

# Revista Española de Perfusión

NÚMERO 73

SEGUNDO SEMESTRE 2022

ESPECIAL DIFUSIÓN  
TRABAJOS PREMIADOS EN EL XXII CONGRESO NACIONAL  
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE PERFUSIONISTAS

---

## DIFUSIÓN

Sangre de banco en la CEC pediátrica:  
alternativas para la mejora en el cebado

---

## DIFUSIÓN

El recuperador de células en cirugía  
cardíaca infantil, buscando la mejor  
solución de lavado

---

## DIFUSIÓN

Donación en asistolia neonatal,  
recuperación miocárdica y trasplante ABO  
incompatible. Primer caso combinado en  
el mundo.

---

## DIFUSIÓN

Efectos del flujo pulsátil con bomba  
centrífuga y con bomba de rodillo en  
circulación extracorpórea:  
hemoglobinuria, microembolismos,  
oximetría cerebral y onda pulsátil  
efectiva.



**Asociación  
Española de  
Perfusionistas**



**Editorial**

---

- 3** Editorial  
*Juan Carlos Santos, Editor jefe*

**Primer Premio**

---

- 5** Sangre de banco en la CEC pediátrica: alternativas para la mejora en el cebado.  
*Santos Palomino JC, Recio Recio ML, Casado Sánchez C, Cabrera López A, González Perales MC*

**Segundo Premio**

---

- 15** El recuperador de células en cirugía cardiaca infantil, buscando la mejor solución de lavado.  
*Recio Recio M, Casado Sánchez C, González Perales MC, Cabrera López A, Santos Palomino JC*

**Mejor Caso Clínico**

---

- 25** Donación en asistolia neonatal, recuperación miocárdica y trasplante ABO incompatible. Primer caso combinado en el mundo.  
*Zamorano Serrano JA, Pérez Pérez R, Ramírez Gómez B, Pérez Caballero R, Pardo Pardo C, Gil Jaurena JM*

**Premio Trabajo Fin de Máster**

---

- 31** Efectos del flujo pulsátil con bomba centrífuga y con bomba de rodillo en circulación extracorpórea: hemoglobinuria, microembolismos, oximetría cerebral y onda pulsátil efectiva.  
*González Perales MC, Cáliz Fuentes J*

### DIRECTOR

Carlos García Camacho  
Presidente de la AEP  
*Hospital Universitario Puerta del Mar (Cádiz)*  
presidencia@aep.es

### EDITOR JEFE

Juan Carlos Santos Palomino  
*Hospital Regional Universitario de Málaga*  
editor@aep.es

### EDITORIA ADJUNTA

Lucía Cobos González  
revista@aep.es

### COMITÉ EDITORIAL

María Jesús Alonso Peña  
*Hospital Central de la Defensa Gómez Ulla (Madrid)*

Laura Lorenzo Vaquerizo  
*Hospital de la Santa Creu i Sant Pau (Barcelona)*

Agustín Elías Fuentes  
*Hospital Reina Sofía de Córdoba*

Francesc Gahete Santiago  
*Hospital Clinic de Barcelona*

Miguel Ángel Parada Nogueiras  
*Complejo Asistencial Universitario de León*

Benjamín Vázquez Alarcón  
*Hospital Quironsalud Albacete*

Alexei Suárez Rivero  
*Cardiocentro Manta, Manta, Ecuador*

### EDITA

Asociación Española de Perfusionistas  
Paseo de la Habana, 9 - 11  
28036 MADRID  
www.aep.es  
info@aep.es

Los números de la revista pueden consultarse en la página web de la Asociación.

Abreviatura oficial de la revista: Rev Esp Perfusión

© Asociación Española de Perfusionistas, 2022



Creative Commons,  
Reconocimiento, No Comercial y Compartir Igual 4.0 Internacional  
[CC BY-NC-SA 4.0]

Indexada en CUIDEN

Depósito legal: M-7150-2019  
ISSN papel: 2659-5834  
ISSN online: 2659-5826

### DISEÑO

Jorge Portland

### COMPOSICIÓN

Carmen López Castro

### IMPRIME

Área Gráfica Emelar

# Muchas gracias

Juan Carlos Santos  
Editor jefe



**H**ace ya más de 4 años que adquirí un compromiso personal con nuestro presidente Carlos García a su llegada como máximo responsable de nuestra Asociación. Él me pidió que me hiciera cargo de la Revista para darle un pequeño empujón y me permitió una libertad absoluta en su gestión. La confianza que en mí demostró me obligaba a un esfuerzo importante para no defraudarlo. Y así lo he mantenido estos años.

Para mí ha sido sumamente reconfortante desempeñar este cargo de editor jefe de la Revista Española de Perfusión. No en vano, digamos que profesionalmente he sido siempre inquieto: me he hecho preguntas, siempre me gustó investigar; por eso mi objetivo fue doble al aceptar el cargo. Por un lado, intentar acercar la Revista al lugar que se merecía y, por otro, estar a disposición de todos los compañeros en una labor de asesoramiento y formación para facilitarles la publicación de trabajos científicos.

Creo que durante este tiempo hemos conseguido darle ese empujoncito, y hablo en plural porque incluyo en mi equipo diario a Lucía Cobos, con la que he trabajado codo con codo desde el primer día hasta el último y a la que agradezco desde aquí su implicación.

Pero toda etapa tiene su inicio y su final y estoy convencido de que es el momento de dejar paso a gente más joven, con más conocimientos, empuje y ganas; compañeros que puedan consolidar el salto cualitativo que ha dado nuestra Revista en los últimos años.

Si esto ha ocurrido, se lo debemos principalmente a los autores, todos sabemos que estar al día para mejorar nuestra práctica clínica necesita de esfuerzo y tiempo que le quitamos a nuestro ocio, por eso tenemos que darle el reconocimiento merecido a todos aquellos que han colaborado con sus publicaciones. Sin olvidarnos de todos los compañeros pertenecientes al Comité Editorial, que con su aportación hacen que nuestra Revista sea mejor.

A mí me llega el momento del relevo, pero quiero agradecer estos años: ha sido un auténtico placer. No me voy, sigo siendo Perico, el de Málaga, a disposición de quién me necesite.

# La INNOVACIÓN CONSTANTE en perfusión



## CYTOSORB

**El único sistema de inmunomodulación extracorpórea diseñado para Cirugía Cardíaca**

Indicado para:

- Endocarditis aguda
- Reducir el riesgo de sangrado intraoperatorio en pacientes bajo **Ticagrelor** y **Rivaroxaban**
- Reintervenciones complejas
- Procedimientos combinados
- ECMO



## CÁNULA BI-FLOW

**Perfusión arterial femoral bidireccional**

- La **única** cánula diseñada para prevenir la isquemia de las extremidades
- Disponible en dos versiones, una validada durante **6 horas** y la otra durante **29 días**, cubriendo los procedimientos de **Cirugía Cardíaca** y **ECMO**.

· Kit dilatador vascular incluido

# Palex

Constant Improvement

## CIRUGÍA CARDÍACA

Jesús Serra Santamans, 5 08174 Sant Cugat del Vallès (Barcelona)  
T: +34 934 006 552 F: +34 934 006 501 · palexmedical@palex.es

palexmedical.com



# Sangre de banco en la CEC pediátrica: alternativas para la mejora en el cebado.

Packed red blood cells in pediatric cardiopulmonary bypass: improving priming

Primer premio

XXII Congreso Nacional

Asociación Española de Perfusionistas

Junio 2022

## RESUMEN / ABSTRACT

**Introducción:** Se comparan dos técnicas para la obtención del cebado más fisiológico, el lavado de la sangre de banco en el recuperador de sangre previo a cebado, y por otro, la preparación del cebado y la ultrafiltración preCEC con reposición de volumen.

**Métodos:** Se realizó estudio observacional retrospectivo en pacientes pediátricos de cirugía cardíaca congénita en los que se usó sangre de banco para el cebado de la bomba entre enero de 2021 y febrero de 2022. Para el lavado de la sangre de banco con el recuperador se usó la solución Hemosol Bo, y en el otro grupo se cebó todo el circuito y se realizó una ultrafiltración balance o con reposición con Plasmalyte.

**Resultados:** Se analizaron 26 casos, 10 en el grupo Hemofiltro y 16 en el grupo Recuperador. El cebado fue de  $613 \pm 81$  ml en grupo Recuperador y  $590 \pm 51$  en Hemofiltro, sin diferencias significativas. El volumen de la bolsa fue similar en ambos grupos. En el cebado final hubo diferencias significativas en Hemoglobina ( $8,5 \pm 1,1$  vs  $10,5 \pm 1,4$ ,  $p < 0,0001$ ) y Hematocrito ( $26,0 \pm 3,3$  vs  $32,1 \pm 4,3$ ,  $p < 0,0001$ ) siendo inferiores en el grupo Recuperador, pudiendo ser una pérdida durante el procesamiento. También existieron diferencias en Glucemia ( $24 \pm 6$  vs  $86 \pm 12$ ,  $p < 0,0001$ ) y Potasio ( $2,7 \pm 0,4$  vs  $4,2 \pm 0,3$ ,  $p < 0,0001$ ) mayores en el grupo Hemofiltro, mientras que el Láctico ( $1,91 \pm 0,40$  vs  $2,47 \pm 0,52$ ,  $p < 0,005$ ) fue mejor en el grupo Recuperador.

**Conclusiones:** Ambas soluciones mejoran la composición del cebado habitual. Es mejor para la obtención de un cebado más fisiológico el uso de la técnica de hemofiltración con Plasmalyte.

**Palabras clave:** cebado; cirugía cardiopatía congénita; recuperador de sangre; hemofiltración

**Introduction:** We compared two techniques to obtain the most physiological priming, the washing of the bank blood cells in the cell saver prior to priming, and the other hand, the preparation of the priming and the preCPB ultrafiltration with volume replacement.

**Methods:** A retrospective observational study was conducted in pediatric patients undergoing congenital cardiac surgery in whom packed red cells was used to prime the pump between January 2021 and February 2022. To wash the bank blood with the cell saver, the Hemosol Bo solution was used, and in the other group the entire circuit was primed and a zero balance ultrafiltration was performed with replacement with Plasmalyte.

**Results:** 26 cases were analyzed, 10 in the Hemofilter group and 16 in the Cell Saver group. Priming was  $613 \pm 81$  ml in the Cell Saver group and  $590 \pm 51$  in the Hemofilter without significant differences. The volume of the bag was similar in both groups. In the final priming there were significant differences in hemoglobin ( $8.5 \pm 1.1$  vs  $10.5 \pm 1.4$ ,  $p < 0.0001$ ) and hematocrit ( $26.0 \pm 3.3$  vs  $32.1 \pm 4.3$ ,  $p < 0.0001$ ) being lower in the Cell Saver group, and may be a loss during processing. There were also differences in Glycemia ( $24 \pm 6$  vs  $86 \pm 12$ ,  $p < 0.0001$ ) and potassium ( $2.7 \pm 0.4$  vs  $4.2 \pm 0.3$ ,  $p < 0.0001$ ) greater in the Hemofilter group, while the Lactic ( $1.91 \pm 0.40$  vs  $2.47 \pm 0.52$ ,  $p < 0.005$ ) was better in the Cell Saver group.

**Conclusions:** Both solutions improve the composition of the usual priming. It is better to use the hemofiltration technique with Plasmalyte to obtain a more physiological prime.

**Keywords:** priming; congenital heart disease surgery; cell saver; ultrafiltration



Juan Carlos Santos Palomino

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-5543-8312

Mariluz Recio Recio

Enfermera Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID: 0000-0003-2024-0303

Carlos Casado Sánchez

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-5736-1558

Antonio Cabrera López

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

Miguel Carlos González Perales

Enfermero  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-9638-0612

Juan Carlos Santos Palomino  
Av. Carlos Haya s/n 29010 – Málaga  
Email: pscj17@hotmail.com

Recibido: septiembre de 2022  
Aceptado: octubre 2022

## INTRODUCCIÓN

El uso de sangre de banco para el cebado de circuito de circulación extracorpórea (CEC) en cirugía cardíaca congénita es muy frecuente, aunque eso se puede evitar en determinadas patologías cianóticas, en pacientes con algunas creencias religiosas y en algunos centros donde trabajan en esta dirección y realizan este tipo de cirugías sin sangre en niños por encima de 10 kg sin observar más complicaciones<sup>1</sup>.

Son bien conocidos los efectos deletéreos de la administración de hemoderivados, en particular la transfusión de sangre de banco en CEC está asociada a un mayor sangrado postoperatorio<sup>2</sup>, y con una duración prolongada de la ventilación mecánica en neonatos y lactantes sometidos a cirugía cardíaca congénita<sup>2,3</sup>, y en las primeras 48 horas del postoperatorio inmediato<sup>4</sup>. También se asoció de forma significativa con una mayor estancia hospitalaria<sup>2,5</sup>. En un estudio reciente, se recomienda la medición del potasio (K) de la bolsa de sangre de banco previa a la administración, especialmente en neonatos y lactantes, por el riesgo de complicaciones incluso de parada cardíaca<sup>6</sup>.

Otras de las cuestiones es la lesión de almacenamiento que está descrita cuando la sangre de banco lleva más de 14 días extraída. Existe una recomendación para la cirugía cardíaca congénita en la que los bancos de sangre no deben suministrar bolsas almacenadas por más de una semana, evitando así el empeoramiento de las condiciones del concentrado de hematíes. Una de las formas de mejorar la calidad de esa sangre es someterla a un lavado con solución salina en el propio Banco de Sangre y otro sistema alternativo sería el lavado en el recuperador de sangre en el quirófano. Bennet y cols compararon dos equipos para el lavado de sangre almacenada por más de 40 días, uno propio del banco y el recuperador Haemonetics Elite, obteniendo resultados similares en ambos<sup>7</sup>. De Voegre y cols publicaron un estudio lavando la sangre de banco de más de 35 días con un recuperador Electa (Dideco, Mirándola), disminuyendo el láctico y el K significativamente, y mejoró la resistencia osmótica de los glóbulos rojos, llegando a la conclusión de que resultaba beneficioso el lavado<sup>8</sup>.

Otra técnica usada ha sido la ultrafiltración balanceo (ZBUF) del cebado previa a la entrada en CEC. En un estudio donde se ultrafiltró el cebado con una solución cristaloide balanceada se consiguió una reducción significativa en los iones, láctico y glucosa así como un equilibrio ácido base en valores fisiológicos<sup>9</sup>. Dehaki y cols encontraron que la ZBUF resultó una estrategia útil en los lactantes sometidos a CEC en la medida en que modificó significativamente la composición de la sangre de cebado y mejoró el resultado clínico de los pacientes<sup>10</sup>.

En la bibliografía valorada, no se encontraron estudios que confrontaran estos dos métodos para la mejora del cebado en la cirugía de cardiopatías congénitas, por lo que el objetivo del presente estudio fue comparar dos técnicas para la obtención del cebado más fisiológico, el lavado de la sangre de banco en el recuperador de sangre previo a cebado, y por otro, la preparación del cebado y la ultrafiltración preCEC con reposición de volumen en la CEC pediátrica.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional retrospectivo en pacientes pediátricos de cirugía cardíaca congénita para evaluar dos sistemas de mejora del cebado de la bomba de CEC entre enero de 2021 y febrero de 2022.

Como criterio de inclusión, niños con peso inferior a 18 kg que limiten el uso a los dos oxigenadores y circuitos de menor volumen de cebado y los criterios de exclusión fueron los siguientes: uso de cebado cristaloide, cirugía urgente y entrada en el quirófano con ECMO

Se estudiaron dos sistemas para la mejora del cebado de la bomba de CEC a elección del perfusionista responsable de la CEC. El primero fue efectuar un lavado del concentrado de hematíes de banco en el quirófano para su utilización posterior en el cebado. Para ello se usó el recuperador Xtra con la campana de 55 ml y se eligió el programa optimizado: un flujo de llenado 300 ml/min; el flujo de lavado se inicia a 50 ml/min y a los 25 ml de lavado cambia automáticamente a un flujo de 100 ml/min, con una cantidad total de lavado de 200 ml y un flujo de vaciado de 300 ml/min. La solución que se seleccionó fue el Hemosol BO, que es una solución cristaloide balanceada tamponada con bicarbonato. El protocolo de lavado fue el siguiente: se dejó caer en el reservorio 400-500 ml de Hemosol por la zona filtrada. Se añadió la bolsa de sangre, pero sin pasar por el filtro del reservorio, de manera que no pudiera quedarse alguna mínima parte en él. Y se inició el primer ciclo del programa optimizado usando igualmente Hemosol como solución de lavado. Se realizaron tantos ciclos como fueron necesarios para procesar toda la sangre del reservorio, si en el último ciclo la campana quedaba incompleta, se usaba la opción "Concentración", tomando de la sangre ya procesada la cantidad necesaria para completar la campana. El concentrado de hematíes obtenido se usó para realizar el cebado del circuito de CEC. El segundo sistema consistió en preparar el cebado del circuito de CEC según el protocolo habitual de la Unidad de Perfusión y una vez completado, realizar una hemofiltración balanceo, reponiendo lo filtrado con Plasmalyte 148 A.

