VO_2) regional de oxígeno; actualmente es la herramienta más utilizada por los servicios de cirugía cardiovascular.⁹³

Esta tecnología utiliza la Ley de Beer-Lambert que determina la diferencia de intensidad entre una luz transmitida y recibida emitida a longitudes de onda específicas, dependiendo de la absorbancia de la sustancia y su espesor, **ver figura 3**. Oximetría cerebral y tisular.⁹³ Este principio se utiliza para cuantificar las concentraciones de hemoglobina oxigenada y la hemoglobina desoxigenada, con un rango de absorción de 700-850 nm representando un promedio de oxigenación



Tomado de Stepan J, Hogue CW. Cerebral and tissue oximetry. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2014;28(4):429-439. Doi:10.1016/j.bpa.2014.09002

Figura 3. Oximetría cerebral y tisular.

arterial, venosa y capilar; el 75-80 % corresponde a la parte venosa, y los valores se obtienen a través de la colocación de un sensor en la piel de la zona que se desea medir: frente (cerebro), abdomen (mesenterio), zona lumbar (renal), comúnmente conocido como medición de oximetría cerebral y somática.⁹⁴

La tecnología NIRS no depende de la pulsatilidad, por lo que mantiene la eficacia durante la CEC y otros estados de bajo flujo. También es útil durante un paro circulatorio hipotérmico, en estas condiciones, una disminución de la rSO₂ alerta sobre un desequilibrio entre el suministro y la demanda de oxígeno cerebral, es el único monitoreo eficaz durante el paro circulatorio.⁹⁵ Las limitaciones de la NIRS incluyen la interferencia de otras sustancias activas dentro del rango de 700 nm a 1 000 nm, incluida la bilirrubina conjugada y el azul de metileno. La pigmentación oscura de la piel es una limitación teórica debido al aumento de melanina, pero esta no parece ser una limitación clínica.⁹⁶

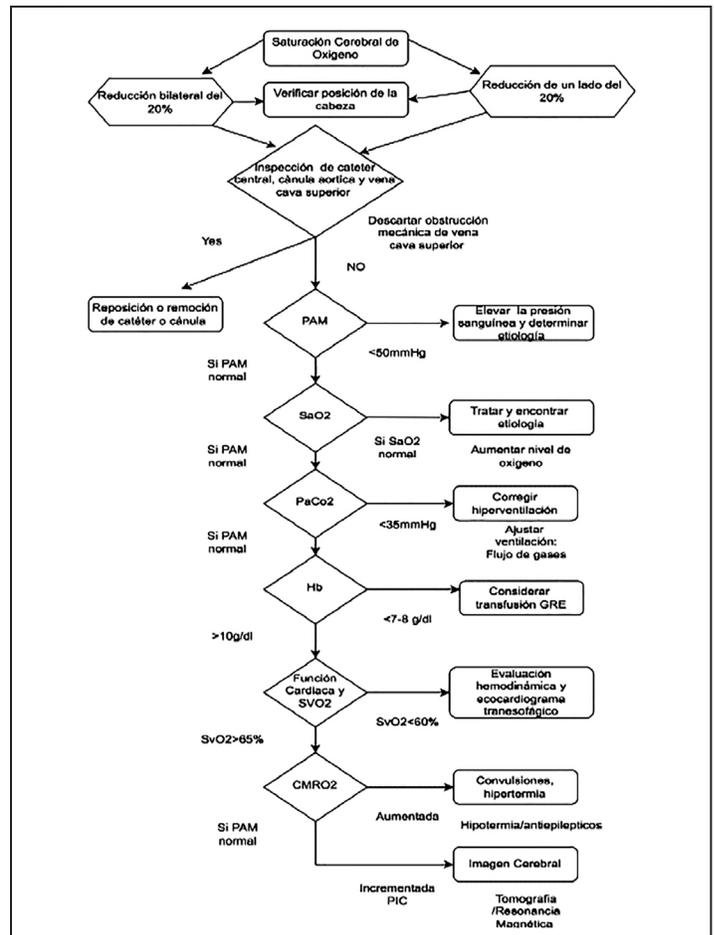
Por otro lado, la hemoglobina en sí misma puede afectar la capacidad de utilizar NIRS. Los niños con patología cianósante extrema o con policitemia Vera (p. ej., aquellos con hematocrito >60%) pueden tener resultados de rSO₂ poco confiables. Los autores que publicaron este hallazgo, bajo la hipótesis de que el aumento de hemoglobina produce una absorción excesiva de luz, de modo que no se refleja suficiente en el foto detector del dispositivo.⁹⁷

La tensión del dióxido de carbono también es un peligro potencial, debido a que las presiones elevadas de dióxido de carbono en la sangre dilatan los lechos vasculares y aumentan los valores de oximetría cerebral, pero no necesariamente reflejan una mejoría del estado metabólico global; esto debe considerarse al interpretar los datos según la clínica de cada paciente.⁹⁸

Es importante establecer una línea de base, para conocer el estado de oxigenación del paciente previo al bypass, ya que una caída de NIRS del 20% o mayor respecto al basal requiere de una intervención por parte del equipo quirúrgico.⁹⁹

Ver Figura 4. Algoritmo para manejo del NIRS propuesto para cirugía cardíaca con bypass cardiopulmonar.

El uso de intervenciones guiadas por NIRS y dirigidas a objetivos tiene apoyo tanto teórico como clínico.¹⁰⁰ Se ha



Fuente: Yoshitani K, et al Guidelines for the use of cerebral oximetry by near-infrared spectroscopy in cardiovascular anesthesia: a report by the cerebrospinal Division of the Academic Committee of the Japanese Society of Cardiovascular Anesthesiologists (JSCVA). J Anesth. 2019 Apr;33(2):167-196. doi: 10.1007/s00540-019-02610-y. Epub 2019 Feb 8. PMID: 30737572. Traducción propia.2

Figura 4. Algoritmo para manejo del NIRS propuesto para cirugía cardíaca con bypass cardiopulmonar.¹⁰⁰

RECOMENDACIÓN
La oximetría cerebral deberá ser monitorizada durante el bypass (IIb) (101)
Estándar 7.12: Estándar 7.12: La oximetría cerebral debe ser monitoreada durante la CEC.
La monitorización continua de gases en sangre y el uso de oximetría cerebral fueron pautas previas que fueron elevadas a estándares en el documento pediátrico y congénito. Si bien la evidencia de mejores resultados en la literatura para justificar esta elevación en el estado puede no ser abrumadora, los autores sintieron que, en el ámbito de la seguridad, a través de la identificación temprana de problemas, la prevención de eventos adversos y la consistencia en la atención brindada, estaba justificado.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938.

demostrado una relación entre la baja saturación cerebral de NIRS y el resultado adverso del desarrollo neurológico;¹⁰¹ la saturación somática de NIRS se ha relacionado tanto con la disfunción renal,¹⁰² como con la enterocolitis necrotizante. Una combinación lineal de saturaciones de NIRS cerebrales y somáticas puede predecir tanto la SvO₂ y el lactato.¹⁰³

3.1.7 Suministrar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el uso de nuevas tecnologías durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión en la introducción de avances tecnológicos en CEC.

Los avances tecnológicos en el campo de la circulación extracorpórea tienen como propósito disminuir los efectos deletéreos de la CEC convencional mejorando los resultados posquirúrgicos y garantizando una mayor seguridad al paciente. Los mini circuitos o también conocido como bypass cardiopulmonar mínimamente invasivo son uno de ellos.

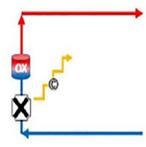
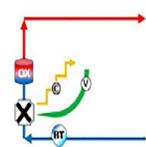
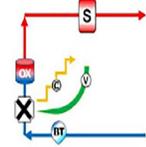
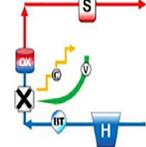
Un mini circuito extracorpóreo^{104, 105} está compuesto por un oxigenador de membrana y una bomba centrífuga, excluyendo el reservorio venoso, logrando un volumen de cebado reducido, una disminución del área de superficie de contacto y una menor interfaz sangre-gas, todo mini circuito debe ir previamente recubierto para garantizar su biocompatibilidad. Dentro de las ventajas clínicas descritas se citan: menor respuesta inflamatoria, mínima hemodilución, disminución en la activación de la cascada de coagulación, menor número de transfusiones sanguíneas y reducción de la estancia hospitalaria.

Inicialmente los mini circuitos¹⁰⁴ se desarrollaron como un circuito vital extracorpóreo, con la posibilidad de administrar cardioplejía (Tipo I) y se utilizó principalmente para realizar procedimientos de revascularización miocárdica. Sin embargo, surgieron las preocupaciones de seguridad relacionadas con el atrapamiento de aire en la línea venosa, impulsado posteriormente por la bomba centrífuga, esto promovió la integración de dispositivos como la trampa de burbujas en la línea venosa (Tipo II).

La necesidad de controlar el volumen sanguíneo durante los procedimientos valvulares en casos de dilatación ventricular o sangrado excesivo requirió la adición de un depósito de cubierta blanda integrado en el sistema (Tipo III). La integración de un segundo circuito abierto, con un reservorio venoso y succión de cardiectomía como componente de

reserva (Tipo IV) permitió la realización de procedimientos más complejos en los cuales se puede presentar un escenario de perfusión inesperado.¹⁰⁴

Las preocupaciones sobre el *bypass* cardiopulmonar mínimamente invasivo son el riesgo de embolia gaseosa y las pérdidas sanguíneas excesivas, Pese a que se ha venido avanzado en la solución a estos inconvenientes con la incorporación de filtro atrapa burbujas en la línea venosa, sensores de seguridad y la adición de un reservorio venoso estrictamente separado del circuito, que solo se agregaría si se requiere una conversión de emergencia a un *bypass* abierto. **Ver Figura 5.** Tipos de Mini circuitos.¹⁰⁵

<p>TYPE I STANDARD</p>		<p>Closed circuit with an afferent tube (blue line) which drains blood from right atrium to the pump (X) to the oxygenator (OX) and an efferent tube (red line) connected to arterial circulation. Oblique arrow is cardioplegia (C) line with its pump.</p>
<p>TYPE II AIR HANDLING</p>		<p>A venous bubble trap/air removing device (BT) is added to the standard MiCPB. Venting (V) drain blood from aortic root or pulmonary vein.</p>
<p>TYPE III VOLUME MANAGEMENT</p>		<p>A soft shell reservoir (S) is added to the circuit to collect blood volume from the patient.</p>
<p>TYPE IV BLOOD MANAGEMENT</p>		<p>A hard shell reservoir (H) is added and integrated in the afferent venous line to facilitate blood management.</p>

Fuente: Tipos de minicircuitos. Anastasiadis K, Antonitsis P, Argiriadou H, Deliopoulos A, Grosomanidis V, Tossios P. Modular minimally invasive extracorporeal circulation systems; can they become the standard practice for performing cardiac surgery? *Perfusion*. 2015;30(3):195-200. doi:10.1177/0267659114567555.

La implementación de éstos avances, requiere del análisis de costo-beneficio, como de adecuados procesos de aprendizaje con el fin de obtener una curva de aprendizaje.

Actualmente, aunque algunos estudios demostraron que los mini circuitos son superiores a la CEC convencional, la aceptación y la aplicación clínica en cirugía cardiaca congénita es poco común. Existen centros a nivel mundial

utilizan la miniaturización de los circuitos disminuyendo su volumen de cebado, pero aún tienen un reservorio venoso abierto lo cual no reduce la superficie de contacto como lo haría el sistema de circuito cerrado. Ver Tabla 5.⁹⁸

TABLA 5. BENEFICIOS CLÍNICOS DE CIRCUITOS MÍNIMAMENTE INVASIVOS COMPARADOS CON BYPASS CARDIOPULMONAR CONVENCIONAL.

RESULTADO	EFFECTO COMPARADO CON LA CEC CONVENCIONAL	CLASE DE RECOMENDACION	NIVEL DE EVIDENCIA
Hemodilución	▼	I	A
Sangrado perioperatorio	▼	I	A
Necesidad de transfusión de hemocomponentes	▼	I	A
Fibrilación auricular pos operatoria	▼	I	A
Preservación de la función renal	▲	I	A
Proteccion miocárdica	▲	I	A
Inflamación sistémica	▼	IIA	B
Microembolismo gaseoso	▼	IIA	B
Función neurocognitiva	▲	IIA	B
Alteración órgano terminal	Subclínico	IIA	B
Dosis heparina-ACT	▼	IIB	B
Sobrevida a 30 días despues de cirugía coronaria	▲	IIB	B

Minimally invasive extracorporeal circulation in cardiac surgery Konstantinos S. Mylonas and Dimitrios V. Avgerinos Department of Cardiac Surgery, Onassis Cardiac Surgery Center, Athens, Greece Minimally invasive extracorporeal circulation in cardiac surgery Chapter | 34.2023 Traducción: autores del presente documento

Entre las estrategias descritas por centros hospitalarios que utilizan la miniaturización de sus circuitos mencionan, línea arterial de 3/16 y línea venosa de 1/14 en pacientes menores de 2 kg, el circuito lo conectan a un oxigenador integrado con un volumen de cebado bajo de aproximadamente 43 ml. También reportan el uso de drenaje venoso asistido en pacientes mayores de 2,5 kg para reducir aún más las transfusiones. Todos los componentes están colocados de manera que el circuito se acorte lo máximo posible y lo más cercano a la mesa quirúrgica. Ver figura 6.¹⁰⁶

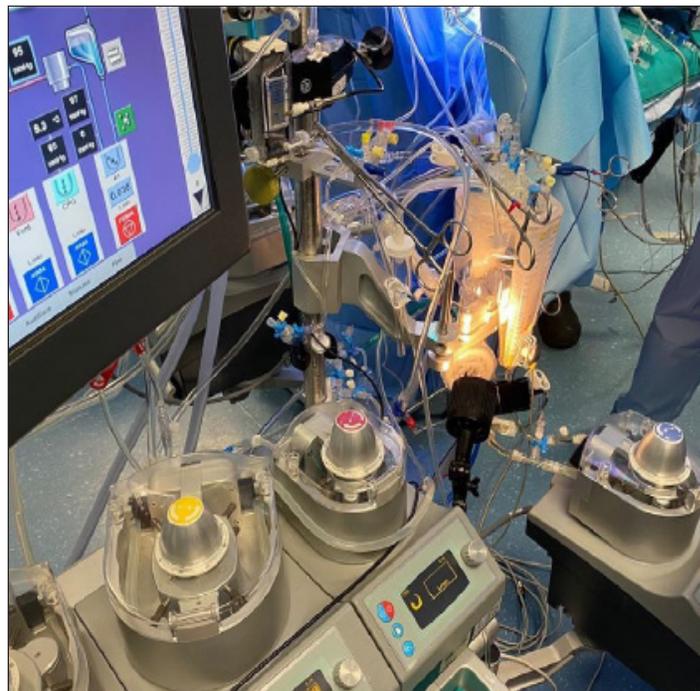


Figura 6. Tipos de Mini circuitos.

Wiesenack et al., realizó un estudio retrospectivo de 970 pacientes en cuatro años con el sistema Jostra MICP, informando niveles más bajos de lactato intraoperatorio y menor consumo de productos sanguíneos y una menor incidencia de complicaciones postoperatorias, incluyendo accidente cerebrovascular, infarto de miocardio, fibrilación auricular, bajo gasto cardiaco, insuficiencia renal en comparación con el grupo de CEC convencional.¹⁰⁶

RECOMENDACIÓN
Estándar 12: Circuitos
Estándar 12.1: El perfusionista seleccionará los componentes del circuito teniendo en cuenta el volumen del primado, área de superficie, seguridad y requerimientos del paciente.
Estándar 12.2: Tanto el número como el tamaño de las derivaciones dentro del circuito se deben minimizar para prevenir el robo del flujo sanguíneo arterial.
Directriz 12.1: El perfusionista debe considerar el retorno venoso asistido teniendo en cuenta considerar cualquier contraindicación específica del paciente.

(17)Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938.

3.2 “De la teoría a la práctica de perfusión pediátrica”

El segundo capítulo designado “De la teoría a la práctica de perfusión pediátrica” consta de una serie de tablas, gráficos y algoritmos referenciados, con el fin de facilitar al perfusionista la toma de decisiones en el diario que hacer durante una CEC, al momento de, seleccionar un oxigenador o membrana, construir un circuito, definir una cánula, etc.

3.2.1 Aportar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de variables fisiológicas en el marco de la perfusión dirigida por objetivos tales como la entrega, consumo, extracción de oxígeno, saturación venosa de O₂, delta de CO₂ y prevención de la injuria renal durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión de gases durante CEC:

En la siguiente Tabla 6. **Parámetros de perfusión guiada por objetivos**, se sugieren algunos valores mínimos de DO₂,

VO₂ y otras variables a tener presente durante el bypass cardiopulmonar pediátrico, simplemente son guías, no son valores absolutos, lo que prevalecerá siempre será la condición clínica del niño y el juicio sustentado del perfusionista.