La bomba usada fue una System1 (Terumo Cardiovascular) con dos tipos de circuitos, uno con la línea arterial

de 3/16 y otro con la línea de 1/4, con filtro arterial Affinity Pixie (Medtronic) y en ambos casos, la línea venosa fue de 1/4. Los oxigenadores usados fueron Affinity Pixie (Medtronic) y el Kids D100 (Livanova). El hemoconcentrador fue un DHFO2 (Livanova). El cebado de este circuito se hizo con Plasmalyte (100-200 ml), Albúmina 20% (100-150 ml), concentrado de hematíes, Manitol 20% (0,5 gr/kg), Heparina 1% (500-1500 UI), Bicarbonato sódico (20-30 meq) y Metilprednisolona (2-12.5 mg/kg). La cardioplegia usada en un circuito independiente fue hemática 4:1 o bien Del Nido, en ambos casos con dosis de 20 ml/kg con un mínimo de 100 ml.

Se realizó una analítica a cada bolsa de sangre, previa a su uso. En el grupo Recuperador se analizó el concentrado de hematíes posterior al lavado y en el Grupo Hemofiltro al cebado previo a la hemofiltración. Por último, se hizo una analítica al cebado final en ambos grupos, previo a la entrada en CEC. Se enviaron muestras al laboratorio, analizando: pH, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, hematocrito (Hto), hemoglobina (Hb), glucemia, ácido láctico, sodio (Na), K, bicarbonato (CO<sub>3</sub>H), exceso/defecto de base (EB) y osmolaridad.

Las variables registradas, aparte de las mencionadas en el párrafo anterior, fueron los datos antropomórficos: género, edad, peso, talla, superficie corporal. Los datos referentes a la bolsa de sangre usada: volumen y número de días pasados desde la extracción en el donante. También se registraron los diferentes componentes del cebado y el volumen de cada componente.

Se efectuó un análisis descriptivo de las distintas variables de interés. Las variables de naturaleza cuantitativa se describen mediante la media y la desviación estándar, o mediante la mediana y el rango intercuartílico en ausencia de normalidad. Por otro lado, las variables cualitativas se presentan como frecuencias absolutas y relativas (%). La idoneidad de las pruebas estadísticas utilizadas en este trabajo se evalúa en función de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Si las muestras son independientes siguiendo las variables una distribución normal, se usa la prueba t-test para la comparación de medias bajo condiciones de normalidad y homocedasticidad. Todos estos análisis se realizan usando el software SPSS v.26 y el nivel de significación se establece para todos los casos en  $\leq 0.05$ .

## RESULTADOS

Se analizaron 26 casos, 10 en el grupo Hemofiltro y 16 en el grupo Recuperador. La edad media de los pacientes fue de  $1,60 \pm 1,63$  años, siendo un 65% del género femenino. El peso medio fue  $9,2 \pm 4,6$  kg, la talla  $75 \pm 19$  cm y la superficie corporal de  $0,42 \pm 0,17$ . Los datos comparados de ambos grupos se pueden ver en la tabla 1.

El cebado fue muy parecido entre ambos grupos sin diferencias significativas, aunque algo mayor en el grupo Recuperador,  $613 \pm 81$  ml, mientras que fueron  $590 \pm 51$  ml en el grupo Hemofiltro. En la tabla 2 se pueden observar las diferentes composiciones del cebado en los dos grupos, existiendo significación en los datos del Plasmalyte y en la cantidad de bicarbonato añadida.

En el análisis de las bolsas de hematíes de banco, previo a su lavado o administración al cebado, estas presentaron unos datos muy similares en ambos grupos (tabla 3). No obstante, llaman la atención varios datos de la composición: un pH muy ácido con defecto de bases importante y las presiones de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> también con valores alterados. Y datos bioquímicos muy elevados: glucemias alrededor de 400 mg/dL, K en torno a 8 meq/L y el láctico entre 9 y 10 meq/L.

Dentro del grupo Recuperador, tras el lavado de la bolsa de hematíes, se realizó un nuevo análisis al producto obtenido y este se comparó con los datos previos de la misma bolsa. Se obtuvo una cantidad ligeramente mayor ( $292 \pm 27$  vs  $288 \pm 17$  ml), pero sin ninguna significación. Sí resultado llamativo que en los datos de Hb y Hto, hubo unas diferencias muy importantes,  $20,6 \pm 0,9$  mg/dL y  $63,0 \pm 2,8$  % en el previo, mientras que se redujo en más de 3 mg/dL la Hb ( $17,4 \pm 1,1$  mg/dL) y en casi 10 puntos de hematocrito ( $53,2 \pm 3,2$  %). Mientras que en el Na no existieron diferencias el resultado, hubo una reducción significativa de la glucemia pasando de  $394 \pm 37$  mg/dL a  $59 \pm 18$ . Algo parecido ocurrió con el K, partiendo de  $8,2 \pm 3,1$  y quedando en  $2,9 \pm 0,4$  meq/L, por último, también existió una reducción en el Láctico de  $9,87 \pm 1,47$  a  $4,63 \pm 0,80$  mmol/L, siendo esta, superior al 50%.

En el siguiente paso se analizaron los datos obtenidos en el grupo Hemofiltro del cebado inicial y de ese mismo cebado sometido a una ultrafiltración balance 0 con reposición de Plasmalyte (Tabla 4). El pH y el PCO<sub>2</sub> presentaron diferencias significativas y en ninguno de los casos estuvieron dentro de rangos normales, mientras que eso no ocurrió en la PO<sub>2</sub>, aunque con valores elevados, siendo la saturación del 100%. En el cebado inicial hubo un bicarbonato y un exceso de base muy alto ( $33,8 \pm 7,7$  y  $6,8 \pm 8,9$  mmol/L), mientras que en el cebado ultrafiltrado la situación pasó al lado contrario, un bicarbonato bajo y un defecto de base importante ( $16,5 \pm 5,2$  y  $-8,8 \pm 7,2$  mmol/L), existiendo también diferencias significativas en la osmolaridad. Donde no hubo diferencias significativas fue en el Hto y la Hb, mientras que hubo una disminución importante tanto en la glucemia ( $164 \pm 27$  vs  $86 \pm 12$  mg/dL,  $p < 0,0001$ ), Na ( $165 \pm 5$  vs  $153 \pm 4$  meq/L,  $p < 0,0001$ ), y Láctico ( $3,71 \pm 0,75$  vs  $2,47 \pm 0,52$  mmol/L,  $p < 0,0001$ ), y por otro lado existió un aumento en el K ( $3,3 \pm 0,6$  vs  $4,2 \pm 0,3$  meq/L,  $p < 0,0001$ ).

Llegando al apartado principal del estudio que fue la evaluación de los cebados finales preparados para la entrada en CEC, se compararon todos los parámetros vistos anteriormente (Tabla 5). Empezando con los gases sanguíneos, en la

PO<sub>2</sub> los datos fueron prácticamente iguales, en el pH existió diferencia, pero sin llegar a ser significativa, en el grupo Recuperador 7,44±0,13 y 7,51±0,12 en el grupo Hemofiltro. Donde sí hubo diferencias significativas fue en la PCO<sub>2</sub>, con valores normales en el grupo Recuperador y valores muy bajos en el del Hemofiltro (40,0 ± 12,0 y 16,2 ± 5,8 mmHg, p<0,0001). También existieron diferencias significativas en cuanto a CO<sub>3</sub>H y el EB, estando en grupo Recuperador ambos parámetros dentro de límites normales, no ocurriendo lo mismo en el grupo Hemofiltro, mientras que no hubo diferencia significativa en cuanto a la osmolaridad. Quizás los datos más llamativos son los relacionados con la Hb y Hto, debido a su relevancia, presentando diferencias significativas e importantes clínicamente, siendo dichos parámetros muy inferiores en el grupo Recuperador (8,5 ± 1,1 vs 10,5 ± 1,4 mg/dL y 26,0 ± 3,3 vs 32,1 ± 4,3 %, p<0,0001 en ambas cifras). En la glucemia también tuvimos diferencias significativas, 24 ± 6 mg/dL en el grupo Recuperador y 86 ± 12 mg/dL en el grupo Hemofiltro (p<0,0001). Al igual ocurrió con el Láctico, 1,91 ± 0,40 por 2,47 ± 0,52 mmol/L (p=0,005). Finalizando con los iones, en el Na no se presentaron diferencias significativas, aunque si valores por encima de los normales en plasma, y en el K, sí que se hallaron diferencias (2,7 ± 0,4 y 4,2 ± 0,3, p<0,0001).

## DISCUSIÓN

El principal hallazgo es que ambas técnicas, tanto el lavado de la sangre de banco en el recuperador con Hemosol Bo, como la hemofiltración balance o del cebado con reposición de Plasmalyte 148, mejoran la composición del cebado en la CEC pediátrica. Tras esta observación, quizás el hecho más significativo ha sido la gran diferencia en la Hb y el Hto en el cebado final, y este hecho viene producido por la pérdida de hematíes durante el lavado de la bolsa de sangre en el recuperador. Aunque la cantidad previa al lavado y la obtenida posteriormente fue muy similar, hubo una reducción de más de 3 gramos de Hb y de casi 10 puntos porcentuales en el Hto, y esta se produjo en el proceso de lavado, pasando de un volumen de glóbulos rojos de 188 ml (288 ml al 63%) a uno de 155 ml (292 ml al 53,2%), sufriendo una pérdida de 33 ml, lo que supone un 17,6% menos de volumen de hematíes, reducción parecida con datos publicados<sup>8</sup>. Suponemos que dicha pérdida podría deberse a diferentes motivos, el primero es que el programa optimizado del recuperador Xtra no sea al adecuado para procesar una bolsa de sangre de banco y más hematíes de la cuenta a la bolsa de desecho, de forma visible, eso ocurre cuando se realiza el último proceso y se elige la opción de "concentración", al rellenar la campana con un Hto muy alto, hay paso de contenido hemático a la bolsa de desecho durante la parada de la campana y el inicio del lavado. También se podría pensar que el sistema de campana centrífuga

para el recuperador no sea el más adecuado, por lo que sería valorable realizar estudios comparando diferentes técnicas de recuperación de sangre, incluyendo algún sistema continuo de autotransfusión tipo CATS, para evaluar estos distintos recuperadores y sistemas de funcionamiento. Otro motivo podría ser que los hematíes de banco son más frágiles y someterlos a presiones y aceleraciones puede producir la rotura de estos, eliminándose en forma de hemólisis en el líquido de desecho, de forma visible o no. O bien una suma de todas las opciones, lo que sí se evitó es que parte de los hematíes se quedaran en el filtro del reservorio, motivo por el que la sangre de banco no pasó por este, sino que caía directamente sin filtrar.

Otro aspecto es la manipulación. el tiempo y la atención. En el grupo Recuperador hay una manipulación mucho mayor pues hay que pasar la bolsa de sangre al reservorio, donde ya hay solución de lavado, y realizar varios procesos, estando atentos al color del líquido de desecho, de forma que habitualmente hay que hacer una concentración en el último de ellos, y después la bolsa ya con el concentrado de hematíes lavado añadirla al cebado. Mientras que en el grupo Hemofiltro solo había que realizar el cebado normal y proceder al ultrafiltrado balance cero, con menor atención, pues el sensor de nivel puede actuar como aviso.

En cuanto a la solución de lavado elegida para el recuperador, el Hemosol Bo nos pareció la más adecuada debido a la no presencia de K (existiendo la posibilidad de añadir la cantidad deseada) y en nuestra unidad teníamos experiencia en cuanto al uso de esta solución en el recuperador de sangre. El Plasmalyte se usó para la reposición del hemofiltrado del cebado pues forma parte habitualmente del mismo. Y en relación con los datos de pH, PCO<sub>2</sub> y CO<sub>3</sub>H, son mejores en el grupo Recuperador y dentro de rango normal, mientras que en el grupo Hemofiltro están fuera de estos rangos. Esto tiene varios motivos, el primero es la propia solución, ya que el Hemosol tiene dentro de su composición bicarbonato sódico, presentando así unos parámetros ajustados a la normalidad, al tiempo que el Plasmalyte tiene acetato y glutamato, pero no tiene el mismo efecto tamponador. Sin embargo, el aspecto más influyente es el uso del hemoconcentrador que conlleva una mayor eliminación de dicho bicarbonato, y a pesar de haber añadido más de este, significativamente en el cebado del grupo Hemofiltro, no se consiguió alcanzar valores normales. Por otro lado, está el flujo de gas administrado al oxigenador, aunque se utilizaba un flujo mínimo de 0,02 lpm, habitualmente, el tiempo necesario para preparar el cebado definitivo era mayor en el grupo Hemofiltro, pues tras la preparación del cebado completo normal, después había que realizar la ultrafiltración balance o y esto aumentaba el tiempo total de recirculación con respecto al grupo Recuperador, por lo que también se podían alterar los parámetros anteriores. No obstante, pensamos que con cierta experiencia y la ayuda de CDI550, calibrándolo de forma previa du-

rante el cebado, se podrían ajustar mejor estos parámetros. Donde no hubo diferencias fue en la  $PO_2$ , que fue muy elevada en ambos grupos a pesar de usar una  $FiO_2$  de 28%, ni tampoco en la osmolaridad, siendo esta mayor en el grupo Hemofiltro sin llegar a ser significativa la diferencia.

Los casos de la glucemia y del láctico, son similares. Ambos son menores de forma significativa en el grupo Recuperador. Parece que es más efectivo el lavado que la hemofiltración para eliminar la glucosa, partiendo de que ambas soluciones carecen de esta en su composición. En cuanto al láctico, a pesar de que el Hemosol usado como solución de lavado en el recuperador, tiene un valor de 3 mmol/L, el dato obtenido en este grupo es inferior más medio punto, por lo que el recuperador tiene una capacidad mayor de eliminar el láctico que la técnica de ultrafiltración con reposición de Plasmalyte, aunque este último carezca de láctico entre sus componentes.

Por último, para analizar los iones, tuvieron comportamientos parecidos. En el Na los valores medios están por encima de lo normal, 150 meq/L en el grupo Recuperador y 153 meq/L en el de Hemofiltro, está claro que hemos aumentado su concentración, puesto que en la bolsa de banco es el único parámetro de los medidos que está dentro de rangos normales. En el primero, hemos añadido menos bicarbonato sódico debido a la presencia del mismo en la composición del Hemosol Bo y tenemos un bicarbonato normal en la gasometría, por lo que quizás se podría añadir menos en el cebado. Pero en el caso del Hemofiltro, con un defecto de base importante, no se puede añadir más bicarbonato, pues ya parte de 153 meq/L, si se intentara corregir aumentaríamos más este valor. El K en el grupo recuperador está cerca de la normalidad, 2,7 meq/L, porque se han añadido 3 meq/L a la bolsa de Hemosol, sería cuestión de añadir la cantidad que deseáramos que tuviera el cebado final. En el otro grupo, el valor está dentro de los márgenes normales, 4,2 meq/L. Este parámetro se reduce fácilmente porque en el cebado solo está el que se añade con la sangre de banco o lavada. Si quisiéramos con el recuperador, podríamos partir de 0 en el K.

Como limitaciones principales del estudio es que no existe una aleatorización en los grupos, no obstante, los datos basales y antropomórficos no presentan diferencias. Quizás se debería haber comparado una única solución o bien Plasmalyte o bien Hemosol en ambas situaciones, tanto como solución de lavado del recuperador como reposición a la ultrafiltración balance o. Por un lado, pensábamos que el Hemosol iba a producir un mejor concentrado final que el Plasmalyte pero por otro, su uso en el cebado nos habría obligado a cambiar la práctica clínica. Así que se decidió el estudio tal y como se ha planteado.

Como conclusión final, para la mejora del cebado hemático en la CEC pediátrica la opción a elegir es la ultrafiltración balance cero del cebado con Plasmalyte 148, ya que ofrece una mayor Hb y Hto y, a la vez, brinda una menor manipula-

ción durante todo el proceso. Sería necesario explorar otros recuperadores y otras soluciones, para obtener un cebado lo más óptimo posible.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no presentan conflicto de intereses.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Kayoum AA, Rivera Flores E, Reyes M, Almasarweh SI, Ojito J, Burke RP, et al. Safety of bloodless open-heart surgery on cardiopulmonary bypass in selected children: A single center experience with minimal invasive extracorporeal circulation. *Perfusion*. 2022; Dec 8 :2676591221145623. doi:10.1177/02676591221145623
2. Redlin M, Boettcher W, Kukucka M, Kuppe H, Habazettl H. Blood transfusion during versus after cardiopulmonary bypass is associated with postoperative morbidity in neonates undergoing cardiac surgery. *Perfusion*. 2014;29(4):327-332. doi:10.1177/0267659113517922
3. Kipps AK, Wypij D, Thiagarajan RR, Bacha EA, Newburger JW. Blood transfusion is associated with prolonged duration of mechanical ventilation in infants undergoing reparative cardiac surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2011;12(1):52-56. doi:10.1097/PCC.0bo13e3181e30d43
4. Kneyber MCJ, Grotenhuis F, Berger RFM, Ebels TW, Burgerhof JGM, Albers MJJ. Transfusion of leukocyte-depleted RBCs is independently associated with increased morbidity after pediatric cardiac surgery. *Pediatr Crit Care Med*. 2013;14(3):298-305. doi:10.1097/PCC.0bo13e3182745472
5. Salvin JW, Scheurer MA, Laussen PC, Wypij D, Polito A, Bacha EA, et al. Blood transfusion after pediatric cardiac surgery is associated with prolonged hospital stay. *Ann Thorac Surg*. 2011;91(1):204-210. doi:10.1016/j.athoracsur.2010.07.037
6. Altun D, Arnaz A, Doğan A, Yalçınbaş Y, Türköz R, Yükses A, et al. Measuring potassium level in packed red blood cells before using: Word of caution for congenital cardiac surgery. *J Card Surg*. 2022;37(3):535-541. doi:10.1111/jocs.16158
7. Bennett-Guerrero E, Kirby BS, Zhu H, Herman AE, Bandarenko N, McMahon TJ. Randomized study of washing 40- to 42-day-stored red blood cells. *Transfusion*. 2014;54(10):2544-2552. doi:10.1111/trf.12660
8. de Vroege R, Wildevuur WR, Muradin JAG, Graves D, van Oeveren W. Washing of stored red blood cells by an autotransfusion device before transfusion. *Vox Sang*. 2007;92(2):130-135. doi:10.1111/j.1423-0410.2006.00852.x
9. Osthau WA, Sievers J, Breyman T, Suempelmann R. Bicarbonate buffered ultrafiltration leads to a physiologic priming solution in pediatric cardiac surgery. *Interact*

Cardiovasc Thorac Surg. 2008;7(6):969-972. doi:10.1510/icvts.2008.179333

10. Gholampour Dehaki M, Niknam S, Bakhshandeh H, Azarfarin R. Zero-balance ultrafiltration of the priming blood modifies the priming components and improves the clinical outcome in infants undergoing cardiopulmonary bypass: A randomized controlled trial. *Artif Organs*. 2020;44(3):288-295. doi:10.1111/aor.13559

**Tabla I. Datos antropométricos y de la bolsa de sangre.**

	RECUPERADOR N=16	HEMOFILTRO N=10	p
GÉNERO (F/M)	75/25%	50/50%	NS
EDAD	1,59 ± 1,80	1,62 ± 1,42	NS
PESO	9,2 ± 4,6	9,1 ± 4,9	NS
TALLA	75 ± 20	75 ± 19	NS
SC	0,42 ± 0,17	0,42 ± 0,17	NS
VOLUMEN BOLSA	288 ± 19	288 ± 9	NS
DÍAS EXTRACCIÓN	3,9 ± 1,4	3,7 ± 1,1	NS
VOLUMEN BOLSA	288 ± 19	288 ± 9	NS
DÍAS EXTRACCIÓN	3,9 ± 1,4	3,7 ± 1,1	NS

F: Femenino; M: Masculino; SC: Superficie corporal

**Tabla II. Datos de la composición del cebado en ambos grupos.**

	RECUPERADOR	HEMOFILTRO	SIGN.
Plasmalyte	159 ± 55	125 ± 35	0,0001
Sangre	283 ± 35	276 ± 29	NS
Albúmina	141 ± 20	140 ± 21	NS
Manitol	24 ± 12	24 ± 12	NS
Bicarbonato	16 ± 5	25 ± 5	0,0001
Heparina	12 ± 3	12 ± 4	NS
Corticoide	74 ± 54	35 ± 33	NS
Volumen Cebado	613 ± 81	590 ± 51	NS



# Surgical Perfusion

## Multiple solutions

Advanced surgical perfusion components were used successfully for millions of cardiopulmonary bypass procedures worldwide each year. The Getinge heart-lung perfusion system is part of an established, comprehensive cardiac surgery suite portfolio, ensuring compatible solutions.



**Tabla III. Datos analíticos de la bolsa de sangre de banco**

	RECUPERADOR	HEMOFILTRO	SIGN.
pH	6,81 ± 0,05	6,82 ± 0,05	NS
PCO <sub>2</sub>	79 ± 9	79 ± 11	NS
PO <sub>2</sub>	47 ± 13	43 ± 8	NS
SO <sub>2</sub>	59 ± 14	53 ± 11	NS
CO <sub>3</sub> H	11,7 ± 1,0	12,3 ± 1,3	NS
EB	-20 ± 1	-19 ± 1	NS
OSMOLARIDAD	291 ± 10	291 ± 5	NS
HEMOGLOBINA	20,6 ± 0,9	20,7 ± 1,0	NS
HEMATOCRITO	63,0 ± 2,8	62,8 ± 3,4	NS
GLUCEMIA	394 ± 37	421 ± 38	NS
NA <sup>+</sup>	135 ± 5	134 ± 3	NS
K <sup>+</sup>	8,2 ± 3,1	7,4 ± 2,5	NS
LÁCTICO	9,87 ± 1,47	9,20 ± 1,56	NS

**Tabla IV. Comparación del cebado inicial y del cebado ultrafiltrado en el grupo Hemofiltro**

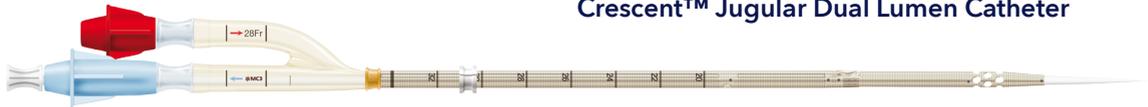
	CEBADO INICIAL	CEBADO ULTRAFILTRADO	SIGN.
pH	7,33 ± 0,15	7,51 ± 0,12	0,0001
PCO <sub>2</sub>	62,9 ± 29,4	16,2 ± 5,8	0,001
PO <sub>2</sub>	267 ± 23	275 ± 51	NS
SO <sub>2</sub>	100 ± 0	100 ± 0	NS
CO <sub>3</sub> H	33,8 ± 7,7	16,5 ± 5,2	0,0001
EB	6,8 ± 8,9	-8,8 ± 7,2	0,0001
OSMOLARIDAD	339 ± 11	311 ± 9	0,0001
HB	10,1 ± 1,2	10,5 ± 1,4	NS
HTO	30,8 ± 4,0	32,1 ± 4,3	NS
GLUCEMIA	164 ± 27	86 ± 12	0,0001
NA <sup>+</sup>	165 ± 5	153 ± 4	0,0001
K <sup>+</sup>	3,3 ± 0,6	4,2 ± 0,3	0,0001
LÁCTICO	3,71 ± 0,75	2,47 ± 0,52	0,0001

Tabla V. Parámetros analíticos del cebado final en ambos grupos

	RECUPERADOR	HEMOFILTRO	SIGN.
pH	7,44 ± 0,13	7,51 ± 0,12	NS
PCO <sub>2</sub>	40,0 ± 12,0	16,2 ± 5,8	0,0001
PO <sub>2</sub>	272 ± 43	275 ± 51	NS
SO <sub>2</sub>	100 ± 0	100 ± 0	NS
CO <sub>3</sub> H	26,0 ± 5,0	16,5 ± 5,2	0,0001
EB	2,1 ± 5,7	-8,8 ± 7,2	0,001
OSMOLARIDAD	301 ± 15	311 ± 9	NS
HB	8,5 ± 1,1	10,5 ± 1,4	0,0001
HTO	26,0 ± 3,	32,1 ± 4,3	0,0001
GLUCEMIA	24 ± 6	86 ± 12	0,0001
NA <sup>+</sup>	150 ± 7	153 ± 4	NS
K <sup>+</sup>	2,7 ± 0,4	4,2 ± 0,3	0,0001
LÁCTICO	1,91 ± 0,40	2,47 ± 0,52	0,005

Medtronic in ECLS

Innovative  
like no other



Crescent™ Jugular Dual Lumen Catheter



Nautilus™ Smart ECMO Module



Bio-Medicus Life Support™

See the device manual for detailed information regarding the instructions for use, indications, contraindications, warnings, precautions, and potential adverse events. For further information, contact your local Medtronic representative and/or consult the Medtronic website at [www.medtronic.eu](http://www.medtronic.eu). For applicable products, consult instructions for use on [www.medtronic.com/manuals](http://www.medtronic.com/manuals). Manuals can be viewed using a current version of any major internet browser. For best results, use Adobe Acrobat® Reader with the browser. This information is intended only for users in markets where Medtronic products and therapies are approved or available for use as indicated within the respective product manuals. Content on specific Medtronic products and therapies is not intended for users in markets that do not have authorization for use.

Crescent™ Jugular Dual Lumen Catheter and Nautilus™ Smart ECMO Module are manufactured by MC3, Inc. and exclusively distributed by Medtronic.

UC202305393 EE-ecls-a4-ad-en-we-7742744 © Medtronic 2022. Medtronic, Medtronic logo, and Engineering the extraordinary are trademarks of Medtronic.

# El recuperador de células en cirugía cardiaca infantil, buscando la mejor solución de lavado.

The cell saver in infant cardiac surgery, looking for the best washing solution.

2º Premio de Comunicaciones Orales  
XXII Congreso Nacional  
Asociación Española de Perfusionistas  
Junio 2022

## RESUMEN / ABSTRACT

**Objetivo:** En cirugía cardiaca congénita la necesidad de hemoderivados es alta y el volumen transfundido elevado con relación al volumen sanguíneo del niño. Se compararon tres soluciones de lavado en el recuperador de células, Plasmalyte, Suero Salino y Hemosol, para valorar el producto final de autotransfusión más fisiológicamente normal en pacientes pediátricos.

**Material y Métodos:** Se realizó un estudio observacional retrospectivo en pacientes pediátricos de cirugía cardiaca congénita en los que se obtuvo concentrado de hematíes del recuperador de sangre entre enero de 2020 y diciembre de 2021. Se usó el recuperador Xtra® con la campana de 55 ml. La única diferencia entre los grupos fue la solución de lavado, Plasmalyte, Suero Salino al 0,9% o Hemosol Bo.

**Resultados:** Se analizaron 60 muestras de recuperador, veinte en cada grupo, con un 55% de género femenino. La edad media fue de 23,1±26,6 meses con un peso de 12,1±9,1 kg. El volumen recuperado fue 158,7±43,7 ml sin diferencias entre grupos, como tampoco con respecto a hemoglobina y hematocrito, la cantidad solo tuvo relación con tiempos de CEC e isquemia y en el caso de reintervenciones. Sin embargo, sí que hubo diferencias en el Sodio (Salino: 164±2; Plasmalyte: 146±1; Hemosol: 148±1; p<0,0001), Potasio (1,7±0,6; 5,9±0,3; 3,1±0,7 p<0,0001), Cloro (148±2; 103±2; 114±2; p<0,0001) y Magnesio (0,3±0,1; 3,9±0,1; 1,5±0,3 p<0,0001).

**Conclusiones:** Plasmalyte y Hemosol obtienen un producto final más óptimo. Por lo que recomendamos no usar el suero salino como solución de lavado para el recuperador de sangre en pacientes pediátricos, siendo de elección una solución cristaloides balanceada.

**Palabras clave:** sangre de banco; recuperador de sangre; cirugía cardiopatóas congénitas; circulación extracorpórea

**Objective:** In congenital cardiac surgery, the need for blood products is high and the volume transfused is high in relation to the blood volume of the child. Three cell salvage wash solutions, Plasmalyte, Saline, and Hemosol, were compared to assess the most physiologic end-product of autotransfusion in pediatric patients.

**Methods:** A retrospective observational study was conducted in pediatric congenital cardiac surgery patients in whom concentrated red blood cells were obtained from the cell saver between January 2020 and December 2021. The Xtra® of 55 ml was used. The difference between groups was the wash solution, Plasmalyte, 0.9% Saline, or Hemosol Bo.

**Results:** 60 samples of cell saver were analyzed, 20 in each group, with 55% female. The mean age was 23.1 ± 26.6 months with a weight of 12.1 ± 9.1 kg. The recovered volume was 158.7 ± 43.7 ml with no differences between groups, nor with respect to hemoglobin and hematocrit, the amount was only related to CPB and ischemia times and in the case of reinterventions. However, there were differences in Sodium (Saline: 164±2; Plasmalyte: 146±1; Hemosol: 148±1; p<0.0001), Potassium (1.7±0.6; 5.9± 0.3; 3.1±0.7 p<0.0001), Chlorine (148±2; 103±2; 114±2; p<0.0001) and Magnesium (0.3±0.1; 3.9±0.1, 1.5±0.3 p<0.0001).

**Conclusions:** Plasmalyte and Hemosol obtain a more optimal final product. Therefore, we recommend not using saline as a washing solution on the cell saver in pediatric patients, a balanced crystalloid solution being the choice.

**Keywords:** packed red blood cell; cell saver; congenital cardiac surgery; cardiopulmonary bypass.



Mariluz Recio Recio

Enfermera Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0003-2024-0303

Carlos Casado Sánchez

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-5736-1558

Miguel Carlos González Perales

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-9638-0612

Antonio Cabrera López

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga

Juan Carlos Santos Palomino

Enfermero Perfusionista  
Hospital Regional Universitario de Málaga  
ORCID:0000-0002-5543-8312

Juan Carlos Santos Palomino  
Av. Carlos Haya s/n 29010 – Málaga  
Email: pscj17@hotmail.com

Recibido: octubre de 2022  
Aceptado: noviembre de 2022

## INTRODUCCIÓN

En cirugía cardíaca congénita la necesidad de hemoderivados es alta y el volumen transfundido elevado con relación al volumen sanguíneo del niño. Las transfusiones de glóbulos rojos alogénicos y de productos de la coagulación también se pueden reducir con la reinfusión de sangre del recuperador en la cirugía cardíaca pediátrica<sup>1</sup>, aunque esto solo puede realizarse en las primeras 4 a 6 horas después del procesamiento.

Inicialmente, en nuestro hospital el recuperador de sangre no se usaba en todos los niños. En la mayoría de las cirugías la cantidad de sangre aspirada era insuficiente para producir un mínimo concentrado de hematíes que justificara su uso, solo se preparaba en cirugías que se prevenían largas o en reintervenciones. Pero observamos que, tras la CEC, realizábamos la ultrafiltración modificada (MUF), en un circuito independiente, durante la cual se reinfundía toda la sangre que queda en el circuito de CEC. A la finalización de la MUF, se administraba el mayor volumen posible del circuito específico al niño. Pero siempre quedaba una cantidad variable y con un hematocrito muy alto. Si este resto de sangre se pasaba al recuperador y se le sumaba a la cantidad de sangre aspirada en el reservorio, permitía el procesamiento de esta en casi la totalidad de los casos con la obtención de una cantidad apreciable de concentrado de hematíes.