	30°C pH-stat (alfa-Stat equivalente)	24°C pH-stat (alfa-Stat equivalente)	18°C pH-stat (alfa-Stat equivalente)
pH	7,40 (7,29)	7,40(7,22)	7,40(7,15)
PaCO ₂ mmHg	40(54)	40(70)	40(91)
PO ₂ mmHg Estrategia Normóxica	200(230)	200(255)	200(277)
PO ₂ mmHg Estrategia Hiperóxica	500(549)	500(549)	500(642)

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition . John Wiley & Sons, inc. 2015 The bypass plan, 3. Pág:41. Traducción propia

Parámetro	Niño con cardiopatía cianótica	Niño sin cardiopatía cianótica	Observación
DO ₂	≥350 ml/min/m ²	≥350 ml/min/m ²	Según la temperatura
DO ₂ /VCO ₂	Mayor a 5	Mayor a 5	
SvO ₂	65-75%	65-75%	<ul style="list-style-type: none"> Según hemoglobina y flujo sanguíneo (GC). Evite la transfusión excesiva de glóbulos rojos y la exposición a múltiples donantes, durante el recalentamiento y después de la liberación del pinzamiento aórtico, cuando las caídas de SvO₂ son transitorias.
PaO ₂	100-250 mmHg Importante mantener la PaO ₂ en el extremo inferior del rango durante el inicio de la CEC (especialmente en pacientes cianóticos), durante la reperfusión miocárdica y durante el reinicio de la CEC, después de una cirugía con hipotermia profunda (DHCA).	150-250 mmHg Importante mantener la PaO ₂ en el extremo inferior del rango durante el inicio de la CEC, durante la reperfusión miocárdica y durante el reinicio de la CEC, después de una cirugía con hipotermia profunda (DHCA).	Estrategia normóxica PaO ₂ : 100-300 mmHg. Estrategia hiperóxica: PaO ₂ mayor a 300 mmHg (14)
PCO ₂	35-45 mmHg Evite valores de PaCO ₂ excesivamente bajos para asegurar una perfusión cerebral.	35-45 mmHg Evite valores de PaCO ₂ excesivamente bajos para asegurar una perfusión cerebral.	Según las condiciones basales del niño, realizar las correcciones lentamente, para respetar los mecanismos de autorregulación cerebral.
Hematocrito	Mayor a 40%	30-35%	<ul style="list-style-type: none"> Individualizar, por ejemplo, en los neonatos con hipoplasia del ventrículo izquierdo, se sugiere mantener el hematocrito mayor a 40%. Antes del recalentamiento, se añaden glóbulos rojos según la demanda de oxígeno medida por el SvO₂
pH-stat			Enfriamiento, en especial al disminuir los 30°C. Rango de gases sanguíneos a la temperatura real pH 7,40

Minimally invasive extracorporeal circulation in cardiac surgery Konstantinos S. Mylonas and Dimitrios V. Avgerinos Department of Cardiac Surgery, Onassis Cardiac Surgery Center, Athens, Greece Minimally invasive extracorporeal circulation in cardiac surgery Chapter | 34.2023 Traducción: autores del presente documento

Gestión de la SvO₂:

Rango SvO₂: 65%-75%, según las condiciones clínicas del paciente y su individualización.

Intervención para niveles bajos de SvO₂: (según corresponda, evaluar antes de corregir)

- Aumente el flujo efectivo.
- Incremente la entrega del anestésico halogenado.
- Consulte al anestesiólogo si se debe administrar al paciente agentes opioides o relajantes musculares.
- Adicione GRE.

Manejo de SvO₂ baja versus flujo efectivo bajo:

Sí requiere mantener un hipo flujo (a la mitad o menos del flujo efectivo) por requerimiento en la técnica quirúrgica, considere profundizar la hipotermia.

3.2.2. Suministrar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo del primado o cebado, la hemodilución, y los circuitos durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Gestión de líquidos, circuitos y manejo de la sangre durante CEC.

El priming o cebado recomendado en el bypass cardiopulmonar pediátrico, siempre será el que requiera el caso específico del niño, se presenta en la siguiente Tabla 8. Componentes de las soluciones cristaloides, con el fin de apoyar la decisión del perfusionista en el momento del priming del circuito de CEC.

Adición de medicamentos al cebado.

Cálculo de Bicarbonato de sodio:

La cantidad de NaHCO₃ necesaria para una determinada cantidad de volumen sanguíneo se puede calcular donde x = mEq NaHCO₃ y V = ml de volumen sanguíneo:
 $x = 0,025 V$

Sí, se añaden glóbulos rojos al cebado, se debe tomar una muestra y administrar NaHCO₃ según la siguiente fórmula:
 $mEq NaHCO_3 = 0,3(kg peso)(BE)/2$

Cálculo de manitol:

Dosis: 0,25 g/kg

TABLA 8. COMPONENTES DE LAS SOLUCIONES CRISTALOIDES

	Plasma-Lyte A 7,4	Isolyte S 7,4	Normosol-R	Lactato de Ringer	Solución Hartmann
Sodio(mEq/L)	140	141	140	130	131
Potasio(mEq/L)	5	5	5	4	5
Magnesio(mEq/L)	3	3	3	0	0
Cloro(mEq/L)	98	98	98	109	111
Acetato(mEq/L)	27	27	27	0	0
Gluconato(mEq/L)	23	23	23	0	0
Fosfato(mEq/L)	0	1	0	0	0
Lactato (mEq/L)	0	0	0	28	29
Calcio (mEq/L)	0	0	0	1,5-3,0	2
Osmolaridad Calculada	294	295	295	273	279
Rango del pH	6,5-8	7,0-7,8	6,5-7,6	6,0-7,5 (el lactato metabolizado por el hígado puede ser alcalinizante)	5,0-7,0 (l lactato metabolizado por el hígado puede ser alcalinizante)

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 2. P:28. 2015.

O según protocolo institucional. En algunos casos se administra 0,25 g/kg en el cebado y luego la misma dosis o la mitad al liberar el pinzamiento aórtico.

Cloruro de calcio: CaCl₂

CaCl₂ se debe ajustar según el reporte de los gases tomados al priming. Se igual manera, se debe medir el nivel de Ca⁺⁺ ionizado del perfusado previo el inicio o poco después del inicio de la CEC y corregirlo hacia arriba a 0,7 - 0,9 mM/L, si es necesario.

Antibiótico, corticoides y otros medicamentos:

Solo se adicionarán sí es parte del protocolo institucional, administrar según la función renal y la terapia antibiótica instaurada.

A continuación, en la tabla 9. **Sugerencia de primado en un circuito de CEC pediátrico**, se expone un modelo de ensamble y primado del circuito de CEC:

TABLA 9. SUGERENCIA DE PRIMADO EN UN CIRCUITO DE CEC PEDIÁTRICO	
Primado de un circuito de CEC	Observaciones
1.Una vez ensamblado todo el circuito, purgar con CO ₂ a 5 Lpm durante 5 minutos.	
2.Programar el blender de acuerdo a la relación O ₂ , CO ₂ , FiO ₂ que se tenga establecido.	
3.Instalar el intercambiador de calor y verificar la integridad de la membrana.	
4.Administrar 500cc de solución cristaloide (multielectrolitos, plasmalyte), recircular y filtrar hasta un nivel de reservorio dinámico (algunos estudios lo consideran 30 y otros 75ml).	
5.Incorporar el volumen de glóbulos rojos y PFC, continuar recirculando.	Según los cálculos de hemodilución y hematocrito meta u objetivo
6.Filtrar hasta un volumen de 250ml en el reservorio (Primer lavado).	
7.Adicional 250ml de cristaloide para continuar con el segundo lavado.	
8.Sí, los glóbulos rojos presentan un tiempo de almacenamiento prolongado, el sistema podrá requerir un tercer lavado.	
9.Obtener un volumen de reservorio de 150ml y adicionar los siguientes componentes: <ul style="list-style-type: none"> • SS0.45% (entre 60-100ml dependiendo si es un paciente neonatal o pediátrico). • Bicarbonato de Sodio: 15-20meq. • Heparina: según protocolo institucional ó 100 U/kg • Gluconato de Calcio y Sulfato de Magnesio según cada caso específico. 	
10.Recircular todo el volumen de cebado obtenido durante 5 minutos y una vez cumplido ese tiempo, realizar toma de muestra del primado, para evaluar: ACT, GA, HB, HCTO, NA, K, CL, CAi, LACTATO y glucometría.	
11. Con los resultados de laboratorio obtenidos, se harán los ajustes necesarios, para que cada uno de estos parámetros se encuentren en rangos de normalidad.	
Nota: para el paciente neonatal de cirugía compleja, se puede extraer 10-15cc/kg del volumen de PFC para ser empleado en la fase del calentamiento, ya que estudios han demostrado su impacto positivo si se administra antes de la toma del ROTEM.	
Nota: la albúmina se sugiere según protocolo institucional. En ocasiones: adicionar después de la canulación arterial (evitar la formación de micro burbujas) y recircular antes de iniciar CEC (para tapizar la membrana).	

Fuente: Recomendación de expertos. Autores del presente documento. ALAP. 2024

TABLA 10. ÍNDICE DE VOLUMEN SANGUÍNEO SEGÚN PESO EN KILOGRAMOS	
Rango de peso en kilogramos	Índice de volumen sanguíneo intravascular
< 10 kg	85 ml/kg
> 10 kg <20 kg	80 ml/kg
> 20 kg < 30 kg	75 ml/kg
> 30 kg < 40 kg	70 ml/kg
> 40 kg	65 ml/kg

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 2. P:32. 2015.

El volumen de glóbulos rojos necesario para un determinado hematocrito objetivo en la CEC se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

TABLA 11. CÁLCULO DE HEMATOCRITO (HTO) SEGÚN HEMODILUCIÓN:	
Cálculo de hematocrito(hto) en CEC	Cálculo adición de glóbulos rojos(GRE) en CEC
$\frac{\text{Hto en CEC} = (\text{volemia del paciente} \times \text{Hto actual})}{(\text{volemia del paciente} + \text{volumen del priming})}$	$\text{Adición GRE en CEC} = (\text{volemia del paciente} + \text{volumen del priming}) (\text{Hto deseado}) - (\text{volemia del paciente}) (\text{Hto actual del pte})$
	Hto de la unidad de GRE

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 2. pág:30. 2015.

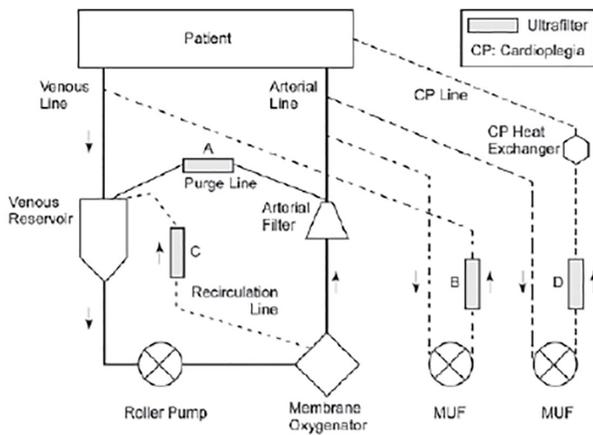
El impacto de la Ultrafiltración en el bypass cardiopulmonar pediátrico, depende de varios factores, desde las características de los hemoconcentradores (Ver Tabla 12. **Características de los Hemoconcentradores**, al tipo de ultrafiltración utilizada y por supuesto a la evaluación de los resultados obtenidos.

TABLA 12. CARACTERÍSTICAS DE LOS HEMOCONCENTRADORES					
Sistema de ultrafiltrado	Minntech Jr.-Mini-400-700-1000-1400	Jostra BC20-60-140	Dideco DHF02-06-SH1.4	Fresenius HF3000-5000	Terumo HC05-11
Material	Polysulfone	Polyarylsulfone	Polyethersulfone	Polyethersulfone Polysulfone	Polysulfone
Volumen de primado	8-14-27-58-70-86	17-65-98	30-60-80	30-72	35-70
Área de superficie de membrana	0,09-0,07-0,3-0,71-1,06-1,31	0,2-0,7-1,35	0,25-0,68-1,4	0,4-1,2	0,5-1,1
Tamaño del Poro (Dalton)	65000	/	/	/	/
PTM	500	600	500	600	500
Presión de caída	55-30-61-142-85-78	/	50-150	144-65	/
Diámetro interno de la fibra	200-620-200-200-200-200	215	200	200	/
Espesor de la membrana	/	50	30	/	/

Fuente: Wang S, Palanzo D. Current ultrafiltration techniques before, during and after pediatric cardiopulmonary bypass procedures, Perfusion 2012;27(5) 438– 446.

Se presentan a continuación los tipos de ultrafiltración más utilizados en CEC, ver Figura 7. Técnicas de ultrafiltración en CEC.²⁹

Ultrafiltración Prebypass: Se utiliza para filtrar la purga cuando los productos sanguíneos son adicionados en el primado, y esto se realiza previo a entrar en circulación extracorpórea. El objetivo es remover potasio, disminuir glicemia, bradiquinina, citrato y lactato que contiene la sangre de banco, componentes que activan respuesta inflamatoria. Se sugiere tomar una muestra de ese perfusado previa entrada a CEC con el fin de optimizarlo en todos sus componentes.



Wang S., Palanzo D. Current ultrafiltration techniques before, during and after pediatric cardiopulmonary bypass procedures, *Perfusion* 2012; 27(5) 438– 446. Ultrafiltración arteriovenosa A: del filtro arterial al reservorio venoso; B: de la línea arterial a la línea venosa; C: desde la línea de recirculación hasta el reservorio venoso; D: desde la línea arterial hasta la línea de administración de cardioplejía.

Figura 7. Técnicas de ultrafiltración en CEC.

Ultrafiltración convencional: Se suele utilizar durante el bypass, solo permite extraer volúmenes adicionales como las dosis de cardioplejía y el agua proveniente de las succiones, debido a que es muy difícil sacar adicionalmente volumen pues el nivel del reservorio exige un límite de seguridad. Respecto a la parte técnica existen diversos circuitos, es común y sencillo de aplicar, un puerto de la línea arterial ya sea en el filtro arterial, de la cánula o entre el oxigenador y el filtro arterial, en este puerto se coloca la línea que pasa por un rodillo hacia el hemofiltro y la línea del hemofiltro que sale se conecta al reservorio venoso o hacia la cánula venosa para después ser utilizado en la técnica de la MUF. La desventaja de este sistema es que el flujo utilizado para esta ultrafiltración es extraído del flujo que se está suministrando al paciente lo que podría ocasionar hipoflujo, por lo que es necesario compensar esta situación aumentando el gasto.

Algunos centros utilizan la técnica de balance cero (ZBUF), donde se hace adición de cristaloides para mantener la hemofiltración continua, sin arriesgar el nivel del reservorio.

Ultrafiltración modificada MUF: Se utiliza después del cese de la circulación extracorpórea durante un tiempo promedio de 10 - 15 minutos. Este tiempo se obtiene de la meta de líquidos a sacar del paciente, según la individualización del caso. Los efectos de la MUF en diferentes sistemas y órganos^{29,30} pueden ser consultados en la **Tabla 13**. Efectos de la MUF en la función hemodinámica y miocárdica y **Tabla 14**. Efectos de la MUF en la función pulmonar. Puede utilizarse veno venoso, veno arterial y arterial venoso. El más común es el arterio venoso en donde el volumen a extraer se deriva de la cánula aórtica ya sea de un puerto colocado en ésta, o en el filtro arterial, o entre la salida del oxigenador y el filtro arterial, retornando la sangre a la cánula venosa única o selectiva en un rango de 10-15 ml/kg/min o manteniendo flujo de 300 a 400 ml/min, con ayuda de vacío en el efluente del hemofiltro.

TABLA 13. EFECTOS DE LA MUF EN LA FUNCIÓN HEMODINÁMICA Y MIOCÁRDICA	
Zhou et al.	Mejora significativa en función del miocardio después de MUF.
Ricci et al	Aumento significativo de la presión arterial después de MUF.
Yokoyama et al.	Aumento de la presión sanguínea después de la MUF.
Chaturvedi et al.	Mejora significativa en la función ventricular izquierda global después de MUF.
Hodges et al	Aumento significativo en la presión arterial sistólica e índice cardíaco después de MUF.
Naik et al.	Aumento significativo de la presión sistólica y presión arterial diastólica después de MUF.

Fuente: Ziyaeifard M., Alizadehasl A.; Massoumi G. Res Modified Ultrafiltration During Cardiopulmonary Bypass and Postoperative Course of Pediatric Cardiac Surgery *Cardiovasc Med.* 2014;3(2):e17830.

TABLA 14. EFECTOS DE LA MUF EN LA FUNCIÓN PULMONAR	
keenan et al.	Mejora considerable en dinámica y estática pulmonar inmediatamente después de MUF.
Liu et al.	Disminución considerable en la mecánica de tiempo de ventilación y estancia en la UCI y mejores índices de ventilación en el grupo MUF.
Onoe et al.	La MUF puede dar como resultado una mejor función de la capacidad pulmonar en pediatría después de la cirugía.
Torina y col.	La MUF tuvo efectos positivos sobre la función pulmonar y disminuyó las necesidades de transfusión.
Huang et al.	La Ultrafiltración continua y modificada disminuyó la lesión pulmonar.
Mahmoud et al.	Función pulmonar mejorada en el grupo MUF.

Fuente: Ziyaeifard M., Alizadehasl A. Massoumi G. Res Modified Ultrafiltration During Cardiopulmonary Bypass and Postoperative Course of Pediatric Cardiac Surgery *Cardiovasc Med.* 2014;3(2):e17830

Diferentes aspectos a tener presente, al escoger el circuito para el bypass cardiopulmonar del neonato, infante y pediátrico.

Selección del oxigenador o membrana:

Se escogerá según las especificaciones publicadas por el fabricante o IFU (information for use)

TABLA 15. TASA DEL FLUJO SANGUÍNEO SEGÚN PESO CORPORAL	
Peso del paciente	Tasa del flujo sanguíneo
0 - 3 kg	200 ml/kg/min
3 - 10 kg	150 ml/kg/min
10 - 15 kg	125 ml/kg/min
15 - 30 kg	100 ml/kg/min
> 30 kg	75 ml/kg/min
>55 kg	65 ml/kg/min

Fuente: Gravlee G., Davis R., Hammon J., Cardiopulmonary bypass and Mechanical support: pediatric cardiopulmonary bypass, chapter 28, 4 th edition, Wolters Kluwer. 2016

TABLA 16. TAMAÑOS DE TUBERÍA Y FLUJOS MÁXIMOS			
Diámetro de la tubería	Flujo máximo en el cabezal del rodillo (ml/min)	Flujo máximo de la línea arterial (ml/min)	Flujo máximo de la línea venosa con drenaje por gravedad
3/16	1,200	1,500	600
1/4	2,100	3,150	1,800
3/8	4,400	>3,150	3,750
1/2	>4,400	NA	>3,750

Fuente: Gravlee G., Davis R., Hammon J., Cardiopulmonary bypass and Mechanical support: pediatric cardiopulmonary bypass, chapter 28, 4 th edition, Wolters Kluwer. 2016

TABLA 17. SELECCIÓN DE LA TUBERÍA SEGÚN EL FLUJO SANGUÍNEO	
Paciente	Flujo sanguíneo
Neonatal: 3/16- ¼	< 800 ml/min
Lactante: ¼ - ¼	800 < 1278
Infante pediátrico: ¼ - 3/8	1 278 < 2 898 ml/min
Pediátrico: 3/8 - 3/8	2 898 < 3 500 ml/min
Adulto: 3/8 - 1/2	3 500 ml/min

Fuente (adaptado): Akif Ündar, Krishna Patel, Ryan M. Holcomb, Yongwook Dan, Chapter 22 - Cardiopulmonary bypass in neonates and infants, Editor(s): Kaan Kirali, Joseph S. Coselli, Afksendiyos Kalangos, Cardiopulmonary Bypass, Academic Press, 2023, Pages 359-379, ISBN 9780443189180, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18918-0.00022-X>.

TABLA 18. SELECCIÓN DE LA TUBERÍA PARA EL CABEZAL PRINCIPAL	
Tubería	Flujo sanguíneo
3/16"	≤700 ml/min
¼"	> 700 < 1 300 ml/min
3/8"	> 1 300 < 2 700 ml/min
½"	> 2 700 ml/min

Fuente (adaptado): Akif Ündar, Krishna Patel, Ryan M. Holcomb, Yongwook Dan, Chapter 22 - Cardiopulmonary bypass in neonates and infants, Editor(s): Kaan Kirali, Joseph S. Coselli, Afksendiyos Kalangos, Cardiopulmonary Bypass, Academic Press, 2023, Pages 359-379, ISBN 9780443189180, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18918-0.00022-X>.

TABLA 19. SELECCIÓN DE OXIGENADORES		
Oxigenador	Flujo Máximo	Recubrimiento
NEONATAL KIDS 100	700 ml/min.	phσιο
BABY TERUMO	1,4 L/min.	x-coating
QUADROX-I NEONATAL	1,5 L/min.	soflino
PIXIE MEDTRONIC	2 L/min	Balance
INFANTIL KIDS 101	2,5 L/min	phσιο
INFANTIL D101	2,5 L/min.	phσιο
QUADROX-IPEDIATRIC	2,8 L/min.	soflino
TERUMO RX-FX 15 /30	4 L/min	x-coating
TERUMO RX -FX15/40	5 L/min.	x-coating
PEDIÁTRICO D905	5 L/min.	phσιο
TRILLY PEDIATRIC	3,5 L/min	phosphorylcolina

TABLA 20. VOLUMEN DE PURGA DE LAS TUBERÍAS DEL CIRCUITO PARA EL BYPASS CARDIOPULMONAR						
Diámetro interno de la tubería	1/8	3/16	¼	5/16	3/8	1/2
Milímetros por pie	2,4	5,0	9,7	15,5	21,7	38,6

Fuente: Gravlee G., Davis R., Hammon J., Cardiopulmonary bypass and Mechanical support: pediatric cardiopulmonary bypass, chapter 28, 4 th edition, Wolters Kluwer. 2016

Selección de las cánulas arteriales y venosas:

Para asegurar el influjo arterial y el retorno venoso apropiado es importante tener presente varios factores, entre ellos la selección del tipo y tamaño de las cánulas arteriales y venosas, así como el sitio de canulación, las características técnicas de las cánulas, la anatomía del caso quirúrgico y el respeto por los flujogramas de las presiones de cada cánula.

Las cánulas arteriales son ubicadas a menudo en la aorta ascendente proximal, ver **Tabla 21:** Cánulas arteriales para canulación central aórtica o en la arteria innominada. Otras alternativas incluyen la canulación de la arteria femoral, ver **Tabla 22:** Cánulas arteriales para canulación femoral en reoperaciones, doble canulación arterial en arcos aórticos interrumpidos y canulación del ductus arterioso y la arteria pulmonar para la hipoplasia del arco aórtico y aorta ascendente. Si la cánula arterial es pequeña se limitará el flujo llevando a presiones altas, incrementando las velocidades del flujo chocando contra la pared arterial, pudiendo dañar los elementos formes de la sangre.

La presión de caída de la cánula arterial es normalmente limitada a 100 mmHg (5).

La caída de presión a través de la(s) cánula(s) venosa(s) no debe exceder -100 mmHg ó -136 cm/H₂O.

TABLA 21. CÁNULAS ARTERIALES PARA CANULACIÓN CENTRAL AÓRTICA	
Peso (Kg)	Tamaño(Fr)
<2.5	6
2,5-4,5	8
4,5-10	10
10-14	12
14-28	14
25-35	16-18
28-35	16-18
35-50	16-18-20
50-75	18-20-22
75-100	20-22
75-90	22-24
>90	22-24

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 1. P:23. 2015. Traducción propia.

TABLA 22. CÁNULAS ARTERIALES PARA CANULACIÓN FEMORAL	
Peso(Kg)	Medida(Fr)
h	8
4,5-10	10
10-14	12
14-28	14
28-40	15
40-55	17
55-75	19
>75	21

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 1. P:23. 2015. Traducción propia.

TABLA 23. CÁNULAS VENOSAS PARA CANULACIÓN BICAVA		
CÁNULAS VENOSAS DE PUNTA METÁLICA ANGULADAS.		
Peso (Kg)	Vcs(Fr)	Vci(Fr)
<3	12	12
3-6	12	14
6-8	12	16
8-12	14	16
12-16	14	16
16-22	16	18
22-30	16	18
30-34	18	20
34-46	18	20 ó 22
46-58	20	22
58-75	20	24
75-100	22	24
>100	22 ó 24	24 ó 28

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 1. P:14. 2015. Traducción propia.

Selección de la cánula de ventilación ventricular izquierda:
Se utiliza una cánula de ventilación del ventrículo izquierdo para descomprimir el ventrículo izquierdo.

TABLA 24. CÁNULA DE VENTILACIÓN VENTRICULAR IZQUIERDA SEGÚN PESO CORPORAL		
Tipo	Tamaño	Peso
Punta maleable	10 fr.	5-14kg
Vent curvo	10 fr.	< 14kg
Vent curvo	13 fr.	14 – 30kg
Vent adulto	16 fr.	30 – 50kg
Vent adulto	20 fr	> 50kg

Fuente Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 1. P:23. 2015. Traducción propia.

3.2.3 Proporcionar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de variables fisiológicas en circulación extracorpórea como: presión arterial media, temperatura, marcadores bioquímicos y aplicabilidad del flujo pulsátil.

Algunos valores objetivos durante la conducción de la CEC en niños se sugieren a continuación:

TABLA 25. RANGOS TÍPICOS DE PRESIÓN ARTERIAL OBJETIVO DURANTE LA CEC	
Edad Paciente	Presión Arterial Media
<1 mes	30-45
1-12 mes	40-50
1-10 años	45-60
10-16 años	50-70
>16 años	60-90

Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 3. P:42. 2015.

Intervención cuando la PAM baja (96)(97):

- Verifique el cierre de la línea de recirculación de la membrana.
- Compense el robo de sangre al administrar cardioplejía, abrir hemofiltración y uso de aspiradores (vent, raíz aórtica y succiones de pericardio), es decir, gestione flujo efectivo.
- Disminuya la administración de anestésico halógeno, si la profundidad de la anestesia es adecuada.
- Determine con el cirujano la presencia de fistulas AV o colaterales pulmonares.
- Aumente el flujo efectivo hasta que se alcance la PAM adecuada o el límite superior del rango del flujo sanguíneo ml/kg/min.
- Administrar medicamentos por infusión o en bolos según protocolo institucional y en coordinación con el anesthesiólogo.

Intervención cuando la PAM es alta:^{96, 97}

- Administrar anestésico halógeno, logrando el CAM o MAC (concentración alveolar permitida) u otro vasodilatador sistémico.
- Reduzca la tasa del flujo efectivo sí la SvO2 > 65 %.

Flujos en CEC.⁵⁶

El flujo sanguíneo apropiado debe determinarse mediante la evaluación de una combinación de:

- Aporte y consumo de oxígeno
- Saturación venosa de oxígeno
- Área de superficie corporal
- Presión arterial: tener presente que La presión arterial mediante vasoconstrictores puede no ser un indicio de buena perfusión.
- Temperatura
- Clínica del paciente

Punto clave:

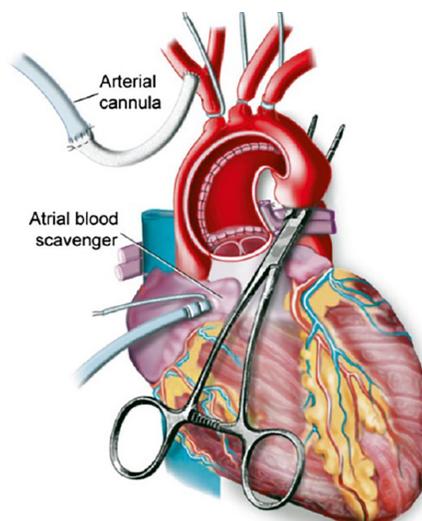
El perfusionista debe predeterminar un nivel operativo seguro para cada circuito de perfusión utilizado, con el fin de permitir un tiempo de reacción suficiente en caso de una disminución o pérdida del volumen circulante.

Perfusión regional de flujo bajo.

La perfusión regional de flujo bajo (RLFP) normalmente se refiere a la perfusión cerebral anterógrada selectiva y también puede ser referido como perfusión cerebral regional (RCP). RLFP es usada para permitir las reparaciones de arco aórtico mientras se evita, o más comúnmente se limita, el paro circulatorio total. Comúnmente se logra con la canulación arterial directa de la arteria innominada o con un injerto de tubo a la arteria innominada en la que se inserta la cánula arterial, como se representa en la **Figura 8**.

Los pacientes se colocan en bypass con cualquier método y se enfrían a una temperatura objetivo de 18-24°C. Una vez alcanzado la temperatura objetivo, los flujos de la bomba son reducidos a 20-40 ml/kg/min y se colocan los torniquetes braquiocefálicos, lo que permite una perfusión selectiva del cerebro con drenaje a la vena cava superior o de la aurícula derecha de donde la sangre se devuelve a la bomba.

Otra estrategia es la doble anulación, donde la primera cánula se coloca directamente en la aorta ascendente o a través de un injerto en la arteria innominada y la segunda cánula a través del ductus arterioso en la aorta descendente para perfundir la parte baja del cuerpo durante el enfriamiento.



Tomado:Gravlee G., Davis R., Hammon J., Cardiopulmonary bypass and Mechanical support: pediatric cardiopulmonary bypass , chapter 28, 4 th edition, Wolters Kluwer. 2016

Figura 8. Canulación arterial por medio de injerto

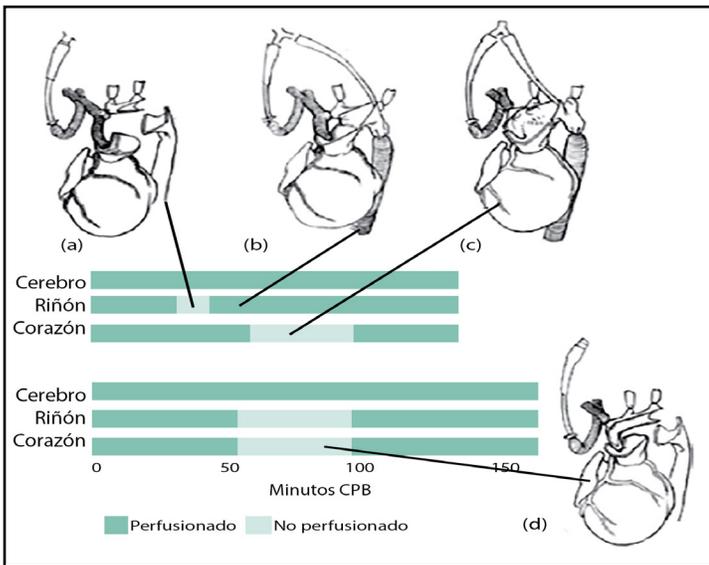
TABLA 26. TÉCNICA DE PERFUSIÓN CEREBRAL ANTERÓGRADA DEL TEXAS CHILDREN'S HOSPITAL	
1.	Injerto de PTFE de 3,5 mm a la arteria innominada derecha, después de 100 unidades / kg de heparina, con suturas de prolene 8-0.
2.	Cánula aórtica estándar de 10 Fr en el extremo distal del injerto.
3.	Canulación auricular o bicava individual.
4.	Usar NIRS bifrontales bilaterales y TCD (doppler transcraneal) a través de la fontanela anterior o ventana temporal para la monitorización fisiológica cerebral.
5.	Establecer la velocidad basal del flujo sanguíneo cerebral promedio usando TCD, y rSO ₂ usando NIRS a 18-22 ° C a flujo completo CPB: 150 ml / kg / min; MAP 30-35 mmHg; utilizar el bloqueo del receptor α con fentolamina o fenoxibenzamina si es necesario. (rSO ₂ normalmente 90-95% bilateralmente, CBFV promedio normalmente 18-25 cm / seg).
6.	Utilice la gestión de estadísticas de pH, Hct 30-35 en todas las fases de CPB.
7.	ACP iniciado después de breve DHCA para septectomía auricular para Norwood: todos los vasos braquiocefálicos y la aorta torácica descendente enganchados; temperatura siempre 18 ° C: comenzar a 37.5 ml / kg / min.
8.	Ajuste el flujo de ACP usando TCD para alcanzar el CBF dentro de ± 10% de la línea base con flujo de CPB completo.
9.	rSO ₂ debe estar dentro de ± 10% de la línea base, o 90-95% bilateralmente; si la rSO ₂ izquierda cae a más del 10% por debajo de la derecha, aumente el flujo de ACP.

Fuente: Andreas Habetheruer, Dominik Wiedemann, Alfred Kocher, Guenther Laufer, Prashanth Vallabhajosyula. How to Perfuse: Concepts of Cerebral Protection during Arch Replacement. Biomed Res Int. 2015; 2015: 981813. Published online 2015 Dec 2. doi: 10.1155/2015/981813. ACP(perfusión cerebral selectiva anterógrada) DHCA(arresto circulatorio con hipotermia profunda) CFB(flujos basal cerebral).

Estrategia de perfusión para tres regiones en la corrección del Arco aórtico:

Después de la esternotomía, se sutura un conducto Gore-Tex de 3 - 3,5 mm en la arteria innominada. Una cánula aórtica 8 French se conecta mediante un conector en "Y" al circuito

arterial. Se obtiene un drenaje venoso de cava y se inicia un *bypass* cardiopulmonar con el paciente enfriado a 32°C mientras se completa la disección. Ver Figura 9. El arco distal está aislado por la oclusión del torniquete del arco transversal, todos los vasos braquiocéfálicos más allá de la arteria innominada y la aorta descendente. Después de realizar una coartectomía, la reconstrucción del arco distal se completa sin interrupción de las circulaciones cerebral o coronaria y con una breve interrupción de la circulación esplácnica (fig. A). La segunda cánula arterial se coloca directamente en la aorta descendente. La perfusión de la circulación esplácnica se reanuda mientras se completa la reconstrucción del arco transversal, y después de una interrupción típicamente más corta que la técnica estándar actual (fig. B). La cardioplejía anterógrada se administra después del aislamiento de la aorta ascendente proximal y la reconstrucción proximal se completa con una perfusión completa y directa de las circulaciones esplácnica y cerebral (fig. C). El flujo sanguíneo pulmonar luego se restablece usando un derivador Blalock-Taussig modificado de 3,5 mm derecho o un conducto Sano de 5mm. Esta técnica se puede realizar, con una velocidad de flujo de 100 a 150 ml/kg/min.