Históricamente el suero salino se ha usado como solución de lavado en los recuperadores de sangre, recomendado siempre por los fabricantes de estos. No obstante, el uso de suero salino produce cambios ácido-base, electrolíticos y hematológicos cuando se utiliza como solución de lavado en la sangre recuperada<sup>2</sup>. Por otro lado, el Plasmalyte 148 A es un cristaloiide isotónico balanceado, usado como fuente de reemplazo de líquidos y electrolitos y en el cebado de la circulación extracorpórea (CEC), a diferencia del salino, contiene concentraciones más bajas de sodio y cloro y a temperatura ambiente tiene un pH fisiológico<sup>3</sup>. El Hemosol Bo es una solución cristaloiide balanceada que se usa en terapias de reemplazo renal y que usamos como solución de reposición durante la ultrafiltración continua balanceada durante la CEC en pacientes con insuficiencia renal crónica.

Wan y cols encontraron menos alteraciones electrolíticas y ácido-base a la vez que una menor fragilidad de los glóbulos rojos en la sangre obtenida del recuperador lavada con Plasmalyte en comparación con suero salino<sup>4</sup>. En el estudio de Ratliff y cols al comparar el lavado de productos de autotransfusión con salino, Normosol-R y Plasmalyte, esta última produjo la solución más fisiológica con la hemoglobina más alta y los niveles más bajos de cloruro y sodio<sup>5</sup>. En otro estudio realizado en alícuotas de glóbulos rojos lavados con salino o Plasmalyte, se midieron los niveles de hemoglobina libre y hemo en cada alícuota a las 24, 48 y 72

horas después del lavado. Encontraron una hemólisis significativamente mayor en las lavadas con salino en cada punto de tiempo, en comparación con las lavadas con Plasmalyte. Además, detectaron una función plaquetaria disminuida en cada punto de tiempo en las alícuotas de plaquetas lavadas con salino en comparación con Plasmalyte<sup>6</sup>. Recientemente, Cholette y cols proporcionaron la evidencia del beneficio potencial del lavado en el recuperador de células con Plasmalyte en comparación con salino, proporcionando datos tranquilizadores de que la reinfusión de sangre del recuperador hasta 24 horas después de su procesamiento cuando se mantiene con una regulación estricta de la temperatura no afecta negativamente la composición ácido-base o electrolítica del receptor<sup>7</sup>.

En un estudio "in vitro", el lavado de los glóbulos con MultiBIC, que es una solución cristaloiide tamponada con bicarbonato de composición similar al Hemosol Bo, comparado con salino, dio como resultado una composición más fisiológica con mejoras en las concentraciones de electrolitos, el equilibrio ácido-base y la estabilidad de los eritrocitos cuando se usaba MultiBIC<sup>8</sup>.

El objetivo del presente estudio fue comparar tres soluciones de lavado en el recuperador de células, Plasmalyte 148 A, Suero Salino 0,9% y Hemosol Bo, para valorar el producto final de autotransfusión más fisiológico para pacientes pediátricos en cirugía de cardiopatías congénitas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio observacional retrospectivo en pacientes pediátricos de cirugía cardíaca congénita en los que se obtuvo concentrado de hematíes del recuperador de sangre entre enero de 2020 y diciembre de 2021.

Como criterios de inclusión se marcaron aquellos niños en los que se recuperó la sangre suficiente para procesar un mínimo de 1 campana y se excluyeron intervenciones que fuesen con criterio urgente, en aquellos casos cuando la salida de CEC fuese en ECMO y cuando no se realizase ultrafiltración modificada (MUF).

Se usó el recuperador Xtra® (Livanova, Mirándola) con la campana de 55 ml y programa optimizado de forma que no se pueden modificar los parámetros, excepto aumentar el volumen de lavado. Se usó 500 ml de salino con 150 mg de Heparina sódica para el purgado de la línea y del reservorio. Los parámetros del programa optimizado fueron: flujo de llenado 300 ml/min; el flujo de lavado se inicia a 50 ml/min y a los 25 ml de lavado cambia automáticamente a un flujo de 100 ml/min, con una cantidad total de lavado de 200, si este volumen para el lavado era insuficiente, porque seguía saliendo teñido aun, se subía a 300 ml de lavado; y un flujo de vaciado de 300 ml/m.

Se usaron tres diferentes soluciones de lavado a elec-

ción del perfusionista, la habitual recomendada por el fabricante del recuperador que es el suero salino, y se utilizaron también dos soluciones cristaloides balanceadas, por un lado, Plasmalyte 148 al agua, y por otro, Hemosol Bo, que es una solución con doble bolsa y que se reconstituye en el momento del uso (5 litros) al que se le añadieron 3 meq/l de potasio (K), pues esta solución carece del mismo y así acercarse más, a la concentración plasmática de ese electrolito. En la tabla 1 se pueden ver las diferentes composiciones de las soluciones de lavado.

El procedimiento para la obtención de sangre en el recuperador fue el habitual, se aspiró sangre con el recuperador desde el inicio de la intervención hasta la administración de heparina. En este momento se inició el uso de los aspiradores de la bomba y tras la administración de protamina se volvió a usar el aspirador del recuperador hasta el final de la intervención. Normalmente la cantidad de sangre aspirada es insuficiente para el procesamiento de esta, pero nos dimos cuenta de que tras la CEC realizamos la ultrafiltración modificada (MUF), en un circuito independiente, durante la cual reinfundimos toda la sangre que queda en el circuito de CEC. A la finalización de la MUF, se administra el mayor volumen posible del circuito independiente, pero siempre queda una parte en el circuito y con un hematocrito muy alto. Si este resto de sangre se pasa al recuperador, la cantidad de sangre en el reservorio, en casi la totalidad de los casos, permite el procesamiento de esta.

En la recogida de datos, se incluyó aparte de los datos sociodemográficos y antropomórficos, el tipo de intervención, si era una reintervención, y los datos quirúrgicos: tiempos de CEC, isquemia y temperatura mínima. Se anotó la cantidad total de sangre recuperada y se le realizó un hemograma completo, una bioquímica con sodio (Na), K, cloro (Cl), magnesio (Mg) y ácido láctico) y una gasometría de la muestra en laboratorio donde se anotaron: pH, PO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub> y osmolaridad.

Se efectuó un análisis descriptivo de las distintas variables de interés. Las variables de naturaleza cuantitativa se describen mediante la media y la desviación estándar, o mediante la mediana y el rango intercuartílico en ausencia de normalidad. Por otro lado, las variables cualitativas se presentan como frecuencias absolutas y relativas (%). La idoneidad de las pruebas estadísticas utilizadas en este trabajo se evalúa en función de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante la prueba de Levene. Si las muestras son independientes siguiendo las variables una distribución normal, se usa la prueba t-test para la comparación de medias en el caso de tener únicamente dos grupos o bien la técnica ANOVA para más de dos grupos bajo condiciones de normalidad y homocedasticidad. La asociación entre variables cualitativas se realiza mediante la prueba Chi-cuadrado, en el caso de que las frecuencias esperadas sean superiores o iguales a 5

o la prueba exacta de Fisher si las frecuencias esperadas son inferiores a 5. En caso de variables cuantitativas se aplicó la correlación de Pearson. Todos estos análisis se realizan usando el software SPSS v.26 y el nivel de significación se establece para todos los casos en  $\leq 0.05$ .

## RESULTADOS

Se analizaron 60 muestras de recuperador, veinte en cada grupo. Un 55% fue de género femenino. La edad media fue de  $23,1 \pm 26,6$  meses con un peso de  $12,1 \pm 9,1$  kg. Las distintas patologías preoperatorias que presentaron los pacientes están en la Tabla 2. Las reintervenciones fueron 7, el 11,7% de la muestra, sin que hubiera diferencias significativas de la distribución de estas entre grupos.

Los datos sociodemográficos y quirúrgicos entre grupos fueron similares (Tabla 3). En todos los informes de las muestras de bioquímica se detectó hemólisis.

La media del volumen recuperado fue  $159 \pm 44$  ml sin diferencias entre grupos, siendo en el grupo Plasmalyte de  $163 \pm 38$  ml, en el Salino  $146 \pm 38$  ml y en el Hemosol  $167 \pm 52$  ml. Este volumen recuperado no tuvo relación con la edad, peso, talla, ni superficie corporal mientras sí que tuvo relación con el tiempo de CEC ( $r=0,623$ ,  $p<0,0001$ ) y con el tiempo de isquemia ( $r=0,500$ ,  $p<0,0001$ ) Cuando el niño había sido intervenido previamente de cirugía cardiaca (una o más veces), hubo un mayor volumen de sangre recuperada, obteniéndose  $190 \pm 44$  ml, mientras que en los no reintervenidos fue de  $155 \pm 43$  ml ( $p=0,044$ ).

En cuanto a los parámetros hematológicos analizados en la bolsa, los resultados de la hemoglobina (Plasmalyte:  $18,7 \pm 1,1$ , Salino:  $18,8 \pm 1,1$  y Hemosol:  $18,7 \pm 1,1$ ) y los del hematocrito (Plasmalyte:  $53,9 \pm 2,7$ , Salino:  $54,2 \pm 3,1$  y Hemosol:  $55,4 \pm 2,3$ ) no tuvieron diferencias significativas, presentando valores muy similares entre los tres grupos. En cuanto a los glóbulos blancos ocurrió algo similar, no hubo diferencias significativas entre grupos: Plasmalyte,  $8536 \pm 4844$ ; Salino  $11712 \pm 6231$ ; y Hemosol,  $9365 \pm 5788$ .

Dentro de los datos de la gasometría, el pH fue muy parecido entre Plasmalyte y Salino ( $7,60 \pm 0,13$  y  $7,62 \pm 0,11$ ) mientras que Hemosol tuvo un pH dentro de los parámetros normales  $7,44 \pm 0,13$ , siendo la diferencia de este con los anteriores significativa ( $p<0,0001$ ). Con respecto a la PCO<sub>2</sub>, esta no se detectó en las muestras de Plasmalyte y Salino, no obstante, en el Hemosol fue de  $42,5 \pm 10,7$  mmHg, no pudiendo analizarse por la inexistencia de datos en los dos primeros grupos. Finalmente, la PO<sub>2</sub> presentó diferencias significativas entre los grupos siendo las presiones parciales siguientes: Plasmalyte  $200 \pm 9$  mmHg; Salino  $203 \pm 11$  mmHg; Hemosol  $192 \pm 13$  mmHg ( $p=0,008$ ).

Entrando en el último apartado que son los iones, los resultados los podemos observar en la Tabla 4. Existen di-

ferencias significativas en todos y cada uno de los parámetros incluidos la osmolaridad. Lógicamente, en el grupo Salino Na y Cl están por encima de valores normales. En el caso del Plasmalyte, el K esta cercano a 6 meq/L. Mientras el láctico mas alto se encuentra en el grupo Hemosol, por encima de 3 meq/L.

## Discusión

La recuperación de sangre en cirugía de cardiopatía congénitas no es una técnica de aplicación clínica estándar. Tras comprobar la utilidad de esta en nuestro Hospital y plantearnos alternativas para la solución de lavado, hemos comprobado que las soluciones cristaloides balanceadas tanto Plasmalyte como Hemosol Bo ofrecen un mejor producto final del recuperador de sangre con respecto a parámetros iónicos y bioquímicos. El principal problema del suero salino, anteriormente mal llamado “fisiológico”, es que solo tiene cloro y sodio a concentraciones por encima de las plasmáticas (154 meq/L, en ambos casos), sin embargo, es el recomendado tanto para el suero heparinizado como para suero de lavado por todos los fabricantes de recuperadores de sangre. Lo que nos dicen las analíticas es que, en el tema bioquímico, el suero que se usa de lavado esta directamente relacionado con la concentración iónica del concentrado de hematíes resultante del recuperador. En todos los datos hay un leve incremento en todos los valores previos de cada una de las soluciones excepto en el Cloro del suero salino, el único que baja de 154 a 148 meq/L, no obstante, este dato es importante pues existe relación entre hipercloremia y lesión renal aguda<sup>9</sup> (Tabla 5). De ahí, la gran importancia de la elección de la solución de lavado más adecuada, siendo de vital importancia en niños. Si analizamos las dos soluciones cristaloides balanceadas, también presentan diferencias significativas entre ellas, el K es casi de 6 en el grupo Plasmalyte, siendo de 3,1 en el grupo Hemosol, gracias al K añadido a la bolsa de lavado. En el caso de este último, se podría ajustar la dosis para elegir aproximadamente la concentración de este parámetro (también se podría realizar lo mismo con el suero salino). Para el NA y Cl, Plasmalyte está dentro de los rangos normales y Hemosol ligeramente por encima. En cuanto al ácido láctico, el Hemosol lo sube por encima de 3 meq/L, debido a que esa es su concentración original, mientras que Plasmalyte se queda con el valor más bajo, próximo a 1. En cuanto al uso, el Hemosol requiere mas preparación pues hay que reconstituir las dos soluciones que tiene la bolsa y añadir el K, aparte que son 5 litros (mucho peso para la manipulación), y en realidad con 500-600 ml de volumen de lavado suele ser suficiente. Y los precios por bolsa son Salino 500 ml, 0,51€, Plasmalyte 500 ml, 1,45€, y Hemosol 5l, 8,76€, no siendo el coste muy significativo en el entorno de una cirugía cardíaca pediátrica.

Un dato llamativo es que las muestras lavadas con Hemo-

sol, tienen un pH y una PCO<sub>2</sub> normal, a diferencia de las otras dos soluciones que no contienen CO<sub>2</sub> y por ello el pH es ligeramente alcalino (por encima de 7,60). Esto es debido a la presencia de bicarbonato en la solución reconstituida de Hemosol. Aunque existen diferencias significativas en cuanto a la PO<sub>2</sub>, no tienen interés desde el punto de vista clínico.

La cantidad recuperada de sangre ha sido similar entre los grupos y no guardó relación ni con la edad, peso, talla, ni superficie corporal. Tan solo presentó una relación significativa con el tiempo de CEC y el tiempo de isquemia y en los casos de reintervención (anteriormente era en este tipo de pacientes donde se usaba el recuperador tan solo), donde se recuperaron de media 35 ml más, suponiendo un incremento superior al 20%. Pensábamos que podría haber tenido relación con el peso del niño, pero en realidad, cuando se finaliza la MUF, se va devolviendo el volumen del circuito MUF lentamente al niño, y cuanto más pequeño es, menor volumen se le puede administrar, por lo que más volumen pasa al recuperador.

Así mismo, los parámetros hematológicos, hemoglobina y hematocrito fueron prácticamente iguales entre los 3 grupos, lo cual nos informa de un comportamiento constante del recuperador. Quizás era de esperar unos datos más elevados, pero debido a nuestra experiencia, a menor tamaño de campana (55ml, la más pequeña), menor es el hematocrito medio obtenido.

Otra cuestión para tener en cuenta, que en principio no valoramos, es que en todas y cada una de las muestras de bioquímica enviadas a laboratorio se detectó hemólisis, lo que nos hace pensar que quizás los parámetros del programa optimizado de la Xtra para campanas de 55 ml no son del todo los adecuados, deberían de valorar tanto el flujo como el volumen total de lavado. Para no tener influencia en el resultado final, se eligió el programa optimizado, donde solo se podía cambiar el volumen de lavado, y que en determinados casos se amplió a 300 ml por que el líquido de desecho no salía claro, pero, aun así, la hemólisis también estuvo presente.

Como principal limitación del estudio, es que no existe una aleatorización de los pacientes, y el uso fue a criterio del perfusionista. También se estudió un amplio abanico de niños, desde neonatos, lactantes y pediátricos, quizás se debería acotar un poco la población en futuros estudios, así como comparar diferentes recuperadores para valorar los distintos sistemas.

Para terminar, podemos afirmar que el suero salino es la solución de lavado con peor concentración electrolítica para la obtención de un concentrado de hematíes óptimo. Por lo que recomendamos el uso de soluciones cristaloides balanceadas como solución de lavado en el recuperador de sangre en la cirugía de cardiopatías congénitas y por su facilidad de uso y acceso, el Plasmalyte 148 al agua parece la mejor opción, de hecho, es el que hemos incorporado a nuestra práctica clínica.