Fuente: Matte G., Perfusion for Congenital Heart Surgery Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population John Wiley & Sons, Inc 2015. Representación esquemática de la estrategia de perfusión en tres regiones durante la reconstrucción del arco neo-aórtico. Las barras sombreadas representan la línea de tiempo de perfusión directa (sombreada) o isquemia (blanca) a cerebral (cerebro), circulación esplácnica (riñón) y coronaria (corazón).

Figura 9. Estrategia perfusión de tres regiones para arco aórtico

Gestión de la PVC (presión venosa central) y PPC (presión de perfusión cerebral).

Se afirma que existe un flujo sanguíneo cerebral adecuado, con presión sanguínea sistémica "razonable" y flujo del *bypass* (basado en la temperatura), si hay una presión de perfusión cerebral adecuada.

$FC (mL/min) = \frac{PPC \cdot mmHg}{RCV (mmHg/mL/min)}$	$PPC (mmHg) = PAM (mmHg) - PVC (mmHg)$
--	--

Durante la CEC, la PVC debe ser < 5 mmHg. Una PVC elevada puede provocar hipoperfusión, hipervolemia y edema, en particular cuando la PAM es baja.

Intervención con PVC elevada:

- Verifique que la línea venosa no esté ocluida.
- Compruebe la permeabilidad de la línea de monitoreo PVC, puesta a cero y calibración del respectivo transductor.
- Solicite al cirujano que compruebe la posición de las cánulas venosas.
- Revise al paciente en busca de evidencia de edema facial.

¿Cuáles son las recomendaciones de manejo en la temperatura del *bypass* cardiopulmonar en pediatría?

TABLA 27. CLASIFICACIÓN DE LOS RANGOS DE TEMPERATURA	
Término	Rango (°C)*
Normotermia	32 - 35
Hipotermia leve	28 - 32
Hipotermia moderada	24 - 28
Hipotermia Profunda	18 - 24
Arresto	<18

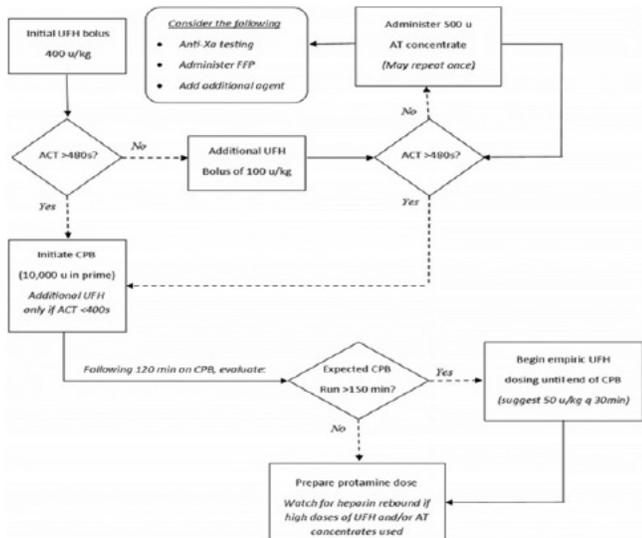
Fuente: Matte G. Perfusion for congenital heart surgery notes on cardiopulmonary bypass for a complex patient population first edition. John Wiley & Sons, Inc. Cap 3. Pág:49. 2015.

Gestión de electrolitos

TABLA 28. GESTIÓN DE ELECTRÓLITOS EN CEC		
Electrolitos sanguíneos	Meta	Intervención
Ca ⁺⁺	Mantenga un nivel de Ca ⁺⁺ ionizado de aproximadamente 0,8 mmol/l hasta 15 a 20 minutos después de la reperfusión miocárdica.	Corrija el nivel de Ca ⁺⁺ ionizado a aproximadamente 1,2 mmol/L 15 - 20 minutos después de la reperfusión miocárdica o que inicie la frecuencia cardiaca. La transfusión de glóbulos rojos puede reducir significativamente el Ca ⁺⁺ ionizado en pacientes < 10 kg. Puede ser necesaria la administración de CaCl ₂ .
K ⁺	Rango normal de K ⁺ : 3,5 - 5,5 mEq/L	La hipercalcemia se corrige realizando una terapia de ultra hemofiltración con soluciones balanceadas y con bicarbonato de sodio (evitando hipernatremia)
Glicemia	80 - 120 mg/dL	No permitir niveles de glicemia mayores a 200 mg/dL. Aplique protocolo institucional.

Fuente: Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. Copyright © 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: Priming the bypass circuit Cap 2, pág 27-32

3.2.3 Brindar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de la anticoagulación durante la circulación extracorpórea en pediatría



Fuente: Sniecinski, R. M., & Levy, J. H. (2015). Anticoagulation management associated with extracorporeal circulation. Best practice & research. Clinical anaesthesiology, 29(2), 189–202. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.03.005G>

Figura 10. Algoritmo de heparinización

3.2.4 Ofrecer al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para el manejo de la protección miocárdica durante la circulación extracorpórea en pediatría.

En cuanto a los sistemas de cardioplejía, existe gran variedad de fórmulas y protocolos de administración, basadas en la experiencia institucional y la preferencia del cirujano.^{83, 84} Una encuesta norteamericana de la Congenital Heart Surgeons' Society, mostró un 86% de los encuestados usaba cardioplejía con base en sangre, el componente cristaloides de esas soluciones variaba; un 38% del Nido, un 34% personalizado, un 16% St Thomas / Plegisol / Baxter, un 7% Custodiol, y 5% microplejía.⁸⁶ Se observó grandes diferencias con respecto a la dosis, al método de administración, la temperatura y el intervalo de tiempo entre las dosis.

Cardioplejía cristaloides versus cardioplejía sanguínea.

Se usan dos tipos de soluciones de cardioplejía en la población de pediatría, cada uno con sus propios méritos y deméritos.

- **Cardioplejía cristaloides:** la mayoría de ellas actúan despolarizando la membrana celular debido al alto contenido de potasio (10-20mmol/L), proporcionando

así detención electromecánica. Las ventajas de la cardioplejía cristaloides incluyen la rapidez de la inducción, la distribución uniforme y la rapidez de la reversión de los efectos.⁸⁴⁻⁸⁶ Son de dos tipos:

- **Extracelular:** Estos tienen niveles más altos de sodio, calcio y magnesio. Los ejemplos incluyen St Tomás I y St Thomas II (Plegisol®). St. Thomas II es más común en uso. Esta contiene una cantidad menor de potasio, calcio y sodio y tiene más pH fisiológico (7,8) en comparación con el pH ácido (5,5 - 7,0) de St. Tomás I.
- **Intracelular:** No tienen o tienen bajos niveles en sodio y calcio. Bretschneider -HTK -Custodiol (**Ver Tabla 29**) es una solución de cardioplejía intracelular comúnmente utilizada. Contiene cantidades reducidas de sodio, potasio y calcio. Tiene magnesio como agente estabilizador de membrana y está enriquecido con histidina, triptófano y cetoglutarato. Tiene un pH de 7,02 - 7,20. La dosis única de cardioplejía Custodiol® administrada por vía anterógrada proporciona una buena protección durante un período de hasta 2 horas.

TABLA 29. COMPOSICIÓN DE CARDIOPLEGIA CUSTODIOL

Ingredientes farmacológicamente activo	Mmol/1000 ml
Cloruro de sodio	15
Cloruro de potasio	9
Cloruro de calcio	0,015
Cloruro de magnesio	4
Bicarbonato de sodio	0
Histidina	180
Histidina hidrocloreto	18
Triptófano	2
Ketoglutarato	1
Manitol	30
Hidrogeno de potasio 2-oxopentandioato	1
Ph 25 C	7,02-7.20
Osmolaridad	320 mosm/kg

Fuente: Gravlee G., Davis R., Hammon J., Cardiopulmonary bypass and Mechanical support: pediatric cardiopulmonary bypass, chapter 28, 4 th edition, Wolters Kluwer. 2016.

- **Cardioplejía sanguínea:** este tipo de cardioplejía está asociada con múltiples ventajas, debido a la presencia de elementos celulares formados en la solución, por ende, mayor capacidad de transporte de oxígeno y una mayor concentración de sustratos naturales. Por lo

tanto, en el período de pinzamiento cuando se corta el suministro de sangre coronaria, pero el corazón sigue latiendo, la cardioplejía sanguínea asegura que el corazón está arrestado en un ambiente rico en oxígeno con una pérdida mínima de alta fosfatos de energía. Proporciona un entorno menos acidótico disponible para función celular. En presencia de radicales libres en la sangre ayuda a prevenir la lesión por reperfusión, a la que el corazón inmaduro es particularmente sensible.

La sangre tibia en comparación con la cardioplejía cristaloides fría tiene otras dos ventajas teóricas. La hipotermia causa que la curva de disociación de oxígeno y hemoglobina cambie a la izquierda y esto puede dificultar el suministro de oxígeno a los tejidos. Además, la hipotermia causa vasoconstricción en el lecho coronario que hace difícil la distribución uniforme de la solución cardiopléjica. Una de las desventajas de la cardioplejía sanguínea es la obstrucción capilar debido a elementos formados como neutrófilos y plaquetas presentes en la sangre lo cual puede ocasionar daños en áreas pequeñas.⁸⁴⁻⁸⁶

- Ver TABLA 30 Cardioplejía Del Nido, una de las cardioplejías más utilizadas en pediatría.

TABLA 30. COMPOSICIÓN DE CARDIOPLEJÍA DEL NIDO	
FORMULA CARDIOPLEJÍA DEL NIDO	
Componente	Cantidad
PLASMALYTE 148	1000
Bicarbonato sodio 1M	13
Manitol 20%	16.3
Sulfato magnésico 15%	13.3
Cloruro potásico 2 m	13
Lidocaina 2 %	6,5

Fuente: Matte G., Nido del P. History and Use of del Nido Cardioplejía Solution at Boston Children's Hospital. J Extra Corpor Technol. 2012 Sep; 44(3): 98-103.

Selección de cánulas para administración de cardioplegia

TABLA 31. SELECCIÓN DE CÁNULA DE CARDIOPLEJÍA DE RAÍZ AÓRTICA	
Tamaño	Peso kg
Calibre 18	1,5 - 5 kg
Calibre 16	5-20 kg
Calibre 14	20-35 kg
Calibre 12 > 35 kg	> 35 kg

TABLA 32. CÁNULA DE CARDIOPLEGIA DE OSTIUM CORONARIO	
Tipo	Tamaño
Cánula de cardioplejía coronaria ostium con punta dura	10, 12,14
Cánula de cardioplejía coronaria de ostium de punta blanda	Siliconadas, universales

TABLA 33. CÁNULA DE CARDIOPLEGIA RETRÓGRADA:	
Tipo	Tamaño
Neonatal	6 p.
Infante - Pediátrico	9 p.
Pediátrico	10p - 13p.
Adulto	15 p.

Paciente	Tipo de cardioplejía
Neonato, infante y pediátrico:	Cristaloides 4:1 Sanguínea
Dispositivos del mercado: LivaNova, Medtronic, Terumo, etc.	

Selección del sistema de administración de cardioplegia: Puntos claves:

- Administrar la cardioplejía cumpliendo los requisitos de tiempo, presión, volumen y temperatura.
- El cirujano debe avisar con suficiente antelación al perfusionista de que desea administrar una dosis de solución de reperfusión tibia. Si el perfusionista cree que está indicada la reperfusión caliente, puede sugerirla al cirujano.

3.2.3 Brindar al perfusionista, aspectos teóricos y técnicos para la monitorización neurológica central y somática durante la circulación extracorpórea en pediatría.

Actualmente en todas las intervenciones de cirugía cardiaca y en particular en las enfermedades de la aorta es recomendado el uso de dos sistemas de monitorización cerebral:

BIS (índice biespectral): Es un índice que se basa en variables del electroencefalograma (EEG) procesado y que mide la profundidad anestésica. Permite una evaluación continua y puede ser la primera señal de un deterioro neurológico. Sus valores están entre 0 y 100 (100: paciente despierto; 0: paciente sin actividad eléctrica cerebral). Cuando la tasa de supresión es mayor a 80 (o BIS <20) indica que el EEG está suprimido. En el coma barbitúrico la tasa de supresión debe ser superior al 60%.⁹²

Espectroscopia infrarroja cercana (NIRS).

El uso de la medición de oxigenación cerebral fue descrito por Jobsis en 1977. El método se basa en la tecnología NIRS (“near infrared spectroscopy”).⁹²⁻⁹⁴ Se emiten fotones de luz cercanos al infrarrojo (“NIR”) en la piel de la frente del paciente. Después de dispersarse por el interior del cuero cabelludo, cráneo y cerebro, parte de estos fotones vuelven a la piel.

Se utilizan dos sensores, que se colocan a ambos lados de la línea media. En cada sensor hay un punto emisor de luz y dos puntos de detección de la señal, situados a 3 cm y a 4 cm del punto emisor. La fuente de luz emite dos haces de luz en el rango próximo al infrarrojo (730 y 810 nm) e ilumina el tejido.

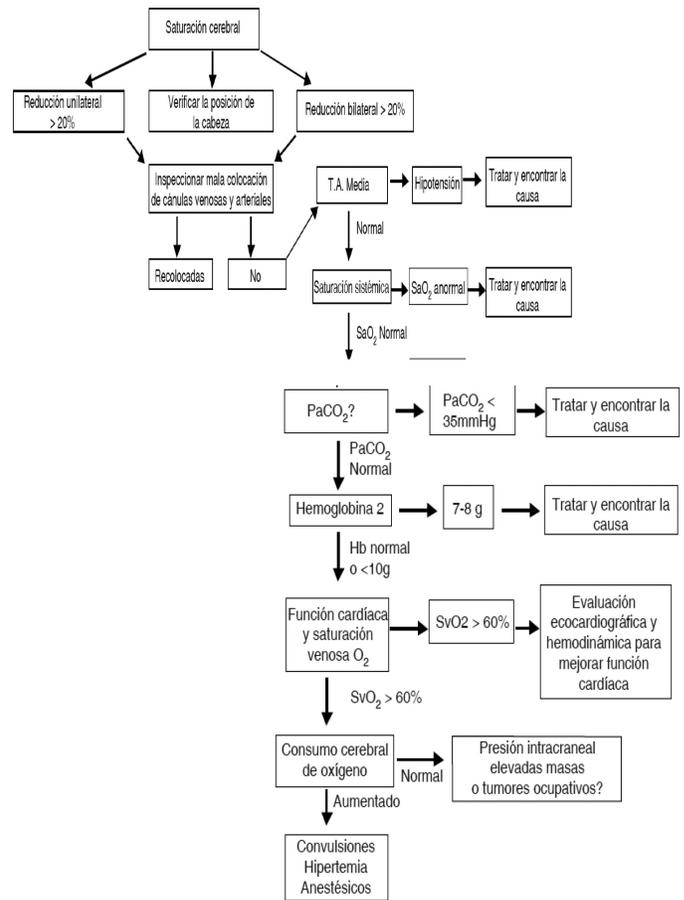
Los valores obtenidos de rSO₂ representan fundamentalmente el estado de oxigenación de los cromóforos del lecho vascular cerebral del compartimento venoso. Los cambios en la oximetría cerebral dependen del balance entre aporte y consumo de oxígeno, ver **Tabla 34**.

TABLA 34. FACTORES QUE AFECTAN AL APORTE Y AL CONSUMO DE OXÍGENO	
Factores que afectan al aporte de oxígeno	Factores que afectan al consumo de oxígeno
Saturación de oxígeno	
Hemoglobina	Profundidad anestesia
Presión arterial media	Agente anestésico
Gasto cardiaco	Temperatura
PaCO ₂	Desajuste flujo-metabolismo
Factores mecánicos	

Fuente: Pratomo BY, Sudadi S, Setianto BY, Novenanto TT, Raksawardana YK, Rayhan A, Kurniawaty J. Intraoperative Goal-Directed Perfusion in Cardiac Surgery with Cardiopulmonary Bypass: The Roles of Delivery Oxygen Index and Cardiac Index. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2024;30(1):23-00189. doi: 10.5761/atcs.ra.23-00188. PMID: 38684395; PMCID: PMC11082497.

No existe un umbral establecido claramente a partir del cual se tenga que intervenir. En la práctica se utilizan dos criterios derivados de diversos estudios:

1. Disminución de un 20% de la rSO₂ respecto a los valores basales
2. Valor absoluto de rSO₂ de 50%.^{93,94} Ver **Figura 11**.



Fuente: Murkin J. M. Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation British Journal of Anaesthesia 103 (BJA/PGA Supplement): i3–i13 (2009) doi:10.1093/bja/sep299.

Figura 11. Algoritmo fisiológico para manejo de la saturación cerebral

3.3 “Indicadores de calidad para evaluar y controlar el proceso de la CEC pediátrica”

El tercer capítulo titulado “Indicadores de calidad para evaluar y controlar el proceso de la CEC pediátrica”, sugiere algunos indicadores operacionales, simplemente con el fin de medir y por ende analizar para implementar mejoras en el proceso de atención a un niño que requiere de CEC.

El desarrollo y la validación de medidas de la calidad o de los “indicadores de calidad” es un paso esencial en el proceso de evaluación y mejora continua de la CEC pediátrica, basados en “lo no se registra no se mide y lo que no se mide no se puede mejorar”. El seguimiento y análisis de las bases de datos mejora las intervenciones e incremento de la calidad tanto institucional como de referencia.