**CONFLICTO DE INTERESES**

Los autores no presentan conflicto de intereses

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Cholette JM, Powers KS, Alfieris GM, et al. Transfusion of cell saver salvaged blood in neonates and infants undergoing open heart surgery significantly reduces RBC and coagulant product transfusions and donor exposures: Results of a prospective, randomized, clinical trial. *Pediatr Crit Care Med*. 2013;14(2):137-147. doi:10.1097/PCC.obo13e31826e741c
2. Halpern NA, Alicea M, Seabrook B, Spungen AM, McElhinney AJ, Greenstein RJ. Cell saver autologous transfusion: metabolic consequences of washing blood with normal saline. *J Trauma*. 1996;41(3):407-415. doi:10.1097/00005373-199609000-00005
3. Weinberg L, Collins N, Van Mourik K, Tan C, Bellomo R. Plasma-Lyte 148: A clinical review. *World J Crit Care Med*. 2016;5(4):235-250. doi:10.5492/wjccm.v5.i4.235
4. Han W, Wang. The effect of red blood cells function during autologous blood salvage using by plasmalyte A: 6AP6-4. *Eur J Anaesthesiol*. 2010;27(47):114-115.
5. Ratliff TM, Burnside JL, Hodge AB, Naguib AN, Gomez D. The impact of three different wash solutions on autotransfusion products. *J Extra Corpor Technol*. 2018;50(2):113-116.
6. Refaai MA, Conley GW, Henrichs KF, et al. Decreased Hemolysis and Improved Platelet Function in Blood Components Washed With Plasma-Lyte A Compared to 0.9% Sodium Chloride. *Am J Clin Pathol*. 2018;150(2):146-153. doi:10.1093/ajcp/aqy036
7. Cholette JM, McRae HL, Angona R, et al. In Vitro and In Vivo Comparison of Hemoglobin and Electrolytes Following the Collection of Cell Saver Blood Washed with Either Normal Saline or Plasma-Lyte A. *J Extra Corpor Technol*. 2021;53(3):214-219. doi:10.1182/ject-2100018
8. Huber D, Witt L, Sümpelmann R, et al. Comparison of bicarbonate-buffered fluid and isotonic saline solution as Cell Saver washing fluids for packed red blood cells. *Paediatr Anaesth*. 2013;23(11):1021-1026. doi:10.1111/pan.12232
9. Rodríguez A, Campos S. Fluidoterapia en pediatría: solución salina vs. soluciones balanceadas. *Rev Metro Cienc*. 2022;30(2):50-65. doi:10.47464/MetroCiencia/vol30/2/2022/50-65

**Tabla I. Composición de las soluciones de lavado**

	PLASMALYTE	HEMOSOL Bo	SALINO
Na <sup>+</sup>	140	140	154
K <sup>+</sup>	5	3*	
Cl <sup>-</sup>	98	109.5	154
Ca <sup>++</sup>		3.5	
Mg <sup>++</sup>	3	1	
Lactato		3	
Bicarbonato		32	
Acetato	27		
Gluconato	23		
Osmolaridad	295	287	308

Todos los datos van expresados en meq/L

Na: Sodio; K: Potasio; Cl: Cloro; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

\*: se añaden 3 meq/L de potasio a la bolsa reconstituida de Hemosol Bo.

**Tabla II. Diagnósticos preoperatorios.**

Diagnóstico	Frecuencia	Porcentaje
ATRESIA PULMONAR	2	3,3
CANAL A-V COMPLETO	3	5,0
CANAL A-V INCOMPLETO	1	1,7
CIA OSTIUM PRIMUM	3	5,0
CIA OSTIUM SECUNDUM	10	16,7
COMUNICACIÓN INTERVENTRICULAR	13	21,7
DRENAJE ANÓMALO	2	3,3
ESTENOSIS PULMONAR	2	3,3
ESTENOSIS SUPRAAÓRTICA	1	1,7
HIPOPLASIA VENTRÍCULO IZQ.	1	1,7
OTROS	1	1,7
TETRALOGÍA DE FALLOT	6	10,0
TRASPOSICIÓN GRANDES VASOS	7	11,7
VENTRÍCULO DCHO DOBLE SALIDA	3	5,0
VENTRÍCULO ÚNICO	5	8,3
Total	60	100,0

A-V: aurículo-ventricular; CIA: comunicación interauricular.

**Tabla III. Datos sociodemográficos y de CEC**

		N	MEDIA ± DE	SIGN
EDAD	PLASMALYTE	20	1,48 ± 2,00	NS
	SALINO	20	2,00 ± 2,25	
	HEMOSOL	20	2,31 ± 2,40	
	Total	60	1,93 ± 2,21	

PESO	PLASMALYTE	20	$8,5 \pm 6.0$	NS
	SALINO	20	$10,1 \pm 6.0$	
	HEMOSOL	20	$12,1 \pm 9.1$	
	Total	60	$10,2 \pm 7.2$	
TALLA	PLASMALYTE	20	$72 \pm 21$	NS
	SALINO	20	$78 \pm 20$	
	HEMOSOL	20	$82 \pm 24$	
	Total	60	$77 \pm 22$	
SUPERFICIE CORPORAL	PLASMALYTE	20	$0,40 \pm 0.20$	NS
	SALINO	20	$0,45 \pm 0.19$	
	HEMOSOL	20	$0,50 \pm 0.26$	
	Total	60	$0,45 \pm 0.22$	
TIEMPO CEC	PLASMALYTE	20	$116 \pm 64$	NS
	SALINO	20	$91 \pm 47$	
	HEMOSOL	20	$91 \pm 58$	
	Total	60	$99 \pm 57$	
TIEMPO CLAMPAJE	PLASMALYTE	20	$69 \pm 53$	NS
	SALINO	20	$51 \pm 30$	
	HEMOSOL	20	$55 \pm 42$	
	Total	60	$58 \pm 43$	
TEMPERATURA CEC	PLASMALYTE	20	$31,3 \pm 2.7$	NS
	SALINO	20	$32,1 \pm 3.0$	
	HEMOSOL	20	$32,7 \pm 2.4$	
	Total	60	$32,0 \pm 2.7$	

Tabla IV. Parámetros bioquímicos de los diferentes grupos

		N	Media ± DE	p
SODIO	PLASMALYTE	20	146 ± 1	0,0001
	SALINO	20	164 ± 2	
	HEMOSOL	20	148 ± 1	
	Total	60	153 ± 8	
POTASIO	PLASMALYTE	20	5,9 ± 0.3	0,0001
	SALINO	20	1,7 ± 0.6	
	HEMOSOL	20	3,1 ± 0.7	
	Total	60	3,6 ± 1.8	
CLORO	PLASMALYTE	20	103 ± 2	0,0001
	SALINO	20	148 ± 2	
	HEMOSOL	20	114 ± 2	
	Total	60	122 ± 19	
MAGNESIO	PLASMALYTE	20	3,8 ± 0.1	0,0001
	SALINO	20	0,3 ± 0.1	
	HEMOSOL	20	1,5 ± 0.3	
	Total	60	1,9 ± 1.5	
LÁCTICO	PLASMALYTE	14	1,01 ± 0.25	0,0001
	TIEMPO CEC	14	1,19 ± 0.36	
	HEMOSOL	20	3,06 ± 0.59	
	Total	48	1,92 ± 1.07	
OSMOLARIDAD	PLASMALYTE	14	269 ± 4	0,0001
	SALINO	13	307 ± 4	
	HEMOSOL	20	273 ± 7	
	Total	48	281 ± 17	

Tabla V. Comparación de iones de las soluciones de lavado con los de los concentrados obtenidos.

	PLASMALYTE		HEMOSOL B0		SALINO	
	PREVIO	CH	PREVIO	CH	PREVIO	CH
Na <sup>+</sup>	140	146	140	148	154	164
K <sup>+</sup>	5	5,9	3*	3,1		1,7
Cl <sup>-</sup>	98	103	109,5	114	154	148
Mg <sup>++</sup>	3	3,8	1	1,5		0,3
Lactato		1,1	3	3,01		1,19
Osmolaridad	295	269	287	273	308	307

Na: Sodio; K: Potasio; Cl: Cloro; Mg: Magnesio; Previo: Concentración en meq/L de la bolsa antes de su uso para el lavado; CH: Concentración en meq/L del concentrado de hematíes obtenido en el recuperador.

# BI-FLOW™

## Bidirectional Femoral Arterial Cannula

### THE ONLY ARTERIAL CANNULA DESIGNED TO PREVENT LIMB ISCHEMIA



**Continuous and reliable perfusion of the limb**  
in an easy, safe and reproducible way



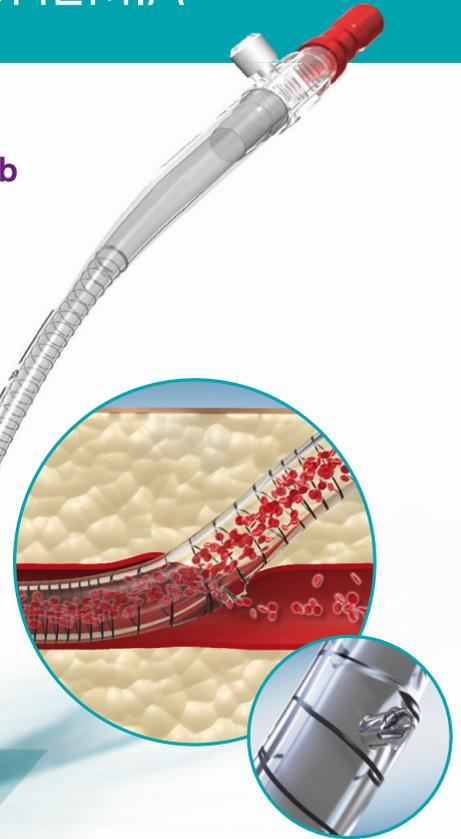
**Simple and straightforward**  
insertion and removal process



**No-DOP tubing**  
for enhanced biocompatibility



**Optimal pressure drop level**  
for adequate systemic perfusion



Unique shoulder and  
downstream perfusion channel

# Bidirectional perfusion, in one unique cannula

[www.livanova.com](http://www.livanova.com)



Licensed by Eucomed



# Donación en asistolia neonatal, recuperación miocárdica y trasplante ABO incompatible. Primer caso combinado en el mundo.

Donation in neonatal asystole with myocardial recovery and subsequent incompatible ABO heart transplant. First combined case in the world.

Premio al Mejor Caso Clínico  
XXII Congreso Nacional  
Asociación Española de Perfusionistas  
Junio 2022

## RESUMEN / ABSTRACT

**Introducción:** La carencia de donantes pediátricos ha impulsado el desarrollo de alternativas para incrementar la posibilidad de trasplante de los pacientes infantiles. La Donación en Asistolia Controlada pediátrica se presenta como una posibilidad para incrementar el número de donantes.

**Descripción del Caso:** Mujer de 2 meses de edad y 3,1 kg de peso. Nació con 1,9 kg y ventrículos no compactados. Fracción de eyección del 20%, estaba intubado y con soporte inotrópico; grupo sanguíneo B. Un hospital distante 340 km nos ofertó un donante de 3 días y 3,4 kg de peso grupo sanguíneo A, con daño cerebral por asfisia perinatal.

Realizamos el procedimiento mediante esternotomía media, canulación central y circulación extracorpórea. Entre la retirada del soporte vital y la parada cardíaca pasaron 37 minutos. El intervalo entre la incisión y el comienzo de la asistencia fue de 7 minutos. Tras 32 minutos de CEC se comprobó la idoneidad del corazón y se procedió a su extracción. La isquemia fría duró 245 minutos, sin asistencia circulatoria durante el traslado. Tras el trasplante no hubo episodios de rechazo y fue dada de alta 10 semanas después.

**Discusión:** Se trata del primer caso de donación en asistolia controlada neonatal con extracción a distancia sin asistencia en el traslado. Sugerimos circulación extracorpórea y canulación central como estrategia expeditiva en niños. El programa de donación en asistolia puede sumarse al de incompatibilidad de grupo sanguíneo e incrementar las donaciones en menores de un año.

**Palabras clave:** Donación en asistolia controlada; Trasplante ABO incompatible; Circulación extracorpórea.

**Introduction:** The lack of pediatric donors has pushed the development of alternatives to increase the chances of transplantation in younger patients. Pediatric Controlled Asystole Donation is presented as a strategy to increase the number of donors.

**Case Description:** Female, 2-month-old, and 3.1 kg. She was born with 1.9 kg and non-compactation ventricles. Ejection fraction of 20%, he was intubated and on inotropic support. Blood group was B. A 340 km distant hospital offered us a donor of 3 days and 3.4 kg, blood group A, with brain damage from perinatal hypoxia.

We performed the procedure by midline sternotomy, central cannulation and extracorporeal circulation. Time lapse from life support withdrawal and cardiac arrest was 37 minutes. The interval between the incision and the start of the assistance was 7 minutes. After 32 minutes of extracorporeal circulation, the graft was evaluated and retrieved. The cold ischemia lasted 245 minutes, with no circulatory assistance during the transfer. After the transplant, there were no episodes of rejection and she was discharged 10 weeks later.

**Discussion:** It is the first case of neonatal donation in controlled asystole, with remote procurement and no assistance during the transfer. We suggest central cannulation and extracorporeal circulation as an expeditious strategy in children. The asystole donation program can be added to the blood group incompatibility program and increase donations in children under one year.

**Key Word:** Donation in Controlled Asystole; Incompatible ABO Transplant; Extracorporeal Circulation.



José Ángel Zamorano Serrano

Perfusionista Cirugía Cardíaca Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid  
ORCID:0000-0003-4934-6830

Rosario Pérez Pérez

Perfusionista Cirugía Cardíaca Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid

Blanca Ramírez Gómez

Perfusionista Cirugía Cardíaca Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid

Ramon Pérez Caballero

Cirujano Cardíaco Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid

Carlos Pardo Pardo

Cirujano Cardíaco Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid

Juan Miguel Gil Jaurena

Jefe de Sección Cirugía Cardíaca Infantil,  
Hospital General Universitario Gregorio Marañón  
Madrid  
ORCID:0000-0001-5232-0514

José Ángel Zamorano Serrano  
josezamser@gmail.com,

Hospital General Universitario Gregorio Marañón.  
C/ Dr. Esquerdo, 46, 28007, Madrid.

Recibido: octubre de 2022  
Aceptado: noviembre de 2022

## INTRODUCCIÓN

La donación en asistolia tipo III de Maastricht o donación en asistolia controlada (DAC) hace referencia a la donación de órganos a partir de personas en las que el diagnóstico de fallecimiento se ha establecido por criterios circulatorios tras una adecuación del tratamiento de soporte vital. Se dictamina por el equipo a cargo del paciente y es consensuada con sus familiares, al encontrarse el paciente en una situación clínica en la que cualquier terapia ulterior se considera fútil o en el contexto de un rechazo del tratamiento.

La donación después de la muerte circulatoria está ganando aceptación mundial como complemento de la donación tras muerte cerebral en la cirugía de trasplante. Inicialmente realizada para la obtención de órganos abdominales, posteriormente se implementó para la obtención también de los órganos torácicos y poder realizar trasplantes cardíacos y pulmonares. En España, hasta hace poco, el corazón no se consideraba un órgano donable en asistolia controlada.

La mayoría de los protocolos de donación en asistolia con recuperación miocárdica consideran que sus primeros casos se realicen con donante y receptor ubicados en la misma institución. Los tres primeros casos de donación en asistolia con recuperación miocárdica en niños se realizaron en Denver (Colorado, EE. UU.) en 2008 (obtención ultrarrápida, sin evaluación in situ del injerto) y desde entonces se han publicado pocos registros en niños<sup>1</sup>. Existen varias formas de obtención de órganos incluida la perfusión regional normotérmica ultrarrápida, la oxigenación por membrana extracorpórea periférica (ECMO) y la conservación durante el transporte (Transmedics Organ Care System, OCS) que permiten diferentes combinaciones, como lo muestran grupos en Australia, Reino Unido y Bélgica<sup>2-4</sup>.

Dhital et al publicó en 2015 los tres primeros casos en adultos realizados en Sídney (Australia) en los que el implante cardíaco se hizo mediante cirugía rápida y el implante se realizó tras la preservación y recuperación exvivo del injerto (ex-vivo Organ Care System, OCS)<sup>2</sup>. Poco después Messer et al, en Reino Unido, inició los primeros trasplantes cardíacos con este tipo de donantes siguiendo un protocolo diferente. Este grupo utilizó la perfusión regional normotérmica con ECMO, previa canulación postmortem y clampaje de los troncos supraaórticos para impedir la recirculación de sangre a nivel cerebral. Tras un periodo de soporte con ECMO y una vez recuperado, el corazón fue explantado para su evaluación y preservación exvivo (OCS) antes del trasplante<sup>3</sup>. Al igual que ocurre en Australia, la experiencia global británica con este tipo de trasplantes fue buena, con unos resultados comparables a los reportados con injertos procedentes de muerte encefálica<sup>2,3</sup>.

Tchana-Soto et al publicó los dos primeros casos realizados en Bélgica, con un protocolo modificado. Estos autores llevan a cabo una canulación periférica premortem, en lugar de postmortem, con clampaje de troncos supraaórticos tras el fallecimiento antes de iniciar la perfusión toracoabdominal normotérmica con ECMO. Posteriormente, el corazón es destetado de la ECMO y evaluado in situ antes de ser trasplantado a un donante del mismo hospital. Además de la buena evolución de los receptores con este procedimiento, se redujeron los importantes gastos que suponían la evaluación y preservación ex vivo<sup>4</sup>.

La DAC ha experimentado en nuestro país un progresivo incremento desde las primeras experiencias hace casi 10 años, hasta representar en torno a un tercio de todos los donantes en el momento actual<sup>5</sup>. En el caso de la donación en asistolia controlada pediátrica aún estamos muy lejos de lograr las tasas de otros países, pero estamos asistiendo a una tendencia positiva en los últimos años<sup>6</sup>.

Desde 2001 el trasplante ABO incompatible es una realidad gracias a la doctora Lori West, quien publicó su experiencia en 10 pacientes, el mayor de los cuales tenía 14 meses. La base de su trabajo fue que los recién nacidos no producen isohemaglutininas hasta pasados varios meses, permaneciendo los niveles bajos hasta los 12-14 meses. También el sistema del complemento es deficiente en los primeros meses-años<sup>7</sup>. Esta estrategia se implementó en nuestro país en 2017 con la realización del primer trasplante cardíaco infantil ABO incompatible, realizado en nuestro centro, con la intención de incrementar el número de trasplantes realizados, dada la escasez de órganos ofertados para niños por debajo del año de vida<sup>8</sup>.

Presentamos el primer caso en el mundo de donación en asistolia neonatal con recuperación miocárdica y trasplante cardíaco ABO incompatible.

## DESCRIPCIÓN DEL CASO

El receptor, remitido a la consulta de cardiología fetal el 24 de noviembre de 2020 con 27 semanas de edad gestacional, presentó un diagnóstico prenatal de miocardiopatía con disfunción biventricular severa, derrame pericárdico y ascitis.

Los antecedentes neonatales del receptor fueron: nació el 7 de enero de 2021 mediante una cesárea urgente por bradicardia extrema, precisó de una red tipo 3, obtuvo un test de Apgar 7/9 y con una edad gestacional de 33 + 6 semanas. Al nacer, tuvo un peso de 1890 g y una talla de 43 cm. La ecocardiografía al nacimiento presentó un miocardio no compactado con disfunción severa de ambos ventrículos, una fracción de eyección del ventrículo izquierdo del 35%, además de derrame pericárdico y ascitis.

En su evolución clínica precisó de soporte inotrópico

con milrinona, levosimendán y diuréticos. Fue incluido en lista de trasplante cardíaco el 24 de febrero de 2021, 47 días después del nacimiento, tras alcanzar un peso de 3 kg. Hubo un empeoramiento clínico progresivo con necesidad de ventilación mecánica y aumento del soporte inotrópico, oliguria e hipertransaminemia 24 horas antes de la oferta de donación.

El día 11 de marzo de 2021 se le ofreció a nuestro centro un corazón de un niño de 3 días de vida, 3,4 kg, grupo sanguíneo A, que padeció una encefalopatía irreversible a consecuencia de asfixia neonatal. Los padres aceptaron la retirada de la terapia de soporte vital, así como la donación. El hospital donante se encontraba a 340 km de distancia. Simultáneamente, nuestro receptor de 2 meses, 3,1 kg, grupo sanguíneo tipo B y con ventrículos no compactados esperaba trasplante cardíaco en nuestra unidad neonatal. Por lo tanto, visualizamos una gran oportunidad y consideramos la extracción a distancia de un donante en asistolia controlada con recuperación miocárdica y posterior trasplante cardíaco ABO incompatible.

Se iniciaron los preparativos para el traslado, no solo del personal, sino de todo el material necesario para realizar una circulación extracorpórea (CEC) a un recién nacido. El centro donante contaba con servicio de cirugía cardíaca de adultos. Eso facilitó muchísimo el procedimiento, ya que solo precisamos llevar el material fungible específico para realizar una CEC a un paciente neonatal. Tuvi- mos que adaptar la bomba de CEC para un paciente neonatal. Se utilizó un oxigenador de Getinge modelo Quadrox-i neonatal VHK11000 (Maquet Getinge Group, Rastatt, Germany), con un set de tubos neonatales líneas arteriovenosas de 3/16 y 1/4 (Sorin Group, Mirandola, Italia). Se realizó el priming con 100 ml de plasmalyte 148 (Baxter, Deerfield, USA), 100 ml de albúmina al 20% y un concentrado de hematíes, añadimos 5 mg de Heparina Sódica al 1%, 300 mg de cloruro cálcico y 30 mEq de bicarbonato sódico 1molar (determinaciones seriadas de gasometrías del cebado). También añadimos a nuestro circuito un hemofiltro Minntech (Medivators, Minneapolis, USA) y un serpentín de cardioplegia cristaloiide Mistral (Eurosets, Medolla, Italia). Se dejó todo el equipo preparado, mesa quirúrgica y campo montado.

El coordinador local de trasplantes ejecutó el protocolo de donación en asistolia, mientras el equipo extractor permanecía a la espera en una sala contigua al quirófano. Diecisiete minutos después de la limitación del esfuerzo terapéutico, la presión arterial media cayó por debajo de 30 mmHg. Veinte minutos después, el corazón se detuvo. Una vez otorgado el permiso que marca la ley (5 minutos después) se declaró la muerte circulatoria y se procedió a realizar una esternotomía rápida. Los vasos supraaórticos se pinzaron por completo (Anexo 1). Se colocaron suturas simples en bolsa de tabaco en la aorta y orejuela derecha,

ambas cánulas fueron insertadas, fijadas y conectadas a las líneas de CEC (Anexo 2). El tiempo desde la incisión en la piel hasta el establecimiento de la CEC fue de 7 minutos. La isquemia caliente funcional fue de 32 minutos (20+5+7), mientras que la isquemia caliente global duró 49 (17+20+5+7) minutos.

El siguiente paso fue la sección de los troncos supra aórticos por encima del clamp, drenando al campo el territorio superior (casi un 40% en un neonato). Al inicio de la CEC el corazón reanudó el ritmo espontáneo en menos de un minuto. Se restableció la ventilación y se mantuvo la CEC durante 32 minutos. Se realizaron varias gasometrías durante el procedimiento advirtiendo una importante hiperglucemia y acidosis metabólica en el momento de instaurar la CEC (Anexo 3). Se procedió a la salida de CEC y se evaluó el corazón durante 10 minutos. Un eco epicárdico mostró una contractilidad adecuada. Tras el paro cardiopléjico (500 ml de HTK-Custodiol; Koehler Chemi, Alsbach-Haenlien, Alemania), se extrajo el injerto de forma rutinaria (Anexo 4). Después de la recuperación, el corazón se almacenó en frío y se transportó en avión a nuestro Hospital.

Posteriormente se realizó el trasplante cardíaco ABO incompatible con técnica bicava. Los títulos de isohemaglutininas resultaron negativos en las cuatro muestras extraídas en nuestro protocolo ABO incompatible. El ritmo sinusal se reanudó espontáneamente después de la retirada del pinzamiento aórtico. La ecocardiografía transesofágica mostró buena función biventricular. La isquemia fría global, desde el clampaje de la aorta del donante hasta la retirada del clamp en el receptor, fue de 245 minutos, con un tiempo de CEC de 198 minutos.

El postoperatorio inmediato transcurrió con normalidad. No precisó hemofiltración, el tiempo de ventilación mecánica fue de 28 días, precisó una revisión quirúrgica por una estenosis extrínseca (hematoma) de vena cava superior a los 12 días de posoperatorio la cual se resolvió sin incidencias. Fue dado de alta a planta el 17 de mayo de 2021 y el alta definitiva a su domicilio el 4 de junio de 2021.

## DISCUSIÓN

Restaurar la función del corazón tras la donación en asistolia sigue siendo el principal desafío. Este corazón se somete a un mínimo de 15–20 min de isquemia caliente antes de la declaración de muerte circulatoria. La técnica de perfusión regional normotérmica, empleada en el paciente adulto tras la declaración de la muerte circulatoria, se realiza mediante esternotomía media y se pinzan los troncos supraaórticos y posteriormente los órganos se resucitan con ECMO. Una vez el corazón comienza a latir de nuevo, su función se puede evaluar usando la ecocardiografía.

grafía transesofágica y el gasto cardíaco mediante catéter de Swan-Ganz. Esta técnica de perfusión regional normotérmica y el transporte en frío han sido descritos en detalle por Messer et al<sup>9</sup>. Sin embargo, en el paciente pediátrico debido a sus particularidades antropométricas, sobre todo en el caso neonatal que nos ocupa, el hecho de seccionar los troncos supraaórticos para evitar cualquier flujo al cerebro, imposibilita la canulación cervical previa. Por tanto, en pediatría, la posibilidad de realizar esta técnica con ECMO es mediante canulación de los vasos femorales, a partir de los 30 kg de peso aproximadamente. Así lo contemplamos en nuestro protocolo de donación en asistolia pediátrico.

Otra técnica consiste en obtener directamente el corazón y reanimarlo ex vivo. Las ventajas de esta técnica son que restablece la función cardíaca, reduce la lesión miocárdica por isquemia y mantiene la homeostasis por la perfusión continua de sangre<sup>10</sup>. Es un sistema portátil de perfusión de órganos ex vivo que puede preservar el corazón de un donante en un estado de latido casi normotérmico desde la recuperación hasta que se trasplanta. El funcionamiento y uso del dispositivo OCS se han publicado previamente<sup>11</sup>. Este sistema también ha sido utilizado en Sydney, Papworth y Harefield para transportar corazones desde los hospitales donantes. El sistema de perfusión ex vivo no se usa de forma rutinaria en España ya que las distancias de viaje son relativamente cortas en comparación con las de Australia y EE. UU. No sería descartable su uso en caso de aceptar órganos del resto de Europa.

Por tanto, en nuestro caso sugerimos CEC y canulación central cómo estrategia expeditiva en niños en los que no es posible la canulación femoral. La ventaja es la rapidez en instaurar la CEC una vez se declara la muerte circulatoria, su posterior transporte en frío de forma convencional sin asistirlo durante el traslado. Dada la escasez de donantes nuestro primer caso, cuyo receptor se encontraba en situación de importante gravedad, tuvo que ser a distancia en vez de local, que es como pretendíamos iniciar el programa. Por suerte, el centro donante contaba con todo el equipo necesario para realizar dicha CEC, lo que nos facilitó todo el proceso y definitivamente nos decidió a llevarlo a cabo. A diferencia de los programas de DAC en adultos, donde se intenta seleccionar donantes y receptores óptimos (mismo centro, no reintervenciones, etc.) la necesidad nos empuja al aprovechamiento de cualquier oportunidad en niños (donación a distancia, receptor inestable, reintervenciones, etc.).

La CEC en sí es un procedimiento sencillo al que el perfusionista infantil está acostumbrado de forma rutinaria. Cabe destacar la importante acidosis metabólica y la hiperglucemia consecuente que se obtuvieron en las gasometrías, tras un periodo de hipo perfusión y paro circulatorio. Habrá que analizar con más detalle en futuros

estudios si la corrección de estos estados de acidosis metabólica e hiperglucemia benefician la recuperación del órgano o por el contrario pudieran perjudicarlo y perpetuar el daño por reperfusión.

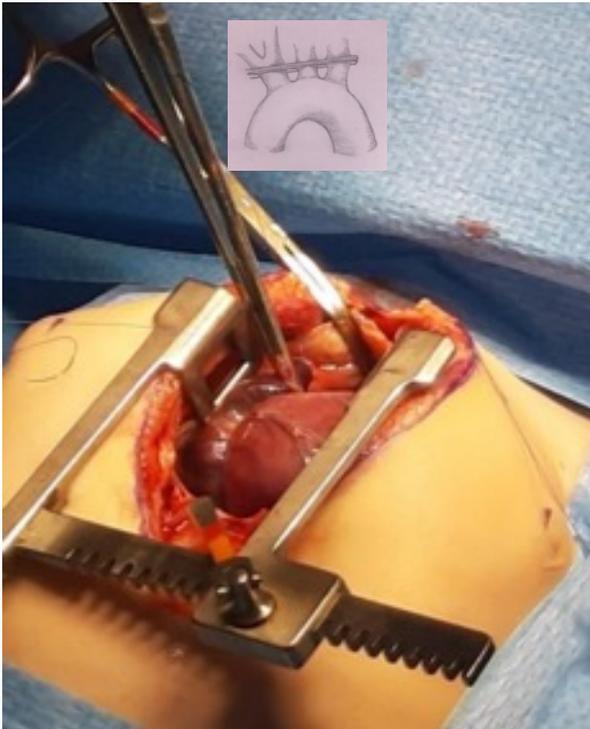
Sin duda, el programa de donación en asistolia puede sumarse al de incompatibilidad de grupo sanguíneo. Ambos protocolos podrían ayudar a incrementar las donaciones en niños menores de un año.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Boucek MM, Mashburn C, Dunn SM, Frizell R, Edwards L, Pietra B, et al. Pediatric heart transplantation after declaration of cardiocirculatory death. *N Engl J Med* 2008; 359:709-14. doi: 10.1056/NEJMoa0800660
2. Dhital KK, Iyer A, Connellan M, Chew HC, Gao L, Doyle A, et al. Adult heart transplantation with distant procurement and ex-vivo preservation of donor hearts after circulatory death: a case series. *Lancet* 2015; 385:2585-91. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60038-1
3. Messer S, Page A, Colah S, Axell R, Parizkova B, Tsui S, et al. Human heart transplantation from donation after circulatory-determined death donors using normothermic regional perfusion and cold storage. *J Heart Lung Transplant* 2018; 37:865-9. doi: 10.1016/j.healun.2018.03.017
4. Tchana-Sato V, Ledoux D, Detry O, Hans G, Ancion A, D'Orio V, et al. Successful clinical transplantation of hearts donated after circulatory death using normothermic regional perfusion. *J Heart Lung Transplant* 2019; 38:593-8. doi: 10.1016/j.healun.2019.02.015
5. ONT: Organización Nacional de Trasplantes [Internet]. Madrid: ONT; 2020 [citado junio de 2022]. Memoria actividad donación y trasplante cardíaco. España 2020. Disponible en <http://www.ont.es/infesp/Memorias/ACTIVIDAD%20DE%20DONACION%20C3%93N%20Y%20TRASPLANTE%20CARDIACO.pdf>.
6. US Department of Health & Human Services [Internet]. Washington DC: HHS; 2020 [citado junio de 2022]. Annual Data Report. Scientific registry of transplant recipients. Disponible en [https://srtr.transplant.hrsa.gov/annual\\_reports/2020/Introduction.aspx](https://srtr.transplant.hrsa.gov/annual_reports/2020/Introduction.aspx)
7. West LJ, Pollock-Barziv SM, Dipchand AI, Lee KJ, Cardella CJ, Benson LN, et al. ABO-incompatible heart transplantation in infants. *N Engl J Med*, 2001; 344: 793-800. doi: 10.1056/NEJM200103153441102
8. Ramírez B, Zamorano J, Pérez R, Fuentes JR, Gil JM, Camino M, et al. Primer trasplante cardíaco infantil ABO incompatible. Una realidad en España. *Rev Esp de Perfusion*, 2018; 65: 13-18.
9. Messer S, Page A, Axell R, Berman M, Hernández-Sánchez J, Colah S, et al. Outcome after heart transplantation from donation after circulatory determined death donors.