Específicamente se utilizaron los Estándares y pautas para la práctica de perfusión pediátrica y congénita AmSECT 2023¹

y las medidas de calidad para cirugía cardíaca congénita y pediátrica que fueron desarrolladas, aprobadas por la Society of Thoracic Surgeons (STS) con el respaldo de la Congenital Heart Surgeons' Society (CHSS) ver **Tabla 35**.

TABLA 35. MEDIDAS DE CALIDAD PARA CIRUGÍA CARDIACA CONGÉNITA

1. Participación en una base de datos nacional para cirugía cardíaca congénita y pediátrica.
2. Rondas multidisciplinarias que involucran a varios miembros del equipo de atención médica.
3. Disponibilidad de un programa institucional de soporte vital extracorpóreo pediátrico (ECLS).
4. Volumen quirúrgico para cirugía cardíaca pediátrica y congénita: volumen programático total y volumen programático estratificado por los Cinco Categorías de mortalidad STS-EACTS.
5. Volumen quirúrgico para ocho operaciones de referencia de corazón pediátricas y congénitas.
6. Reunión de planificación preoperatoria multidisciplinaria para planificar operaciones de cirugía cardíaca pediátrica y congénita.
7. Reuniones programadas regularmente de Aseguramiento de Calidad y Mejora de la Calidad de Cuidados Cardíacos, que se realicen con una frecuencia no menor a una vez cada dos meses.
8. Disponibilidad de ecocardiografía transesofágica intraoperatoria (ETE) y ecocardiografía epicárdica.
9. Momento de la administración de antibióticos para pacientes con cirugía cardíaca pediátrica y congénita.
10. Selección de antibióticos profilácticos apropiados para pacientes con cirugía cardíaca pediátrica y congénita.
11. Uso de un "time-out" preprocedimiento y postprocedimiento ampliado.
12. Aparición de nueva falla renal postoperatoria que requiere diálisis.
13. Aparición de un nuevo déficit neurológico postoperatorio que persiste en el momento del alta.
14. Aparición de arritmia que requiere inserción permanente de marcapasos.
15. Aparición de diafragma paralizado (posible lesión del nervio frénico).
16. Aparición de necesidad de soporte circulatorio mecánico posoperatorio (IABP, VAD, ECMO o CPS).
17. Aparición de reintervención no planificada y / o procedimiento de cateterismo cardiovascular intervencional no planificado.
18. Mortalidad operatoria estratificada por las cinco categorías de mortalidad STS-EACTS.
19. Mortalidad operativa para las ocho operaciones de referencia.
20. Índice de operaciones cardíacas sin mortalidad y complicaciones mayores.
21. Supervivientes sin complicaciones mayores.

Abbreviations: STS, Society of Thoracic Surgeons; EACTS, European Association for Cardio-Thoracic Surgery; IABP, intra-aortic balloon pump; VAD, ventricular assist device; ECMO, extracorporeal membrane oxygenation; CPS, cardiopulmonary support system

Fuente: Andreas Habertheuer, Dominik Wiedemann, Alfred Kocher, Guenther Laufer, Prashanth Vallabhajosyula. How to Perfuse: Concepts of Cerebral Protection during Arch Replacement. Biomed Res Int. 2015; 2015: 981813. Published online 2015 Dec 2. doi: 10.1155/2015/981813. ACP(perfusión cerebral selectiva anterógrada) DHCA(arresto circulatorio con hipotermia profunda) CFB(flujo basal cerebral).

La Sociedad Estadounidense de Tecnología Extracorpórea (AmSECT) publicó los Estándares y pautas para la práctica de perfusión pediátrica y congénita en 2021. Los elementos

enumerados en estos documentos son los que AmSECT ha determinado, que son los requisitos mínimos para una circulación extracorpórea segura.

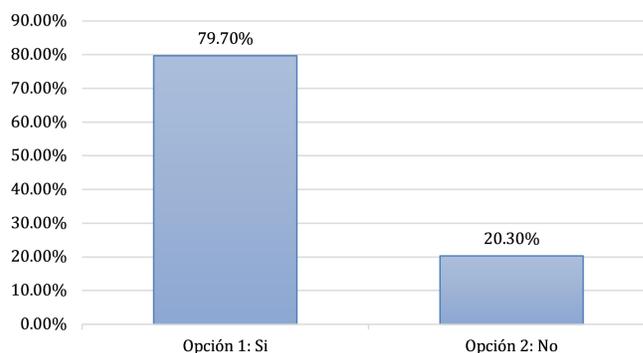
La AmSECT pauta que el perfusionista debe utilizar listas de verificación cuando se realicen pasos críticos en el bypass cardiopulmonar.

RECOMENDACIÓN	CLASIFICACIÓN
Desarrollo de protocolos de base institucional	Estándar 1
Personal de calificación, competencia y apoyo	Estándar 2
Comunicación	Estándar 3
Registro de perfusión	Estándar 4
Lista de Verificación	Estándar 5
Dispositivos de seguridad	Estándar 6
Supervisión	Estándar 7
Nivel de preparación	Estándar 17
Dotación de personal	Estándar 18
Horas de trabajo	Estándar 19
Garantía y mejora de la calidad	Estándar 20
Mantenimiento	Estándar 21

En una encuesta internacional on line, avalada por la Asociación Latinoamericana de Perfusionistas,⁹⁰ se evidencio en cuanto al cumplimiento de estándares de seguridad y calidad en el ejercicio de la perfusión pediátrica lo siguiente:

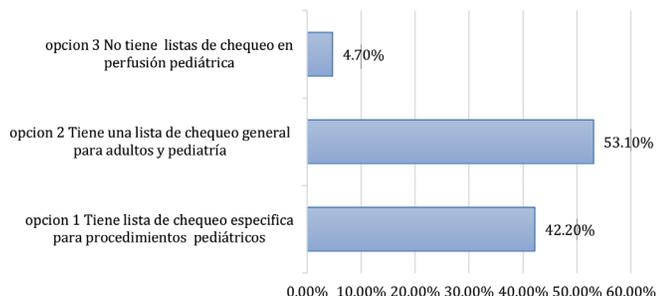
El total de perfusionistas que respondieron la encuesta fue un n=64, lograndose establecer que el 79,7% (n=51) de encuestados tienen estandarizadas sus actividades como perfusionista a través de protocolos o guías.

ESTANDARIZACIÓN A TRAVÉS DE GUÍAS Y PROTOCOLOS



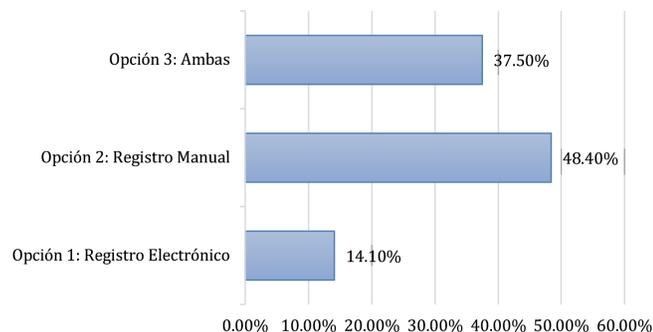
El 42,2% (n=27) de los encuestados cuenta con una lista de chequeo de preparación para la cec específica en pediatría y el 53,1% (n=34) la usan para CEC en adultos y pediatría.

LISTAS DE CHEQUEO EN PERFUSIÓN



El 98,4% dispone un formato de perfusión (n=63). El 37,5% n=24 de los Perfusionistas realizan su registro de manera manual y electrónica y el 9% n=9 exclusivamente de forma electrónica.

REGISTRO DE PERFUSIÓN



En general el uso de dispositivos de seguridad durante la perfusión pediátrica en la población encuestada es frecuente, los menos usados son los reguladores de CO₂, la válvula unidireccional o la pinza electrónica o alarma de flujo negativo con el uso de la centrifuga. En relación a las variables con menor supervisión o monitoreo durante la circulación extracorpórea en pediatría fueron: la presión entrada a la membrana, el delta de presiones, la presión venosa central, la oximetría renal y/o esplancica y el monitoreo de de eliminación de CO₂

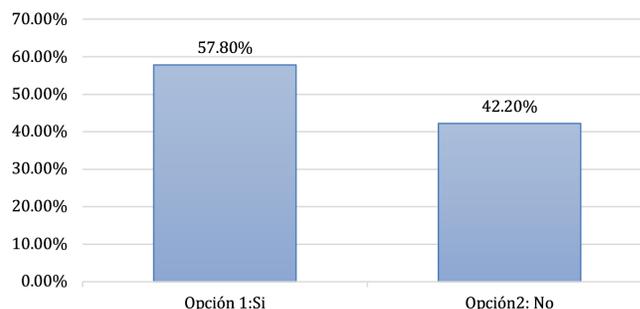
Conducción del *bypass* cardiopulmonar.

Los perfusionistas encuestados suministran el flujo de bomba en la población pediátrica teniendo en cuenta variables o

parámetros como la superficie corporal, la entrega y consumo de oxígeno, la temperatura, la saturación venosa y arterial, la oximetría cerebral, la hemoglobina o el hematocrito, la presión de perfusión, la carga de lactato.

Igualmente, el 57,8% tiene una guía que documenta el manejo de la presión de perfusión durante el *bypass* cardiopulmonar en pediatría, el 42,2 % no cuenta con ella.

GUÍA PARA MANEJO DE PRESIÓN DE PERFUSIÓN EN CEC PEDIÁTRICA



Puntos clave:

El perfusionista debe participar en la gestión de la calidad y velar por la implementación, diligenciamiento y seguimiento de:

- Registro de planificación de perfusión
- Registro de perfusión
- Dispositivos de seguridad adecuados: filtro arterial integrado o externo con línea de purga con válvula unidireccional; detector de burbujas; sensor de nivel; línea de eliminación de anestésico anestésico; línea de capnografía para medir el CO₂ expirado en el exosto de la membrana; válvula unidireccional en la línea de ventilación intracardiaco (vent); un método para prevenir el flujo retrógrado cuando se utiliza una bomba centrífuga.
- Dispositivos de monitoreo: indicador de flujo sanguíneo; medidor de flujo de anestésicos (la tendencia es que sea electrónico); monitor(es) fisiológico(s); monitor(es) hematológico(s); monitores de temperatura; temporizadores; analizador de anestésicos en sangre; monitor(es) de saturación de oxígeno; monitor(es) de química.

- e. El perfusionista debe asegurarse de que se realice el mantenimiento preventivo de los equipos de circulación extracorpórea (según las recomendaciones del fabricante, las directrices nacionales de habilitación y acreditación de los servicios en salud y de los requisitos institucionales)
- f. El perfusionista debe comprobar el funcionamiento de todas las bombas antes de cada caso. Verificar las oclusiones de cada bomba y ajustarse según sea necesario antes de cada caso. Comprobar que los sensores de flujo sanguíneo estén instalados y calibrados correctamente.
- g. Estandarizar la configuración de circuitos y el equipo de la CEC: con el fin de facilitar la transferencia o ayuda del caso de un perfusionista a otro. Se sugiere:

OXIGENADOR	ROLLER PRINCIPAL	MUF O CARDIOPLEJIA	RAIZ AORTICA	ASPIRACION DEL VENT	ASPIRACION DE PERICARDIO
------------	------------------	--------------------	--------------	---------------------	--------------------------

A continuación, se destacan algunos ejemplos de operativización de las variables para calidad, según el estándar referido.

5. ESTANDAR DE LISTA DE VERIFICACION	
Definición del indicador	Cumplimiento DE LISTADO DE VERIFICACION
Tipo de indicador	Proceso y Resultado
Dimensión	Seguridad del paciente
Fórmula	N.º de LISTADOS DE VERIFICACIONES REALIZADAS x 100 Total de Pacientes intervenidos con CEC
Estándar	100%
Definición de términos DEBE:	<p>PACIENTE.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Identificación confirmada. 2.-Procedimiento confirmado. 3.-Tipo de sangre y Anticuerpos confirmado 4.-Alergias chequeadas. 5.-Revisar historia y cálculos de perfusión. <p>BOMBA.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Oclusión revisada (rodillo arterial, cardioplegia, aspiradores, Hemofiltro). 2.-Transductor de flujo dirección correcta. 3.-Indicador Flujo, según tamaño de tubería. 4.-Rodillos libres, y en dirección correcta. 5.-Soporte asegurados. 6.-Conexiones de servorregulación probadas. <p>ELECTRICO.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Cables de corriente asegurados. 2.- Cables internos asegurados 3.- Batería cargada y funcionando

Definición de términos DEBE: (Continuación)	<p>CARDIOPLEGIA.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Sistema sin burbujas. 2.- Válvula de sobrepresión probada. 3.- Solución de cardioplegia chequeada. 4.- Clamp cerrados/abiertos verificados 5.-Intercambiador de calor probado 5 min. <p>GAS.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Línea de oxígeno y filtros asegurados, conectados y con alarma. 2.- Blender- flujómetros funcionales. 3.- Salida de gas de la membrana sin obstrucción 4.- Gas anestésico conectados. 5.- Capnografía conectada a salida de oxigenador. <p>LINEAS Y TUBERIAS DE BOMBA.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.-Conexiones seguras/llaves de vías y tapas aseguradas. 2.- NO acodamientos. 3.- Válvulas antirreflujo en dirección correcta. 4.- Líneas apropias clampeadas, bypass de filtro arterial clampeado (si aplica). 5.- Secuencia del circuito chequeado. <p>SEGURIDAD Y MONITOREO.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Sensores de presión conectados y calibrados. 2.- Reservorio de cardiotomía venteado 3.- Sensor de nivel y de burbuja conectados 4.- Analizador de gases en línea conectados y calibrados 5.- Sensores de temperatura conectados. <p>ANTICOAGULACIÓN.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- TCA basal 2.- Heparina en circuito de CEC 3.- Heparina por anestesia administrada <p>COMPLEMENTOS.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Pinzas de tubos 2.- Medicamentos preparados y rotulados 3.- Soluciones intravenosas disponibles en quirófano. 4.-Hemocomentos disponibles y chequeados 5.-Jeringas, cartuchos de gases sanguíneos y de TCA disponibles. <p>BACKUP.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Cabezal arterial o cono de centrifuga extra disponible 2.- Manivelas suficientes, probadas y disponibles. 3.- Linterna funcionante 4.- Hielo disponible o paquetes de hielo 5.- Sistema de Drenaje Asistido por Vacío y flujómetro funcional. <p>INSUMOS.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.- Verificar insumos y esterilidad de los mismos, integridad del empaque. 2.- Set de tubería, oxigenadores, hemofiltro, set de vacío, conectores.
Criterios	Establecidos en las definiciones operacionales
Justificación	Impacto en la cirugía, postoperatorio inmediato, evolución clínica del paciente y en la gestión clínica de la Perfusión.
Fuentes de información	Registro clínica y/o base de datos electrónica.
Periodicidad	Semestral
Responsabilidad	Perfusionista a cargo y/o Encargado de calidad.

20. ESTANDAR DE ASEGURAMIENTO Y CALIDAD EN CEC.	
Definición del Indicador	Aseguramiento y Calidad de los procedimientos realizados en CEC.
Tipo de indicador	Proceso y Resultado
Dimensión	Seguridad del paciente
Fórmula	Total de registros realizados en CEC x 100 Total de Pacientes intervenidos con CEC
Estándar	90%.
Definición de términos DEBE:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recopilación de datos de la perfusión a través de registro clínico escrito y/o electrónicos realizados. 2. Generar una descripción del registro clínico realizado, según la recopilación de datos escritos y/o electrónicos. 3. Revisión de la literatura vigente, según la evidencia nacional e internacional. 4. Realizar mejoras si corresponde en las guías y/o protocolos. 5. Implementación de programas de mejora en revisión cada 2 años.
Criterios	Establecidos en las definiciones operacionales.
Justificación	Impacto en la evolución clínica del paciente, la calidad y los procesos de gestión y mejoras en la Perfusión.
Fuentes de información	Registro clínica o base de datos electrónica.
Periodicidad	Revisión cada 2 años.
Responsabilidad	Perfusionista a cargo y Encargado de calidad.