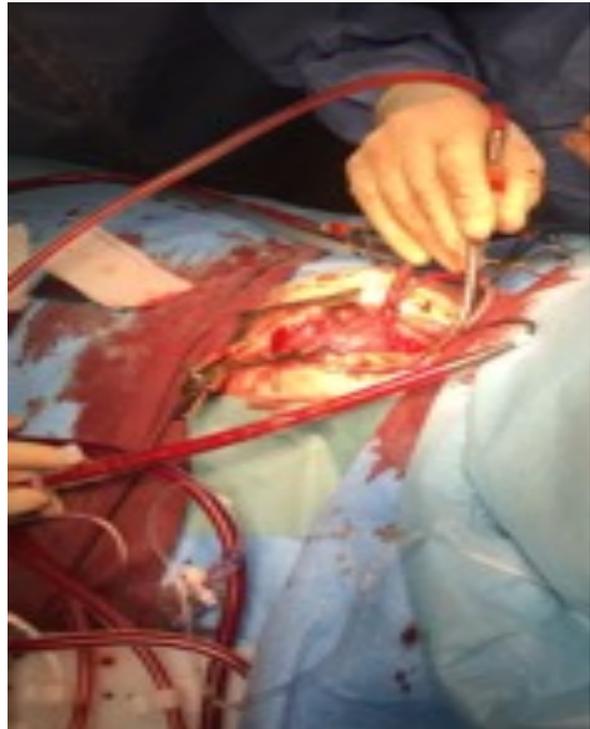
- J Heart Lung Transplant 2017; 36:1311–18. doi: 10.1016/j.healun.2017.10.021
10. White CW, Messer SJ, Large SR, Conway J, Kim DH, Kutsogiannis DJ, et al. Transplantation of Hearts Donated after Circulatory Death. Front Cardiovasc Med. 2018 Feb 13;5:8. doi: 10.3389/fcvm.2018.00008.
  11. Dhital KK, Chew HC, Macdonald PS. Donation after circulatory death heart transplantation. Curr Opin Organ Transplant 2017; 22:189–97. DOI: 10.1097/MOT.0000000000000419

Anexo 1



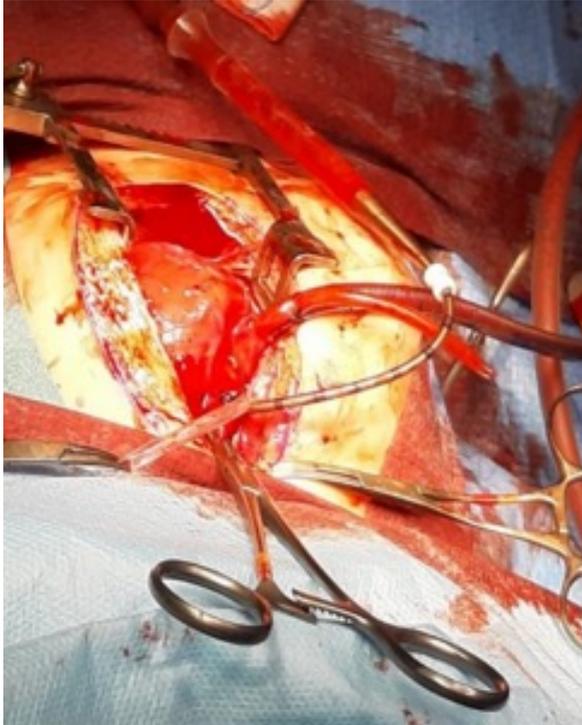
Troncos supraaórticos clampados antes de la entrada en CEC.

Anexo 2



Instauración de la circulación extracorpórea.

## Anexo 4



Paso de la solución de preservación

## Anexo 3. Gasometrías durante la CEC.

	pH	P0 <sub>2</sub>	PCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	SAO <sub>2</sub>	LÁCTICO	GLUCOSA	CA <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
PRE	7,14	124	62	20,7	100%	1,2	245	1,2	4,6
19:05	7,30	324	38	18	100%	8,2	294	1,3	5
19:15	7,22	84	42	16,9	98%	11	358	1,2	4,3
19:29	7,46	171	33	22	100%	12	335	1,1	3,6

# Efectos del flujo pulsátil con bomba centrífuga y con bomba de rodillo en circulación extracorpórea: hemoglobinuria, microembolismos, oximetría cerebral y onda pulsátil efectiva.

Premio al Mejor Trabajo Fin de Máster  
XXII Congreso Nacional  
Asociación Española de Perfusionistas  
Junio 2022

## RESUMEN / ABSTRACT

**Objetivo:** El objetivo fue determinar si existen diferencias en la perfusión pulsátil entre bomba centrífuga y bomba de rodillo durante la CEC, en cuanto oximetría cerebral, hemoglobinuria, microburbujas y calidad de onda.

**Materia y métodos:** Se realizó estudio observacional prospectivo de pacientes intervenidos de cirugía cardíaca de adulto entre enero y abril de 2022 en dos hospitales de tercer nivel. Se crearon dos grupos a criterio del perfusionista para realizar la pulsatilidad con rodillo o con centrífuga. Se evaluó la oximetría cerebral con Masimo Root 03, hemoglobinuria, microburbujas con Gampt BCC 300, calidad de onda pulsátil con presiones pre y post membrana.

**Resultados:** Se estudiaron 59 pacientes con una media de edad de  $66,4 \pm 9,9$  años, de los cuales 17 fueron mujeres (28,8%). La distribución fue 40 con bomba centrífuga y 19 con bomba de rodillo. En la calidad de onda, el 60% de grupo centrífuga estuvo por encima de 20 mmHg, mientras que solo en el 31,6% en el grupo rodillo, siendo esta diferencia significativa (OR: 0,38; IC: 0,10-0,98;  $p=0,038$ ). No se encontraron diferencias significativas con respecto a oximetría cerebral, hemoglobinuria y microburbujas. En el 26,3% de los pacientes del grupo rodillo se observó un incremento de cuatro puntos en la hemoglobinuria.

**Conclusiones:** Si bien no existen diferencias significativas en algunos aspectos, sí ha demostrado la bomba centrífuga una superioridad en la calidad de onda obtenida, por lo que recomendamos el uso de este tipo de bombas para la producción de la pulsatilidad durante el tiempo de clampaje en CEC.

**Palabras clave:** flujo pulsátil; bomba de rodillo; bomba centrífuga; microburbujas; hemoglobinuria; oximetría cerebral.

**Introduction:** The objective was to determine if there are differences in pulsatile perfusion between centrifugal and roller pump during CPB, in terms of cerebral oximetry, hemoglobinuria, microbubbles and wave quality.

**Material and methods:** A prospective observational study of patients undergoing adult cardiac surgery was carried out between January and April 2022 in two tertiary care hospitals. Two groups were created at the discretion of the perfusionist to perform pulsatility with a roller or centrifugal pump. Cerebral oximetry with Masimo Root 03, hemoglobinuria, microbubbles with Gampt BCC 300, quality of pulsatile wave with pre and post membrane pressures were evaluated.

**Results:** 59 patients with a mean age of  $66.4 \pm 9.9$  years were studied, of whom 17 were women (28.8%). The distribution was 40 with a centrifugal pump and 19 with a roller pump. In wave quality, 60% of the centrifugal group was above 20 mmHg, while only 31.6% in the roller group, this difference being significant (OR: 0.38; CI: 0.10- 0.98,  $p=0.038$ ). No significant differences were found regarding cerebral oximetry, hemoglobinuria and microbubbles. Although in the roller group there was an increase of four points in hemoglobinuria in 26.3% of cases.

**Conclusions:** Although there are no significant differences in some aspects, the centrifugal pump has shown superiority in the quality of the wave obtained, so we recommend the use of this type of pump for the pulsatility during the aortic clamping time in CPB.

**Keywords:** pulsatile flow; roller pump; centrifugal pump; microbubbles; hemoglobinuria; brain oximetry.



**Miguel Carlos González Perales**  
Enfermero perfusionista.  
Hospital Regional Universitario de Málaga.  
ORCID:0000-0002-9638-0612



**Javier Cáliz Fuentes**  
Enfermero perfusionista.  
Hospital Reina Sofía de Córdoba.  
ORCID:0000-0001-6085-4495

Miguel Carlos González Perales  
mcgonpe1@gmail.com

Recibido: octubre 2022  
Aceptado: noviembre de 2022

## INTRODUCCIÓN

La pulsatilidad en la circulación extracorpórea (CEC) ha sido un tema controvertido desde los inicios de la cirugía cardíaca. Es uno de los viejos debates que no han perdido actualidad, si el flujo pulsátil (FP) de la bomba principal aporta beneficios o no<sup>1,2</sup>. La teoría nos dice que la pulsatilidad es el estado hemodinámico ideal, pues es el que suministra nuestro corazón. Múltiples estudios en humanos y animales nos muestran una disminución en la activación del eje renina/angiotensina (angiotensina II)<sup>3</sup>. También se ha detectado una disminución de mediadores de la inflamación como proteína quimioatrayente de monocitos 1 (MCP-1), citocinas e interleucinas y una disminución de proteínas inflamatorias como la IL-8 y la endotelina-1, así como, mejoras en la perfusión microvascular<sup>4</sup>.

En aspectos clínicos, a nivel renal mejora la función al disminuir los niveles de adrenalina y noradrenalina, aumenta la diuresis durante CEC y disminuye el sangrado postoperatorio<sup>5</sup>. Además, el flujo pulsátil realizado con balón de contrapulsación intraaórtico parece disminuir la respuesta inflamatoria tras la CEC, presentando niveles más bajos de las citocinas proinflamatorias IL-2 e IL-6 y niveles más altos de la citocina antiinflamatoria IL-10<sup>6</sup>.

En la controversia sobre la perfusión pulsátil y no pulsátil, la mayoría de los autores no han reconocido las diferencias físicas fundamentales entre los dos métodos. La perfusión pulsátil es polimórfica y su onda/efectividad va a variar dependiendo de la fuente pulsátil. La perfusión no pulsátil es por definición invariable y uniforme. No existe un acuerdo entre los posibles beneficios o no del flujo pulsátil (FP), por lo que su aplicación en la práctica clínica es desigual, siendo más habitual el uso del flujo no pulsátil (FNP). La explicación más simple para estos conflictos es que diferentes investigadores emplean diferentes formas de perfusión pulsátil, solo algunas de las cuales son eficaces. La falta de cuantificación adecuada de los componentes pulsátiles del flujo en estos estudios evita la diferenciación entre formas efectivas e ineficaces de flujo pulsátil y dificulta la comparación de los estudios<sup>7</sup>.

### FLUJO PULSÁTIL

En la actualidad existen fundamentalmente dos tipos de bombas: centrífuga y rodillo. La mayoría de las bombas de rodillo tienen un módulo destinado al FP mientras que solo existen dos bombas centrífugas en el mercado con capacidad de crear un FP durante la CEC. Indistintamente, este nunca es igual a la generación del pulso fisiológico. La configuración de la onda generada es una relación entre el dispositivo mecánico y el medio en el cual se distribuye la onda (oxigenador, filtros, tubos de PVC, cánulas y los vasos sanguíneos). Todos los elementos que están entre la bomba impulsora y el paciente provocan un efecto negativo a la pulsa-

tilidad por la caída en la presión del flujo que generan, por lo que, a menor caída de presión mejor será la pulsatilidad. Existen otros factores, no menos importantes que los anteriores, que causan variaciones a la calidad de la pulsatilidad: edad, hematocrito, resistencias vasculares sistémicas (RVS), uso de fármacos vasoactivos, temperatura, gasto cardíaco generado, etc.

El FP adecuado debe tener una diferencia de presión entre la sístole y la diástole mayor a 15 mmHg (preferible  $\geq 20$  mmHg)<sup>8</sup>, con valores inferiores a 15, no estaríamos hablando de FP. La generación del FP difiere de la bomba de rodillo a la bomba centrífuga. La bomba de rodillo impulsa la sangre mediante la presión mecánica en un tubo de PVC, mientras que la bomba centrífuga genera presión por la aceleración de la sangre aprovechando la energía centrífuga producida por el giro de una campana. Además, se manejan parámetros diferentes para la generación de la onda pulsátil. Para la bomba de rodillo se usan 3 parámetros: frecuencia, flujo base y amplitud de impulso. La primera define cuantos ciclos ocurren por minuto. La base es el flujo continuo sin el componente pulsátil expresado en porcentaje del volumen en cada ciclo o, dicho de otra forma, el tiempo que el ciclo de pulso está en baja velocidad. Mientras que el ancho del pulso o amplitud es el tiempo desde el inicio del impulso y el regreso al flujo de base siendo determinado también en porcentaje, de forma que si se disminuye el porcentaje se acorta el tiempo, y la velocidad de la bomba tiene que incrementarse para entregar el mismo volumen, lo cual generará una onda pulsátil mayor. Sin embargo, en la bomba centrífuga solo se programan dos variables, la frecuencia que funciona igual que en la anterior, y el flujo pico (expresado en litros por minuto), que sería el aumento máximo sobre el flujo basal, siendo el que genera la onda, a mayor flujo pico, mejor onda pulsátil, pudiendo llegar a un máximo de 12 lpm.

### MICROÉMBOLOS GASEOSOS

Por otro lado, la lesión neuropsicológica tras la CEC es una de las más graves y costosas complicaciones derivadas de la cirugía cardíaca. Los microémbolos gaseosos (gaseous microemboli, GME) han estado implicados durante mucho tiempo como una de las principales causas. Hay dos fuentes principales de GME: por un lado, la manipulación quirúrgica del corazón y los grandes vasos; y por otro, los componentes del circuito extracorpóreo, incluido el tipo de bomba, diferentes modos de perfusión, el diseño del oxigenador y el reservorio, el uso drenaje venoso asistido por vacío (DVAV), el uso de hemofiltro, y la temperatura, todos los cuales tienen un gran impacto en la infusión accidental de GME. Los efectos deletéreos de GME son múltiples, incluido el daño al endotelio vascular cerebral, ruptura de la barrera hematoencefálica, activación del complemento, agregación de leucocitos, aumento de la adherencia plaquetaria y depósitos de fibrina

en la microcirculación<sup>9</sup>. Mejoras en el equipo de perfusión, en las técnicas de perfusión y quirúrgicas han llevado a una reducción drástica en la aparición de GME durante la cirugía cardíaca. Existen sistemas para medir los GME durante la CEC, entre ellos tenemos el EDAC y Gampt BCC300, que permiten rastrear y detectar microémbolos en circuitos de CEC. En la medición con estos sistemas no se han encontrado diferencias en la creación total de GME comparando FP con FNP<sup>10</sup>.

### HEMOLISIS/HEMOGLOBINURIA

El FP de CEC con bombas de rodillos somete a los glóbulos rojos a presiones significativamente más altas en el circuito extracorpóreo y a caídas de presión cíclicas más altas en comparación con el FNP. Estas fuerzas de cizallamiento conducen a niveles más altos de hemoglobina libre en plasma. Este mayor nivel de hemólisis podría explicar de alguna manera por qué no se ve un impacto beneficioso del FP sobre la función renal o los niveles de lactato intraoperatorio. En el estudio de Tan et al, la presión máxima del circuito en el grupo de FP fue más alta de forma significativa que en el grupo de FNP (257 vs 191 mmHg,  $p < 0,0001$ ) y los niveles de hemoglobina libre fueron más altos en el grupo del FP en algún momento de la CEC pero no tras la administración de protamina<sup>11</sup>. Llegamos a la conclusión de que la CEC pulsátil que utiliza bombas de rodillos produce una mayor hemólisis. Sin embargo, aún no se conoce la importancia clínica.