21 ESTANDAR DE MANTENIMIENTO DE EQUIPAMIENTO DE CEC.	
Definición del Indicador	Mantenimiento del Equipamiento de Circulación extracorpórea.
Tipo de indicador	Resultado
Dimensión	Seguridad del paciente
Fórmula	N.º de registro del mantenimiento x 100 Total de mantenimiento programados. debe realizarse por cada equipo.
Estándar	100%.
Definición de términos DEBE:	<ul style="list-style-type: none"> • Debe ser realizado por personal de equipos médicos o ingenieros biomédicos. • Deben tenerse protocolos de aseo y mantenimiento según fabricante. Mantener guías de desinfección y mantenimiento de acuerdo al fabricante. • Deben generarse registros de cada mantenimiento y aseo. • Debe tener registro de mantenimiento, calibración y aseo de equipos <ol style="list-style-type: none"> 1. Bomba de CEC. 2. Intercambiador de calor. 3. Monitores. 4. Equipo de ACT. 5. Equipo de análisis de gases sanguíneos y química sanguínea. <p>La ficha técnica del equipo debe estar disponible para revisar sus partes y el chequeo de funcionamiento o revisión previo al uso</p>
Criterios	Establecidos en las definiciones operacionales.
Justificación	Impacto en la evolución clínica del paciente y en proceso de gestión de la perfusión.
Fuentes de información	Registro en la hoja de mantenimiento de equipos médicos. Registro o base de datos electrónica.
Periodicidad	Semestral
Responsabilidad	Perfusionista a cargo, Encargado de calidad

6 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD.	
Definición del Indicador	Dispositivos de seguridad en Circulación extracorpórea.
Tipo de indicador	Proceso
Dimensión	Seguridad del paciente
Fórmula	Utilización de Dispositivos de seguridad en CEC x 100 Total de cirugías en CEC
Estándar	100%.
Definición de términos DEBE:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitor de presión servoregulado con alarma audible y visual, para controlar la bomba arterial/MUF/ Cardioplegia, permitiendo la interrupción del flujo. 2. Detector de burbuja, con alarma audible y visual, para controlar la bomba arterial y/o interrumpir el flujo. 3. Sensor de nivel, con alarma audible y visual, para controlar la bomba arterial y/o interrumpir el flujo, según nivel de operatividad en el reservorio 4. Sensor de temperatura, del flujo arterial y venoso, con alarma sonora y visual.
Criterios	Establecidos en las definiciones operacionales.
Justificación	Impacto en la evolución clínica del paciente y en la gestión de los procesos de la Perfusión.
Fuentes de información	Registro clínica o base de datos electrónica.
Periodicidad	Semestral
Responsabilidad	Perfusionista a cargo y/o Encargado de calidad

4. ESTANDAR EN REGISTRO DE PERFUSION	
Definición del Indicador	Mantenimiento del Equipamiento de Circulación extracorpórea.
Tipo de indicador	Resultado
Dimensión	Seguridad del paciente
Fórmula	N.º de registro del mantenimiento x 100 Total de mantenimiento programados. debe realizarse por cada equipo.
Estándar	100%.
Definición de términos DEBERIA:	<ul style="list-style-type: none"> • Debe ser realizado por personal de equipos médicos o ingenieros biomédicos. • Deben tenerse protocolos de aseo y mantenimiento según fabricante. Mantener guías de desinfección y mantenimiento de acuerdo al fabricante. • Deben generarse registros de cada mantenimiento y aseo. • Debe tener registro de mantenimiento, calibración y aseo de equipos <ol style="list-style-type: none"> 1. Bomba de CEC. 2. Intercambiador de calor. 3. Monitores. 4. Equipo de ACT. 5. Equipo de análisis de gases sanguíneos y química sanguínea. <p>La ficha técnica del equipo debe estar disponible para revisar sus partes y el chequeo de funcionamiento o revisión previo al uso</p>
Criterios	Establecidos en las definiciones operacionales.
Justificación	Impacto en la evolución clínica del paciente y en proceso de gestión de la perfusión.
Fuentes de información	Registro en la hoja de mantenimiento de equipos médicos. Registro o base de datos electrónica.
Periodicidad	Semestral
Responsabilidad	Perfusionista a cargo, Encargado de calidad

CONCLUSIONES

- Con este documento se pretende disminuir la variabilidad injustificada en la práctica clínica en aspectos claves del manejo en circulación extracorpórea en niños con cardiopatías.
- Se oferta al perfusionista recomendaciones basadas en la evidencia científica para mejorar la asistencia en circulación extracorpórea en niños.
- Se proporciona información útil para mejorar la comunicación entre los profesionales (cirujanos, perfusionistas y anestesiólogos) durante una cirugía cardíaca pediátrica que requiera CEC.
- Se espera motivar al perfusionista a detectar áreas para las que es necesario generar evidencia científica y establecer recomendaciones para futuras líneas de investigación en circulación extracorpórea pediátrica, por ejemplo, la utilidad de la aplicabilidad del flujo pulsátil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Estándares y directrices de la AMSECT Pediatric and Congenital Standards and Guidelines Final May 2023 (1).pdf American Society of ExtraCorporeal Technology Standards and Guidelines For Perfusion Practice <https://www.amsect.org/policy-practice/amsects-standards-and-guidelines>
2. Fuller, Stephanie., Kumar, Ram., Roy, Nathalie., Mahle, William., Romano, Jennifer C., Nelson, Jennifer S., Hammel, James., et al. AATS Cardiac Clinical Practice Standards Committee Members. The American Association for Thoracic Surgery Congenital Cardiac Surgery Working Group 2021 consensus document on a comprehensive perioperative approach to enhanced recovery after pediatric cardiac surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* c Volume 162, Number 3 931-954
3. Zhang, Yan et al. Time for Pediatric Goal Directed Perfusion: An Accepted Target for Infants *The Annals of Thoracic Surgery*, Volume 113, Issue 3, 1053 – 1054, 2021
4. Zarbock A, Koyner JL, Hoste EAJ, Kellum JA. Update on perioperative acute kidney injury. *Anesthesia and Analgesia*. 2018. 127:1236-45
5. Hoste EAJ, Vandenberghe W. Epidemiology of cardiac surgery-associated acute kidney injury. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2017; 31:299-303
6. Ranucci, M. Perioperative renal failure: Hypoperfusion during cardiopulmonary bypass?. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2006; 11: 265–268. <https://doi.org/10.1177/1089253207311141>
7. De Somer F, Mulholland JW, Bryan MR, Aloisio T, Nooten GJ Van, et al. 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.
8. Pratomo BY, et al. Intraoperative Goal-Directed Perfusion in Cardiac Surgery with Cardiopulmonary Bypass: The Roles of Delivery Oxygen Index and Cardiac Index. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2024; 30: 23-00188. doi: 10.5761/atcs.ra.23-00188
9. Ranucci M, Johnson I, Willcox T, Baker RA, Boer C, Baumann A et al. Goal-directed perfusión to reduce acute kidney injury: A randomized trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2018; 156:1918-27.
10. Magruder JT, Crawford TC, Harness L, Grimm JC, Suarez-Pierre A, Wierschke C et al. ACQ A pilot goal-directed perfusion initiative is associated with less acute kidney injury after cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2017; 153(1):118-125.
11. Bojan, et al. Lower limit of adequate oxygen delivery for the maintenance of aerobic metabolism during cardiopulmonary bypass in neonates, *British Journal of Anaesthesia*, Volume 124, Issue 4, 2020, Pages 395-402, ISSN 0007-0912, <https://doi.org/10.1016/j.bja.2019.12.034>.
12. Hayward, et al. Oxygen delivery in pediatric cardiac surgery and its association with acute kidney injury using machine learning, *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Volume 165, Issue 4, 2023, Pages 1505-1516, ISSN 0022-5223, <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2022.05.039>.
13. Zhang, Y., Wang, B., Zhou, X. J., Guo, L. J., & Zhou, R. H. (2022). Nadir Oxygen Delivery During Pediatric Bypass as a Predictor of Acute Kidney Injury. *The Annals of thoracic surgery*, 113(2), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.athorac-sur.2021.01.026>
14. Matte, G. *Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population*. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: *Blood gas management*, Cap 3, pag 43

15. Lannemyr L, Bragadottir G, Krumbholz V, Redfors B, Sellgren J, Ricksten SE. Effects of Cardiopulmonary Bypass on Renal Perfusion, Filtration, and Oxygenation in Patients Undergoing Cardiac Surgery. *Anesthesiology*. 2017 Feb;126(2):205-213.
16. Sarkar, M., & Prabhu, V. (2017). Basics of cardiopulmonary bypass. *Indian journal of anaesthesia*, 61(9), 760–767. https://doi.org/10.4103/ija.IJA_379_17
17. Oldeen ME, Angona RE, Hodge A, Klein T. American Society of ExtraCorporeal Technology: Development of Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice (2019). *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2021;12(1):84-92. doi:10.1177/2150135120956938
18. Maryam Abedzadeh. The impact of using fresh frozen plasma in cardiopulmonary bypass preparation on thromboelastometric parameters and receiving blood products among pediatric patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiovasc Thorac Res*, 2023, 15(1), 9-13
19. Curran, J. D., Major, P., Tang, K., Bagshaw, S. M., Dionne, J. C., Menon, K., & Rochweg, B. (2021). Comparison of Balanced Crystalloid Solutions: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Critical care explorations*, 3(5), e0398. <https://doi.org/10.1097/CCE.0000000000000398>
20. Ravi Medikonda, Chin Siang Ong, Rajeev Wadia, Dheeraj Goswami, Jamie Schwartz, Larry Wolff, Narutoshi Hibino, Luca Vricella, Daniel Nyhan, Viachaslau Barodka, Jochen Steppan, Trends and Updates on Cardiopulmonary Bypass Setup in Pediatric Cardiac Surgery, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, Volume 33, Issue 10,2019
21. Crook R, Issitt R. Oncotic pressure and paediatric cardiopulmonary bypass: establishing baseline data for complex congenital cardiac surgery and its relation to risk stratification. *Perfusion*. 2017 Jul;32(5):378-382. doi: 10.1177/0267659117690251. Epub 2017 Jan 23. PMID: 28110616.
22. Malmqvist G, Claesson Lingehall H, Appelblad M, Svenmarker S. Cardiopulmonary bypass prime composition: beyond crystalloids versus colloids. *Perfusion*. 2019;34(2):130-135. doi:10.1177/0267659118793249
23. Kagami Miyaji. Pediatric cardiac surgery without homologous blood transfusion, using a miniaturized bypass system in infants with lower body weight. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. August 2007
24. Ranucci, M., Carlucci, C., Isgrò, G., Boncilli, A., De Benedetti, D., De la Torre, T., Brozzi, S., & Frigiola, A. (2009). Duration of red blood cell storage and outcomes in pediatric cardiac surgery: an association found for pump prime blood. *Critical care (London, England)*, 13(6), R207. <https://doi.org/10.1186/cc8217>
25. Ravi Medikonda, Chin Siang Ong, Rajeev Wadia, Dheeraj Goswami, Jamie Schwartz, Larry Wolff, Narutoshi Hibino, Luca Vricella, Daniel Nyhan, Viachaslau Barodka, Jochen Steppan, Trends and Updates on Cardiopulmonary Bypass Setup in Pediatric Cardiac Surgery, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, Volume 33, Issue 10,2019
26. Hamilton C, Steinlechner B, Gruber E, Simon P, Wollenek G. La curva de disociación del oxígeno: cuantificando el cambio. *Perfusión*. 2004;19(3):141-4. <https://doi.org/10.1191/0267659104p-f734oa>
27. Recomendación de expertos. Encuesta: Tendencias y actualizaciones sobre el bypass cardiopulmonar en cirugía cardiaca pediátrica. ALAP. 2024
28. Dieu, et al. Fresh Frozen Plasma versus Crystalloid Priming of Cardiopulmonary Bypass Circuit in Pediatric Surgery. *Anesthesiology* 2020; 132:95–106.
29. Barbara B. Neonatal Cardiopulmonary Bypass Circuit Blood Prime Quality Analysis. *J Extra Corpor Technol*. 2021; 53:140–5 *The Journal of ExtraCorporeal Technology*
30. Gholampour Dehaki M, Niknam S, Bakhshandeh H , azarfari-naZero-balance ultrafiltration of the priming blood modifies the priming components and improves the clinical outcome in infants undergoing cardiopulmonary bypass: A randomized controlled trial . *Órganos Artif*. 2020; 44: 288-295. <https://doi.org/10.1111/aor.13559>
31. Hendrix, B. B., Reagor, J. A., & Tweddell, J. S. (2021). Neonatal Cardiopulmonary Bypass Circuit Blood Prime Quality Analysis. *The journal of extra-corporeal technology*, 53(2), 140–145. <https://doi.org/10.1182/ject-2100014>
32. Matte, G. *Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population*. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: *Blood gas management*, Cap 2, pag 27-28
33. Bierer J., Stanzel R., Henderson M., Sett S., Horne D. Ultrafiltration in Pediatric Cardiac Surgery Review. *World Journal for Pediatric and C*, et al. Incidence of Acute Neurological Events in Neonates and Infants Undergoing Cardiac Surgery Using a High-Hematocrit/ High-Flow Bypass Strategy. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2023;14(3):375-379. doi:10.1177/21501351221143950

34. Reagor, J., Clingan, S., Gao, Z., Morales, David L.S., Tweddell, James S., Bryant Roosevelt., Young, William., Cavanaugh, Jesse., Cooper, David S. Higher Flow on Cardiopulmonary Bypass in Pediatrics Is Associated With a Lower Incidence of Acute Kidney Injury, *Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery*, Volume 32, Issue 4, 2020, Pages 1015-1020, ISSN 1043-0679. <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2019.08.007>.
35. Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines: (PDF) Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines. <https://wfsahq.org/resources/wfsa-newsletter/>
36. Faraoni, David, Jens Meier, Helen V. New, Philippe J. Van der Linden, Beverley J. Hunt, Patient Blood Management for Neonates and Children Undergoing Cardiac Surgery: 2019 NATA Guidelines, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, Volume 33, Issue 12, 2019, Pages 3249-3263, ISSN 1053-0770, <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.03.036>.
37. Tibi, P., McClure, R. S., Huang, J., Baker, R. A., Fitzgerald, D., Mazer, C. D., Stone, M., Chu, D., Stammers, A. H., Dickinson, T., Shore-Lesserson, L., Ferraris, V., Firestone, S., Kissoon, K., & Moffatt-Bruce, S. (2021). STS/SCA/AmSECT/SABM Update to the Clinical Practice Guidelines on Patient Blood Management. *The Annals of thoracic surgery*, 112(3), 981–1004. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2021.03.033>
38. P. Bianchi, M. Cotza, C. Beccaris, S. Silvetti, G. Isgrò, G. Pomè, A. Giamberti, M. Ranucci, Early or late fresh frozen plasma administration in newborns and small infants undergoing cardiac surgery: the APPEAR randomized trial, *British Journal of Anaesthesia*, Volume 118, Issue 5, 2017, Pages 788-796, ISSN 0007-0912, <https://doi.org/10.1093/bja/aex069>
39. Cholette, Jill M. MD1; Willems, Ariane MD2; Valentine, Stacey L. MD, MPH3; Bateman, Scot T. MD3; Schwartz, Steven M. MD4. Recommendations on RBC Transfusion in Infants and Children With Acquired and Congenital Heart Disease From the Pediatric Critical Care Transfusion and Anemia Expertise Initiative. *Pediatric Critical Care Medicine* 19(9S):p S137-S148, September 2018. | DOI: 10.1097/PCC.0000000000001603 (39)
40. Annewel van Saet y Dick Tibboel (2023) La influencia del bypass cardiopulmonar en la farmacocinética pediátrica, *Opinión de expertos sobre metabolismo y toxicología de los fármacos*, 19:6, 333-344, DOI:10.1080/17425255.2023.2227556
41. Scarscia G, Rotunno C, Guida P, et al. Perioperative steroids administration in pediatric cardiac surgery: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pediatr Crit Care Med* 2014; 15:435–42.
42. Li Y, Luo Q, Wu X, Jia Y, Yan F. Perioperative corticosteroid therapy in children undergoing cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Front Pediatr* 2020; 8:350. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
43. Bronicki RA, Flores S, Loomba RS, et al. Impact of corticosteroids on cardiopulmonary bypass induced inflammation in children: a meta-analysis. *Ann Thorac Surg* 2021; 112:1363–70
44. Hill KD, Kannankeril PJ, Jacobs JP, Baldwin HS, Jacobs ML, O'Brien SM, Bichel DP, Graham EM, Blasiolo B, Resheidat A, Husain AS, Kumar SR, Kirchner JL, Gallup DS, Turek JW, Bleiweis M, Mettler B, Benscoter A, Wald E, Karamlou T, Van Bergen AH, Overman D, Eghtesady P, Butts R, Kim JS, Scott JP, Anderson BR, Swartz MF, McConnell PI, Vener DF, Li JS; STRESS Network Investigators. Methylprednisolone for Heart Surgery in Infants - A Randomized, Controlled Trial. *N Engl J Med*. 2022 Dec 8;387(23):2138-2149. doi: 10.1056/NEJMoa2212667. Epub 2022 Nov 6. PMID: 36342116; PMCID: PMC9843240
45. Ravi Medikonda, Chin Siang Ong, Rajeev Wadia, Dheeraj Goswami, Jamie Schwartz, Larry Wolff, Narutoshi Hibino, Luca Vricella, Daniel Nyhan, Viachaslau Barodka, Jochen Steppan. Trends and Updates on Cardiopulmonary Bypass Setup in Pediatric Cardiac Surgery, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, Volume 33, Issue 10, 2019, Pages 2804-2813, ISSN 1053-0770, <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.01.025>.
46. Rauf A, Joshi RK, Aggarwal N, Agarwal M, Kumar M, Dinand V, Joshi R. Effect of Albumin Addition to Cardiopulmonary Bypass Prime on Outcomes in Children Undergoing Open-Heart Surgery (EACPO Study)-A Randomized Controlled Trial. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*. 2021 Jan;12(1):61-69. doi: 10.1177/2150135120959088. Epub 2020 Oct 20. PMID: 33078664

47. Susan M. Goobie., Trudi Gallagher., Irwin Gross3., Aryeh, Shander. Society for the advancement of blood management administrative and clinical standards for patient blood management programs. 4th edition (pediatric version) En: Pediatric Anesthesia. 2019; 29:231–236. wileyonlinelibrary.com/journal/pan © 2019 John Wiley & Sons Ltd. Received: 18 October 2018 | Revised: 30 November 2018 | Accepted: 10 December 2018. DOI: 10.1111/pan.13574
48. Bierer J, Stanzel R, Henderson M, Sett S, Horne D. Ultrafiltration in Pediatric Cardiac Surgery Review. World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery. 2019;10(6):778-788. doi:10.1177/2150135119870176
49. McRobb CM, Ing RJ, Lawson DS, Jagers J, Twite M. Retrospective analysis of eliminating modified ultrafiltration after pediatric cardiopulmonary bypass. Perfus (United Kingdom). 2017;32(2):97–109.
50. Milovanovic V, Bisenic D, Mimic B, et al. Reevaluating the importance of modified ultrafiltration in contemporary pediatric cardiac surgery. J Clin Med. 2018;7(12):1–13.
51. EACTS/EACTA Guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery. Eur J Cardiothorac Surg 2018; 53:79–111.
52. Sarris GCG, Balmer CS, Bonou PG, et al. Clinical guidelines for the management of patients with transposition of the great arteries with intact ventricular septum. Eur J Cardiothorac Surg 2017;51: e1–32. [PubMed]
53. Recomendación de expertos. Autores del presente documento. ALAP. 2024
54. Raphael, J; Mazer, C. D; Subramani, S; Schroeder, A; Abdalla, M; Ferreira, R; Roman, P; Patel, N; Welsby, I; Greilich, P; Harvey, R; Ranucci, M; Heller, L; Boer, C; Wilkey, A; Hill, S.; Nuttall, G.; Palvadi, R; Patel, P.; Wilkey, B; Gaitan, B; Hill, S; Kwak, J; Klick, J; Bollen, B; Shore-Lesserson, L; Abernathy, J; Schwann, N; Lau, W. Travis. Society of Cardiovascular Anesthesiologists Clinical Practice Improvement Advisory for Management of Perioperative Bleeding and Hemostasis in Cardiac Surgery Patients. Anesthesia & Analgesia 129(5): p 1209-1221, November 2019. | DOI: 10.1213/ANE.0000000000004355
55. Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: Blood gas management, Cap 3, pag 47-48
56. Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: The bypass plan , Cap 3, pag 52-54
57. Undar A. Pulsatile versus nonpulsatile cardiopulmonary bypass procedures in neonates and infants: from bench to clinical practice. ASAIO Journal. 2005;51:vi–x.
58. Rojas, Roy. Flujo pulsátil, una “técnica olvidada”. ¿Opción o elección? - Médico Anestesiólogo y Perfusionista. Hospital San Juan de Dios, Costa Rica. Correo electrónico: royrojasz@yahoo.es
59. Ündar A, Palanzo D, Qiu F, Alkan-Bozkaya T, Akcevin A, Talor J. Benefits of pulsatile flow in pediatric cardiopulmonary bypass procedures: from conception to conduction. Perfusion. 2011; 26:35-9
60. Gengo Sunagawa, Marijan Koprivanac, Jamshid H. Kari-mov, Nader Moazami & Kiyotaka Fukamachi (2017) Is a pulse absolutely necessary during cardiopulmonary bypass?, Expert Review of Medical Devices, 14:1, 27-35, DOI: 10.1080/17434440.2017.1265445
61. Ji B, Undar A. An evaluation of the benefits of pulsatile versus nonpulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass procedures in pediatric and adult cardiac patients. ASAIO J. 2006 Jul-Aug;52(4):357-61. doi: 10.1097/01.mat.0000225266.80021.9b. PMID: 16883112.
62. Rider AR, Schreiner RS, Undar A. Pulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass procedures in neonates, infants, and small children. ASAIO J. 2007 Nov-Dec;53(6):706-9. doi: 10.1097/MAT.0b013e318158e3f9. PMID: 18043152.
63. Patel K, Dan Y, Kunselman AR, Clark JB, Myers JL, Ündar A. The effects of pulsatile versus nonpulsatile flow on cerebral pulsatility index, mean flow velocity at the middle cerebral artery, regional cerebral oxygen saturation, cerebral gaseous microemboli counts, and short-term clinical outcomes in patients undergoing congenital heart surgery. JTCVS Open. 2023 Sep 9;16: 786-800. doi: 10.1016/j.xjon.2023.08.013. PMID: 38204706; PMCID: PMC10775072.

64. Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: the bypass plan, Cap 3, pag 52-54
65. Chakraborty A, Ramakrishnan K, Buyukgoz C, et al. Incidence of Acute Neurological Events in Neonates and Infants Undergoing Cardiac Surgery Using a High-Hematocrit/ High-Flow Bypass Strategy. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2023;14(3):375-379. doi:10.1177/21501351221143950
66. Whittaker CL, Grist GE. The theoretical prediction of safe deep hypothermic circulatory arrest (DHCA) time using estimated tissue oxygen loading. *Prog Pediatr Cardiol*. 2008; 24:117-22.
67. Ricardo Muñoz, Peter C. Laussen, Guillermo Palacio, Lynne Zienko, Gary Piercey, David L. Wessel. Changes in whole blood lactate levels during cardiopulmonary bypass for surgery for congenital cardiac disease: An early indicator of morbidity and mortality. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. Volume 119, Issue 1. 2000. Pages 155-162, ISSN 0022-5223, [https://doi.org/10.1016/S0022-5223\(00\)70231-5](https://doi.org/10.1016/S0022-5223(00)70231-5).
68. Clingan S, Reagor J, Lombardi J. Retrospective analysis of cardiac index and lactate production on cardiopulmonary bypass for a congenital cardiac patient population. *Perfusion*. 2019;34(3):231-235. doi:10.1177/0267659118813076
69. Browne LP. Temperature management on cardiopulmonary bypass: Is it standardised across Great Britain and Ireland? *Perfusion*. 2022;37(3):221-228. doi:10.1177/0267659121995996
70. Engelman R., Baker R., Likosky D. S; The Society of Thoracic Surgeons, The Society of Cardiovascular Anesthesiologists, and The American Society of extracorporeal Technology: Clinical Practice Guidelines for Cardiopulmonary Bypass—Temperature Management during Cardiopulmonary Bypass JECT. *The Journal of extracorporeal technology*. 2015; 47:145-154
71. Matte, G. Perfusion for Congenital Heart Surgery. Notes on Cardiopulmonary Bypass for a Complex Patient Population. 2015 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved. ISBN 978-1-118-90079-6 (cloth). En: the bypass plan, Cap 3, pag -35-39.
72. D. Zafra Torres*, M. Rodríguez Rodríguez, N. Castro Quismondo y J. Martínez-López., de Alteraciones del sistema hemostático Servicio de Hematología y Hemoterapia. Hospital Universitario 12 de Octubre. Madrid. España. *Medicine* 2020.
73. Raner, G., Hu, Y., Trowbridge, C., Zhang, L., Logan, J., Wu, X., & Zhang, X. (2024). Comparison of Blood Concentration and Weight-Based Heparin and Protamine Dosing Strategies for Cardiopulmonary Bypass: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*, 16(2), e54144. <https://doi.org/10.7759/cureus.54144>.
74. Harnish J, Beyer K, Collins J. Anticoagulation Strategies in Pediatric Cardiopulmonary Bypass, Weight-Based vs. Concentration-Based Approaches. *J Extra Corpor Technol*. 2022 Jun;54(2):153-160. doi: 10.1182/ject-153-160. PMID: 35928334; PMCID: PMC9302398.
75. Sniecinski, R. M., & Levy, J. H. (2015). Anticoagulation management associated with extracorporeal circulation. *Best practice & research. Clinical anaesthesiology*, 29(2), 189-202. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2015.03.005>.
76. Cartwright B, Mundell N. Anticoagulation for cardiopulmonary bypass: part one. *BJA Educ*. 2023 Mar;23(3):110-116. doi: 10.1016/j.bjae.2022.12.003. Epub 2023 Jan 23. PMID: 36844440; PMCID: PMC9947996.
77. STS/SCA/AmSECT Clinical Practice Guidelines: Anticoagulation during Cardiopulmonary Bypass. Linda Shore-Lesserson, Robert A. Baker, Victor Ferraris, Philip E. Greilich, David Fitzgerald, Philip Roman, John Hammon. *J Extra Corpor Technol*. 2018; 50:5-18 *The Journal of ExtraCorporeal Technology*
78. Marie-Christine Seghaye. Management of children with congenital heart defect: state of the art and future prospects. *Future Cardiol*. (2017) 13(1), 65-79.
79. *Critical Heart Disease In Infants And Children*, Third Edition Isbn: 978-1-4557-0760-7. 2019 By Elsevier, Inc. All Rights Reserved.
80. David Sturmer, Claude Beaty, Sean Clingan, Eric Jenkins, Whitney Peters, Ming-Sing Si Recent innovations in perfusion and cardiopulmonary bypass for neonatal and infant cardiac surgery *Transl Pediatr* 2018;7(2):139-150
81. Gravlee, G. P., Davis, R. F., Kurusz, M., Utley, J. R., 2000, *Cardiopulmonary Bypass: Principles and Practices*, 2nd edition, Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 20

82. Marie-Christine Seghaye. Management of children with congenital heart defect: state of the art and future prospects. *Future Cardiology*; London Tomo 13, N.º 1, (Jan 2017): 65–79. DOI:10.2217/fca-2016-0039
83. Panigrahi, et al. Myocardial protection following del Nido cardioplegia in pediatric cardiac surgery. *Asian Cardiovascular & Thoracic Annals* 0(0) 1–6 The Author(s) 2018. Reprints and permissions: sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav DOI: 10.1177/0218492318773589 journals.sagepub.com/home/aan
84. Isildak, F.U., Yavuz, Y. Comparison of Del Nido and Blood Cardioplegia in Pediatric Patients Undergoing Surgical Repair for Congenital Heart Disease. *Pediatr Cardiol* 42, 1388–1393 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00246-021-02623-z>
85. Floh AA, Das S, Haranal M, et al. Comparison between Del Nido and conventional blood cardioplegia in pediatric open-heart surgery. *Perfusion*. 2023;38(2):337-345. doi:10.1177/02676591211054978
86. Ler A, Sazzad F, Ong GS, Kofidis T. Comparison of outcomes of the use of Del Nido and St. Thomas cardioplegia in adult and paediatric cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Perfusion*. 2020;35(8):724-735. doi:10.1177/0267659120919350
87. Fang, et al. Cardioplejía sanguínea versus cristalóide para cirugía cardíaca pediátrica: un metanálisis. En: PubMed <https://doi.org/ezproxy.javeriana.edu.co/10.1177/0267659114556402>
88. Kotani Et Al. Cardioplegia in pediatric cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 2013;96:923–9) 2013 by The Society of Thoracic Surgeons. *Current Cardioplegia Practice in Pediatric Cardiac Surgery: A North American Multiinstitutional Survey* En: https://www.researchgate.net/publication/255691706_Current_Cardioplegia_Practice_in_Pediatric_Cardiac_Surgery_A_North_American_Multiinstitutional_Survey
89. Tan Jia, Bi Siwei, Li Jingyi, Gu Jun, Wang Yishun, Xiong Jiyue, Yu Xiang, Du Le. Comparative effects of different types of cardioplegia in cardiac surgery: A network meta-analysis, *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, VOLUME=9, 2022 URL=<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcvm.2022.996744>, DOI=10.3389/fcvm.2022.996744
90. Recomendación de expertos. Encuesta: Tendencias y actualizaciones sobre el *bypass* cardiopulmonar en cirugía cardíaca pediátrica. *Protección miocárdica. ALAP*. 2024
91. Clínica Cardio VID. Colombia. Grupo de Perfusión. 2024
92. Su XW, Undar A. Brain protection during pediatric cardiopulmonary bypass. *Artif Organs*. 2010 Apr;34(4):E91-102. DOI: 10.1111/j.1525-1594.2009.00963.x.
93. Puentes, S., Zárate, A., Tirado, I., García, Y., Ariza, Y. (2020). ¿La espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) podría ser útil en el monitoreo hemodinámico del paciente crítico pediátrico? *Biociencias*, 15(1), 87-94. <https://doi.org/10.18041/2390-0512/biociencias.1.6363>.
94. Brandoni DA, Martínez Da Bove MP, Moreno GE. Utilidad del monitoreo hemodinámico con espectroscopia cercana infrarroja en pediatría. *Arch Argent Pediatr* 2022;120(2):129-135. <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2022.eng.129>.
95. Menke J, Moller G. Cerebral near-infrared spectroscopy correlates to vital parameters during cardiopulmonary bypass surgery in children. *Pediatr Cardiol* 2014; 35:155–63. DOI: 10.1007/s00246-013-0754-9.
96. Murkin JM, Arango M. Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation. *Br J Anaesth* 2009;103(Suppl 1):i3–13. DOI: 10.1093/bja/aep299.
97. Gottlieb EA, Mossad EB. Limitations of cerebral oxygenation monitoring by near-infrared spectroscopy in children with cyanotic congenital heart disease and profound polycythemia. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2014; 28:347–9. DOI: 10.1053/j.jvca.2012.08.016
98. Finucane E, Jooste E, Machovec K. Neuromonitoring Modalities in Pediatric Cardiac Anesthesia: A Review of the Literature. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* (2020) 1-9. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2020.02.054>
99. Brandoni DA, Martínez Da Bove MP, Moreno GE. Utilidad del monitoreo hemodinámico con espectroscopia cercana infrarroja en pediatría. *Arch Argent Pediatr* 2022;120(2):129-135. <http://dx.doi.org/10.5546/aap.2022.eng.129>.
100. Yoshitani K, Kawaguchi M, Ishida K, Maekawa K, Miyawaki H, Tanaka S, Uchino H, Kakinohana M, Koide Y, Yokota M, Okamoto H, Nomura M. Guidelines for the use of cerebral oximetry by near-infrared spectroscopy in cardiovascular anesthesia: a report by the cerebrospinal Division of the Academic Committee of the Japanese Society of Cardiovascular Anesthesiologists (JSCVA). *J Anesth*. 2019 Apr;33(2):167-196. doi: 10.1007/s00540-019-02610-y. Epub 2019 Feb 8. PMID: 30737572.
101. Hoffman GM, Brosig CL, Mussatto KA, Tweddell JS, Ghanayem NS. Perioperative cerebral oxygen saturation in neonates with hypoplastic left heart syndrome and childhood neurodevelopmental outcome. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2013; 146:1153–64. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2012.12.060

102. Ortmann LA, Fontenot EE, Seib PM, Eble BK, Brown R, Bhutta AT. Use of near-infrared spectroscopy for estimation of renal oxygenation in children with heart disease. *Pediatr Cardiol* 2011;32:748–53. DOI: 10.1007/s00246-011-9960-5

103. Fortune PM, Wagstaff M, Petros AJ. Cerebro-splanchnic oxygenation ratio (CSOR) using near infrared spectroscopy may be able to predict splanchnic ischaemia in neonates. *Intensive Care Med* 2001; 27:1401–7. DOI: 10.1007/s001340100994

104. Anastasiadis K, Antonitsis P, Argiriadou H, Deliopoulos A, Grosomanidis V, Tossios P. Modular minimally invasive extracorporeal circulation systems; can they become the standard practice for performing cardiac surgery? *Perfusion*. 2015;30(3):195-200. doi:10.1177/0267659114567555

105. Baoying Meng, MD, Keye Wu, MD, Yuanxiang Wang, MD, Sheshe Zhang, BD, NP, Xing Zhou, BD, NP, Yiqun Ding, MD, PhD Effect of retrograde autologous priming based on miniaturized cardiopulmonary bypass in children undergoing open heart surgery Meng et al. *Medicine* (2020)

106. Wiesenack, C., Liebold, A., Philipp, A., Ritzka, M., Koppenberg, J., Birnbaum, D.E. and Keyl, C. (2004), Four Years' Experience With a Miniaturized Extracorporeal Circulation System and Its Influence on Clinical Outcome. *Artificial Organs*, 28: 1082-1088. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1594.2004.00030.x>

Otros recursos bibliográficos:

- The STS, SCA, AMSECT: Clinical Practice Guidelines for Cardiopulmonary Bypass—Temperature Management During Cardiopulmonary Bypass: <https://www.amsect.org/d/do/1585>

- 2021 American Society of ExtraCorporeal Technology Standards and Guidelines for Perfusion Practice. <https://www.amsect.org/Portals/0/2023%20AmSECT%20Standards%20and%20Guidelines%20for%20Perfusion%20Practice.pdf>

- The AmSECT Standards and Guidelines for Pediatric and Congenital Perfusion Practice. Departmental Clinical Protocol Manual document defines MUF in Guideline 16.1, 2023.

- Ghijssels I, Himpe D., Rex S., 2016, Safety of gelatin solutions for the priming of cardiopulmonary bypass in cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis. *Perfusion*. Sage

- Nousjka PA Vranken,1,2 Zaheer UD Babar,1 Jesse A Montoya3 and Patrick W Weerwind Retrograde autologous priming to reduce allogeneic blood transfusion re-

quirements: a systematic review. *Perfusion* 2020. DOI: 10.1177/0267659119895474 journals.sagepub.com/home/pr

- Arvind Kumar Bishnoi, MCh1, Pankaj Garg, MCh1, Kartik Patel, MCh1, Parth Solanki, MCh1, Jigar Surti, MD2, Atul Solanki, ECCT3, Komal Shah, PhD4, and Sanjay Patel, MSc. Effect of Prime Blood Storage Duration on Clinical Outcome After Pediatric Cardiac Surgery. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery* 2017, Vol. 8(2) 166-173

- Richard Crook and Richard Issitt Oncotic pressure and paediatric cardiopulmonary bypass: establishing baseline data for complex congenital cardiac surgery and its relation to risk stratification *Perfusion* 2017, Vol. 32(5) 378– 382

- Jun Sasaki, Christopher Tirota , Hyunsoo Lim, Kathleen Kubes, Jane Salvaggio, Robert Hannan, Redmond Burke and Jorge Ojito Comparison of stored red blood cell washing Techniques for priming extracorporeal circuits. *Perfusion* 1–6 © The Author(s) 2017

- Zeena Makhija, and Rajesh Sharma, MD. Hematologic Alterations in Patients with Functionally Univentricular Hearts *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery* 3(3) 350-358 2012

- Ziyaeifard M, Alizadehasl A, Aghdaii N, et al. The effect of combined conventional and modified ultrafiltration on mechanical ventilation and hemodynamic changes in congenital heart surgery. *J Res Med Sci*. 2016;21(8):1–7

- Durandy Y. The impact of vacuum-assisted venous drainage and miniaturized bypass circuits on blood transfusion in pediatric cardiac surgery. *ASAIO J*. 2009 Jan-Feb;55(1):117-20. Available from: <https://doi.org/10.1097/MAT.0b013e31819142f1>.

- R. Owens et al. Perfusion techniques for an 800 g premature neonate undergoing Arterial Switch Procedure for Transposition of the Great Arteries. *J Extra Corpor Technol* 2024, 56, 16–19. <https://doi.org/10.1051/ject/2023045>.

- Pratomo BY, Sudadi S, Setianto BY, Novenanto TT, Raksawardana YK, Rayhan A, Kurniawaty J. Intraoperative Goal-Directed Perfusion in Cardiac Surgery with Cardiopulmonary Bypass: The Roles of Delivery Oxygen Index and Cardiac Index. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2024;30(1):23-00189. doi: 10.5761/atcs.ra.23-00188.

- Rauf A, Joshi RK, Aggarwal N, et al. Effect of Albumin Addition to Cardiopulmonary Bypass Prime on Outcomes in Children Undergoing Open-Heart Surgery (EACPO Study)—A Randomized Controlled Trial. *World Journal for Pediatric and Congenital Heart Surgery*. 2021;12(1):61-69. doi:10.1177/2150135120959088

ANEXOS

Anexo 1. Planeación en perfusión y circulación extracorpórea

REGISTRO DE PLANEACION DEL CUIDADO EN PERFUSION Y CIRCULACION EXTRACORPOREA				
DATOS DEL PACIENTE				
NOMBRE Y APELLIDOS		EDAD	DOCUMENTO DE IDENTIDAD	PROCEDENCIA
OCUPACION		ESCOLARIDAD	RELIGION	IDIOMA
ENFERMEDAD ACTUAL				
AMBULATORIO	HOSPITALIZADO UC	HOSPITALIZADO PISO	SEDE	
DIAGNOSTICO			DECISION JUNTA MEDICA Y FECHA DE REALIZACION	
ANTECEDENTES				
ANTECEDENTES QUIRURGICOS			ANTECEDENTES ALERGICOS	ANTECEDENTES TOXICOS
ANTECEDENTES PATOLOGICOS			ANTECEDENTES FARMACOLOGICOS	
NOMBRE Y FECHA DE QUIEN REALIZA VALORACION POR CIRUGIA			NOMBRE Y FECHA DE QUIEN REALIZA VALORACION POR ANESTESIA	
DATOS DEL EXAMEN FISICO POR ANESTESIA Y CIRUGIA				
PESO REAL		TALLA	IMC	HEMOCLASIFICACION
CABEZA Y OROFARINGE		CARDIOPULMONAR		ABDOMEN , EXTREMIDADES Y PIEL
GASTROINTESTINAL		NEUROLÓGICO		GENITOURINARIO
				TFG
PARACLINICOS				
HTO	HB	LEUCOCITOS	PARCIAL DE ORINA	CERTIFICADO DE ODONTOLOGIA
PLAQUETAS	BUN	CREATININA	RAYOS X DE TORAX	
PTT	PT	INR	DUPLEX DE CUELLO	
Na	K	Ca		
PCR	ALBUMINA	GLICEMIA /HBA1C	DUPLEX DE MIEMBROS SUP / INF	PRUEBA DE ESFUERZO
VIH	HB	FUR	HOLTER/EKG	
TSH	T3	T4	PENDIENTES	
ECOCARDIOGRAMA TRANSTORACICO / TRANSESOFAGICO/ ESTRES				
CATETERISMO CARDIACO /PANANGIOGRAFIA/ CATETERISMO DE MIEMBROS				
EXAMENES COMPLEMENTARIOS E INTERCONSULTAS				
6.PLAN QUIRURGICO				

TECNICA QUIRURGICA SUGERIDA POR EL CIRUJANO					
OFF PUMP	INJERTO ARTERIAL	PLASTIA VALVULAR	PROTESIS	CANULACION	
CEC	STANBY	OTRA			
PLANEACION Y PREPARACION DE RECOMENDACIONES O TECNICAS ESPECIALES A APLICAR SEGÚN INDICACION DEL CIRUJANO O SEGÚN EL TIPO DE PROCEDIMIENTO (INCLUYE HEMOFILTRACION, PERFUSION CEREBRAL, ARRESTO Y OTRAS REQUERIDAS)					
VOLEMIA	HCTO ESTIMADO		RETROPRIMADO	HDNVA	
HEMOFILTRACION	Z BUF		CUF	MUF	
Z SCORE :	-2	0	+2	RAMA PULMONAR DERECHA	
V. PULMONAR	TRONCO PULMONAR				
V. TRICUSPIDE	RAMA PULMONAR IZQUIERDA				
V. MITRAL	V. AORTICA : -2 0 +2				
CARDIOPLEGIA					
SANGUINEA NORMOTERMICA	SANGUINEA FRIA	NIDO	CUSTODIOL	OTRA	
INSUMOS A USAR EN PROCEDIMIENTO CON EXTRACORPOREA					
SC	FLUJO MAX A 37 C	OXIGENADOR	TUBERIA	HEMOFILTRO	
CANULA AORTICA	CANULAS VENOSAS	CANULA ARTERIAL FEMORAL	CANULA VENOSA FEMORAL	RODILLO	CENTRIFUGA
SET CARDIOPLEGIA	DRENAJE VENOSO ASISTIDO	CONO	SET SATURACION EN LINEA	ECMO/ASISTENCIA	
PRIMADO					
CRISTALOIDE	PFC	GRE	ALBUMINA	OTRO	ESTUDIO DE INVESTIGACION
TEMPERATURA					
NORMOTERMIA	HIPOTERMIA LEVE	HIPOTERMIA MODERADA	HIPOTERMIA PROFUNDA	ARRESTO	
EQUIPOS					
BALON CONTRAPULSACION	SALVADOR DE CELULAS	INVOS	PARCHES	TERMOMETROS	OTROS
1. CLASIFICACION DEL PROCEDIMIENTO		2. CANASTAS O INSUMOS ESPECIALES A SOLICITAR			
REALIZADO CON CEC	REALIZADO CON STANBY				
3. OBSERVACIONES					
4. DATOS DEL PROFESIONAL EN PERFUSION QUE REALIZA LA PLANEACION					
NOMBRE DE LA PERFUSIONISTA		FIRMA		FECHA	

Anexo 2. Lista de chequeo en perfusión y CEC

Paciente:		Fecha procedimiento:		
Lugar de realización:	Edad:			
Procedimiento:				
Autor y Fecha de la lista:				
PROCEDENCIA DEL PTE				
OCUPACION				
RELIGION				
IDIOMA				
ESCOLARIDAD				
Observaciones:				
CRITERIO	ESPECIFICACIONES	RESPUESTA (SI/ No / NA)		
SEGURIDAD	Identificación del paciente	SI	NO	N/A
SEGURIDAD	Confirmación de alergias del paciente			
SEGURIDAD	Confirmación de conocimiento del procedimiento por parte del paciente			
SEGURIDAD	Confirmación del grupo sanguíneo del paciente			
SEGURIDAD	Confirmación de la reserva sanguínea			
PREPARACION INSUMOS	Fechas de esterilidad vigente			
PREPARACION INSUMOS	Empaques en buen estado			
PREPARACION INSUMOS	Set de urgencia disponible			
PREPARACION INSUMOS	Canasta de urgencia disponible			
PREPARACION INSUMOS	Medicamentos y líquidos disponibles			
PREPARACION INSUMOS	Clanes de tubería completos			
PREPARACION INSUMOS	Cánulas disponibles			
PREPARACION INSUMOS	Cardioplegia disponible			
PREPARACION INSUMOS	tubos o cartuchos de ACT			
PREPARACION INSUMOS	Hemofiltro disponible			
PREPARACION INSUMOS	Cono de centrifuga disponible			
PREPARACION INSUMOS	Transductor de presión disponible			
PREPARACION INSUMOS	Adhesivos sensor de nivel			
PREPARACION INSUMOS	Soportes disponibles			
PREPARACION EQUIPOS	Máquina y batería de la CEC funcionando			
PREPARACION EQUIPOS	Hemocron disponible			
PREPARACION EQUIPOS	Máquina de gases sanguíneos disponibles			
PREPARACION EQUIPOS	Linterna funcionando			
PREPARACION EQUIPOS	Llave manual disponible			
PREPARACION EQUIPOS	Hemoterm y manta disponible funcionando			
PREPARACION EQUIPOS	Termómetros disponibles			

PREPARACION EQUIPOS	Blender y vaporizador disponibles, funcionando			
PREPARACION EQUIPOS	Sensor saturacion en linea disponible			
PREPARACION EQUIPOS	Sensor de nivel y burbujas funcionando			
PREPARACION EQUIPOS	Sensores para medición de presiones			
PREPARACION EQUIPOS	Centrífuga y accesorios disponibles			
PREPARACION EQUIPOS	Bala de oxigeno accesoria disponible			
PREPARACION EQUIPOS	Vacutrom disponible , funcionando			
SEGURIDAD	Reservorio venoso ventilado			
SEGURIDAD	Linea de oxigeno conectada			
SEGURIDAD	Dirección de succiones verificadas			
SEGURIDAD	Rodillos calibrados			
SEGURIDAD	Cánulas verificadas			
SEGURIDAD	Circuitos desburbujados			
SEGURIDAD	Medicamentos rotulados			
SEGURIDAD	Ubicación de clanes verificada			
SEGURIDAD	Líneas sin fugas, ni acodaduras			
SEGURIDAD	Set drenaje venoso asistido instalado			
SEGURIDAD	Saturacion en linea funcionando			
SEGURIDAD	Anticoagulación y ACT adecuado			
SEGURIDAD	Medición de presión en el circuito			
SEGURIDAD	Alarmas de CEC funcionando			
LISTA DE CHEQUEO POSTPERFUSION				
SEGURIDAD	Registros de Perfusión diligenciado			
SEGURIDAD	Hoja de gastos diligenciada			
SEGURIDAD	Circuitos desechados			
SEGURIDAD	Pinzas completas y limpias			
SEGURIDAD	Limpieza y desinfección de equipos según protocolo			
SEGURIDAD	Equipos completos, funcionando y conectados			
SEGURIDAD	Disponibilidad de medicamentos e insumos de urgencia			

Anexo 3. Evaluación de adherencia en perfusión y CEC

Fecha de la evaluación		Hora			
Sede					
Historia Clínica Paciente:					
Procedimiento quirúrgico:					
Enfermera Perfusionista:					
Evaluador:					
	PARAMETRO	SI	NO	NO APLICA	CRITERIO EVALUADO
1.	¿Realiza el lavado social de manos por 5 minutos antes de ingresar al quirófano?				
2.	¿Realiza la limpieza de equipos de la extracorpórea antes de realizar el procedimiento?				
3.	¿Conecta y verifica el funcionamiento de los equipos de la CEC según corresponda?				
4.	¿Realiza la revisión de la historia clínica previa a la atención del paciente?				
5.	¿Verifica el peso del paciente?				
6.	¿Verifica la disponibilidad de insumos de perfusión para el procedimiento quirúrgico según características del paciente, incluyendo el set de repuesto?				
7.	¿Revisa las fechas de vigencia y condiciones de esterilidad de los insumos?				
8.	¿Confirma con el personal de enfermería la disponibilidad de reserva de sangre?				
9.	¿Verifica la identidad, grupo sanguíneo, procedimiento quirúrgico a realizar y presencia de alergias con el paciente o su familia?				
10.	¿Realiza los cálculos necesarios para el desarrollo de la CEC, previa verificación del peso actual del paciente?				
11.	¿Confirma con la instrumentadora los calibres de las cánulas a usar según características del paciente?				
12.	¿Prepara o verifica la cardioplejía según especificaciones dada por el cirujano?				
13.	¿Realiza el montaje del circuito previo lavado clínico de 3 minutos y uso de guante estéril?				
14.	¿Usa los elementos de protección personal durante el procedimiento quirúrgico?				
15.	¿Realiza cálculo de hematocrito estimado para la CEC y solicita GRE si es necesario?				
16.	¿Realiza la purga del circuito teniendo en cuenta las características y condición clínica del paciente?				
17.	¿Administra medicamentos debidamente rotulados?				
18.	¿Verifica la administración de heparina y nivel adecuado de anticoagulación antes de iniciar el bypass?				
19.	¿Verifica la canulación arterial y venosa antes de iniciar el bypass?				
20.	¿Verifica los hemoderivados antes de realizar la transfusión?				
21.	¿Realiza control periódico de gases sanguíneos en CEC y realiza ajustes necesarios?				
22.	¿Realiza control periódico de electrolitos en CEC y realiza ajustes necesarios?				

23. ¿Realiza control periódico de hemoglobina, hematocrito en CEC y realiza ajustes necesarios?				
24. ¿Realiza control periódico de glicemia en CEC y ajustes según orden medica?				
25. ¿Realiza control periódico de la anticoagulación en CEC y realiza ajustes según protocolo?				
26. ¿Realiza cambios de temperatura teniendo en cuenta los parámetros indicados en los protocolos?				
27. ¿Administra medicamentos en el despinzamiento aórtico según sugerencia del protocolo?				
28. ¿Aplica las técnicas de hemofiltración según características del paciente?				
29. ¿Realiza el diligenciamiento de la hoja de gastos al finalizar el procedimiento quirúrgico?				
30. ¿Realiza la nota de perfusión al finalizar el procedimiento quirúrgico?				
31. ¿Realiza y firma las listas de chequeo según el momento quirúrgico?				
32. ¿Realiza la recolección y desecho del circuito según protocolo?				
33. ¿Realiza limpieza de los equipos de la CEC al finalizar el procedimiento quirúrgico?				
Puntaje obtenido %				
OBSERVACIONES:				

Elaboración propia

FORMULAS EN CEC

Índice Cardíaco: Es el gasto cardíaco por metro cuadrado de superficie corporal.

1. Gasto Cardíaco: $VS \times FC$. (VS= Volumen Sistólico; FC= Frecuencia Cardíaca)
2. Gasto Cardíaco= $[CoO_2 / (CaO_2 - CvO_2)] \times 100$
3. Índice Cardíaco en hipotermia severa hasta 1,6.
4. $RVS = [(PAM - PVC) / GC] \times 80$
5. $IRVS = [(PAM - PVC) / IC] \times 80$
6. $RVP = [(PAP \text{ media} - POAP) / GC] \times 80$
7. $IRVP = [(PAP \text{ media} - POAP) / IC] \times 80$
8. Entrega de Oxígeno: $DO_2 = (CaO_2 \times GC \times 10)$
9. Consumo de Oxígeno: $CoO_2 = [(CaO_2 - CvO_2) \times GC \times 10]$
10. Corrección del pH mediante la administración de Bicarbonato de Sodio al 5% (0,6 mEq/ml) (*) $NaHCO_3 \text{ mmol} = EB \times 0.3 \times \text{Peso}$
11. Corrección de Potasio $K = K \text{ deseado} - K \text{ actual} \times 0.3 \times \text{Peso}$
12. Cálculo de la Presión Arteria Media (*): $PAM = PD + PS - PD$
13. Corrección del Calcio $Ca = \text{Volumen Circulante} (Ca \text{ ideal} - Ca \text{ real}) \times 4 \text{ Ó } Ca = 0.5 \times \text{Peso}$
14. Volumen a ultrafiltrar $VUF \text{ (ml)} = Hcto \text{ deseado} - Hcto \text{ Real} \times \text{Volemia } Hcto \text{ Real}$

Fuente: Circulación Extracorpórea en Teoría y Práctica. Rudolf J. Tschaut (Ed.), Juan R. León-Wyss, Eligio García-Castro. PABST SCIENCE PUBLISHERS. Lengerich, Berlin, Bremen, Miami, Riga, Viernheim, Wien, Zagreb.2003