A veces, en el período intraoperatorio y postoperatorio temprano después de la cirugía cardíaca, se produce la aparición de una orina ligeramente teñida de rojo. Habitualmente esto es debido a la excreción de proteínas que contienen pigmentos hemo, como la mioglobina y la hemoglobina, especialmente en cirugías largas o en las que se han producido mucha aspiración en el campo quirúrgico. Dentro de los riñones, estos compuestos que contienen hemo pueden ocasionar una nefropatía pigmentaria, un factor que contribuye significativamente a la lesión renal aguda asociada a la cirugía cardíaca y la mioglobinuria<sup>12</sup>.

La hematuria puede aparecer pre CEC por los siguientes motivos: enfermedad, neoplasias malignas del tracto urinario, infecciones, hiperplasia prostática benigna y malformaciones arteriovenosas o bien producirse con la técnica de sondaje uretral que se realiza en toda cirugía cardíaca de forma sistemática.

Las causas extracorpóreas, incluido el circuito de CEC, son los principales contribuyentes al desarrollo de la hemólisis en el período peri operatorio: El grupo de edad infantil, tipo de cirugías y tiempos de CEC prolongados son factores de riesgo.

#### Tubos y conectores extracorpóreos:

Los diámetros más anchos de tubos mejoran el flujo laminar dentro de los mismos, pero tienen un aumento del

volumen de cebado requerido. Los tubos de menor calibre minimizan el volumen cebado, aumenta el gradiente de presión requerido para bombear la sangre a través de los tubos e indirectamente aumenta el trauma a los glóbulos rojos. El material liso e hidrófobo con conectores de ángulo redondeado también ayuda a minimizar la turbulencia dentro de los tubos.

#### Cánulas:

La fuerza de cizallamiento, o la fuerza generada por el flujo sanguíneo en relación con el área de las paredes internas de la cánula, es un determinante importante del daño a los glóbulos rojos. Cuanto mayor sea la turbulencia del flujo determinada por el número de Reynolds, mayor será el daño de glóbulos rojos. Las cánulas venosas son más grandes en diámetro en comparación con las cánulas arteriales, y el flujo es en gran medida laminar.

#### Bomba:

Las bombas centrífugas, generalmente, causan tasas de hemólisis similares o más bajas en comparación con las bombas de rodillos<sup>13</sup>, siendo el grado de oclusión el principal factor determinante. El daño a glóbulos rojos en las bombas depende de las fuerzas de cizallamiento, la duración de la CEC, la presión negativa y el flujo turbulento, y la gravedad varía con el diseño del sistema. La fricción mecánica del eje de la bomba centrífuga conduce a la generación de calor y la formación de trombos alrededor del rodamiento central, lo que podría contribuir a la hemólisis.

#### Reservorio venoso rígido, aspiradores y drenaje venoso activo por vacío:

Los depósitos venosos rígidos con una mayor superficie para la interacción aire-líquido pueden conducir a la formación de burbujas y traumatismo directo a los glóbulos rojos. Con presiones  $> -50$  mmHg se produce un trauma mecánico en los glóbulos rojos y plaquetas como resultado del aire arrastrado y los microémbolos como se describió anteriormente, lo que conduce a la hemólisis y la destrucción plaquetaria. Por lo que se debe realizar una suboclusión de los aspiradores de CEC, usar válvulas de presión negativa en las mismas y evitar las aspiraciones fuertes<sup>14</sup>.

#### Oxigenadores:

Los oxigenadores de membrana generalmente causan bajos niveles de hemólisis y no se consideran contribuyentes importantes de daño a glóbulos rojos en el circuito de CEC.

## Recuperador de sangre:

Estos dispositivos de rescate celular también pueden contribuir a la hemólisis. El lavado y la transfusión de sangre autóloga causan trauma físico a los glóbulos rojos, predisponiéndose al daño de los glóbulos rojos<sup>15</sup>.

El objetivo del presente estudio es determinar si existen diferencias en la saturación cerebral de O<sub>2</sub>, en las presiones pre y post membrana, en la hemoglobinuria, en los microémbolos gaseosos y en la onda pulsátil efectiva entre la perfusión pulsátil mediante bomba centrífuga y la perfusión pulsátil con bomba de rodillo durante la CEC.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

Se realizó un estudio observacional prospectivo multicéntrico de pacientes adultos intervenidos de cirugía cardíaca en dos hospitales de tercer nivel, Hospital Regional Universitario de Málaga y Hospital "Reina Sofía" de Córdoba entre enero y abril de 2022.

Se formaron dos grupos a elección del perfusionista, que decidió el tipo de bomba, centrífuga o rodillo, aplicando la pulsatilidad, indistintamente, realizando este modo pulsátil sólo en el tiempo de pinzamiento aórtico. Se usó la bomba de CEC LivaNova S5 (LivaNova PLC, Reino Unido).

La población fueron todos los pacientes adultos intervenidos de cirugía cardíaca durante ese periodo de tiempo con temperatura por encima de 35°C. Mientras que los criterios de exclusión fueron: intervenciones urgentes-emergentes, pacientes con ACV previo, pacientes con patología carotídea, intervenciones con hipotermia profunda/parada circulatoria, pacientes que presenten endocarditis, canulación axilar o femoral, o ateromatosis aórtica.

Una vez seleccionado el modo de perfusión a realizar, rodillo o centrífuga, se realizó el montaje de la bomba y monitorización del paciente según protocolo habitual:

1. Oxigenador de elección ( Fusion, Inspire 6 o FX 15), línea de gases, líneas de aspiración con válvula de sobrepresión, sistema de cebado, cardioplejia ( hemática 4:1, hemática 1:4 Del Nido o Custodiol), hemofiltro (opcional), DVAV (opcional), circuito AV (3/8 – 3/8, 1/2 - 3/8) y centrífuga (Terumo/LivaNova) o rodillo (1/2).
2. Cebado estándar (Plasmalyte, Gelafundina y Manitol).
3. Monitorización invasiva del paciente (arterial radial/femoral, catéter venoso central).
4. Monitorización no invasiva con Spectrum M4 y/o monitorización invasiva con CDI 550.
5. Monitorización de oxigenación cerebral con Masimo Root O3.
6. Detección de burbujas con Gampt BCC 300 (pre y post membrana).

## 7. Análisis de hemoglobinuria pre y post CEC.

Previo al inicio de la CEC se analizó una muestra de orina mediante tira reactiva Combur-Test para valoración de niveles de hemoglobinuria pre-CEC (comparando muestra con los controles). Una vez iniciada la CEC, en flujo total y previo al clampaje aórtico, se realizó la recogida de los datos basales.

Tras el clampaje aórtico, administración de solución cardiopléjica, con el corazón parado y estables hemodinámicamente se inició la pulsatilidad, se activó el Gampt BCC 300 y se tomaron datos de manera seriada cada 20 minutos.

En el caso de pulsatilidad con rodillo la configuración inicial tuvo una frecuencia de impulso de 60 p/m, base de 50% y ancho de 50%, se fue modificando los parámetros hasta alcanzar una onda pulsátil efectiva. Si la curva no fuese óptima, diferencia de presión entre la sistólica y diastólica < 15 mmHg, lo primero que se modificó fue la base, con reducciones leves del 10%, hasta alcanzar diferencias >15 mmHg, en última instancia se bajó el ancho con reducciones de 10%. Ni el ancho ni la base se puede bajar del 30% por seguridad.

En el caso de pulsatilidad centrífuga la configuración inicial tuvo una frecuencia de 60 p/m y de flujo pico 7 l/m, si se conseguía así una onda pulsátil efectiva (> 15 mmHg) no se modificó nada, en caso de ser inferior se subió el flujo pico de litro en litro. Si no había modificaciones, la disminución de la frecuencia cardíaca nos podía ayudar a conseguirla. Si aparecía la advertencia de flujo pico máximo alcanzado hubo que aumentar en la configuración el flujo pico establecido.

Con estas medidas incidimos sobre todo en la presión arterial sistólica (PAS), ya que la presión arterial diastólica (PAD) la determina las características hemodinámicas propias del paciente y el uso de drogas vasoactivas.

Previo al desclampaje se desactivó el flujo pulsátil y se finalizó la medición ultrasónica de microburbujas mediante Gampt BCC 300, anotando número y volumen de burbujas.

Tras la salida de CEC, control de hemostasia y cierre del esternón se realizó nueva toma de muestra de orina mediante tira reactiva Combur-Test y se envió un sedimento de orina a laboratorio, para confirmar y comprobar el resultado de Combur-Test.

Las variables recogidas fueron sociodemográficas y antecedentes personales: edad, género, peso, talla, superficie corporal (SC), índice de masa corporal (IMC), diabetes, hipertensión arterial (HTA), dislipemia (DL), hipertensión pulmonar (HTP), enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), fibrilación auricular (FA), tratamiento previo y reintervención. En cuanto a la analítica preoperatoria, se recogieron los datos basales de hematocrito, hemoglobina, leucocitos, plaquetas y ácido láctico.

Dentro de las variables perioperatorias: tipo de intervención, tipo bomba, oxigenador, tiempo de CEC, tiempo clampaje, tiempo uso pulsatilidad, uso de hemoconcentrador,

uso de recuperador, diuresis en CEC, presiones del circuito pre y postmembrana, flujo/índice cardiaco (IC) de CEC, delta P (diferencia entre presión post y pre membrana dividido por el flujo de bomba), hematocrito nadir de CEC, glucemia máxima en CEC, ácido láctico máximo en CEC y post CEC.

Se midió la saturación cerebral de  $O_2$  de ambos hemisferios con el sistema Masimo Root O3 (Masimo Corporation, USA), tomando como valores basales los que presenta el paciente antes de iniciar la CEC.

Se usaron los datos preoperatorios y perioperatorios de la base de datos de perfusión, siendo la única referencia para el paciente el número de historia de salud de Andalucía (NHUSA), eliminando otros datos que pudieran identificarlo, se creó una tabla específica para el resto de los datos del estudio que no se encontraban en la primera, vinculando ambas tablas por el número de CEC.

Se creó una hoja a cada paciente para la recogida de datos postoperatorios para realizar un control individual, los cuales fueron añadidos a la tabla del estudio una vez completados todos los datos del paciente.

Se efectuó un análisis descriptivo de las distintas variables de interés. Las variables de naturaleza cuantitativa se describieron mediante la media y la desviación estándar, o mediante la mediana y el rango intercuartílico en ausencia de normalidad. Por otro lado, las variables cualitativas se presentaron como frecuencias absolutas y relativas (%). La idoneidad de las pruebas estadísticas utilizadas en este trabajo se evaluó en función de la normalidad mediante el test de Shapiro-Wilk y la homocedasticidad mediante el test de Levene.

Si las muestras fueron independientes siguiendo las variables una distribución normal, se usó la prueba t-test para la comparación de medias en el caso de tener únicamente dos grupos o bien la técnica ANOVA para más de dos grupos bajo condiciones de normalidad y homocedasticidad.

La asociación entre variables cualitativas se realizó mediante la prueba Chi-cuadrado, en el caso de que las frecuencias esperadas fueron superiores o iguales a 5 o el test exacto de Fisher si las frecuencias esperadas fueron inferiores a 5.

Todos estos análisis se realizaron usando el software SPSS v.26 y el nivel de significación se estableció para todos los casos en  $\leq 0,05$ .

## RESULTADOS

Se recogieron datos de 59 pacientes, con una media de edad de  $66,4 \pm 9,9$  años, de los cuales 17 fueron mujeres (28,8%). Las intervenciones fueron valvular simple (35), coronario (18), coronario+valvular (2), congénitos (2) y patología aórtica (2).

En el grupo centrífuga hubo 40 pacientes por 19 en el grupo rodillo, y no presentaron diferencias significativas en los

datos basales, ni en cuanto a antecedentes personales, ni en los datos perioperatorios (Tabla 1).

Se usó el oxigenador Inspire en el 67,8%, el FX15 en el 18,6% y Fusion en el 13,6%. Se usó la bomba centrífuga de Terumo en 11 pacientes y en el resto la Revolution (29). El DVAV se conectó a presiones medias de -30 mmHg en el 45% del grupo Centrífuga y el 36,8% del rodillo. Mientras que en el 65% se usó el hemoconcentrador con centrífuga, siendo el 84,2% en el grupo rodillo, sin ser las diferencias significativas.

En la mayoría de los casos del grupo rodillo se mantuvo el patrón pulsátil inicial, 60 p/m-50%-50%. En el grupo centrífuga, la frecuencia estuvo en 60 p/m y el flujo pico permaneció entre 7 y 8 l/m en el 80% de los casos, estando entre 5 y 6 l/m en el resto. En cuanto a la calidad de la onda, se calculó restando la presión diastólica a la presión sistólica y el resultado se categorizó en 3 grupos, sin que se encontraran diferencias significativas entre ellos (Tabla 2).

No obstante, si hacemos la variable dicotómica entre valores por encima y debajo de 20 mmHg, como podemos observar en la tabla anterior, en el grupo centrífuga el 60% está por encima de 20 mmHg, mientras que solo en el 31,6% ocurrió esto en el grupo rodillo, siendo esta diferencia significativa (OR: 0,38; IC: 0,10-0,98;  $p=0,038$ ).

La medición de las presiones pre y postmembrana fue muy similar en ambos grupos en el grupo centrífuga fue  $353 \pm 66$  mmHg mientras que en el grupo rodillo fue de  $345 \pm 60$ , mientras que la presión postmembrana fue de  $218 \pm 58$  contra  $205 \pm 70$ , en ambos casos no hubo significación. Además, tuvimos en cuenta el flujo para el cálculo de la delta P, siendo los flujos muy similares entre grupos ( $4,48 \pm 0,52$  vs  $4,60 \pm 0,47$ ) y la delta P fue exactamente igual entre ambos grupos en torno a 30 mmHg por litro de flujo. Aunque hubo una distribución diferente de los oxigenadores en ambos grupos: 15 Inspire y 4 Fusion en el rodillo y 25 Inspire, 11 Fx15 y 4 Fusion en el de centrífuga. Por ese motivo, cuando se hizo un análisis de estos mismos parámetros con estos oxigenadores, existió una caída de presión muy importante en la medición postmembrana del oxigenador Inspire, y al calcular la delta P, se vio una elevación muy significativa siendo de  $36 \pm 13,6$  mmHg por litro de flujo ( $p<0,0001$ ), siendo más bajas en Fx15 y más aún en Fusion. Asimismo, se analizó la calidad de onda según el tipo de oxigenador y de bomba usados (Tabla 4). El FX15 solo fue usado con bomba centrífuga y consiguió una calidad de onda de  $>20$  mmHg en todos los pacientes. El dato más llamativo es que solo el 26,6% de los Inspire con bomba de rodillo consiguieron la mejor calidad de onda.

Si pasamos a analizar la medición de la oximetría cerebral en ambos hemisferios, que se hizo con el sistema Masimo Root O3, se partió de datos basales tomados justo antes de empezar la pulsatilidad y posteriormente valoramos la media de los datos registrados durante la misma, y para el cálculo se restó la diferencia entre ambas (Tabla 5).

Los datos fueron similares entre ambos grupos, no existiendo significación, produciendo el grupo rodillo una mayor oxigenación cerebral derecha mientras que el grupo centrífuga lo hizo en el lado izquierdo del cerebro. Para el control de las microburbujas se utilizó el Gampt B300 colocando un sensor después de la centrífuga o rodillo antes del oxigenador y otro tras la salida arterial del oxigenador. Se midieron tanto el número de microburbujas como el volumen total de aire expresado en  $\mu\text{l}$ . No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros (Tabla 6). Se controló si el uso de DVAV y hemoconcentrador han tenido incidencia en la producción de microburbujas, y aunque no existieron diferencias significativas, el uso del hemoconcentrador sí produce un mayor número y volumen de microburbujas tanto pre como postoxigenador.

En cuanto a la detección de hemoglobina en orina, se hizo una determinación basal antes del inicio de la CEC, que fue similar entre ambos grupos y posteriormente, antes de la salida de quirófano, se repetía la prueba en la orina producida tras la finalización de CEC. Para valorar de manera adecuada un incremento en la hemoglobina libre, se restó de la última muestra, el valor obtenido en la basal. No se detectaron diferencias significativas en cuanto al incremento en la hemoglobinuria y tampoco ésta tuvo relación con el tiempo de bomba, ni con el tiempo de pulsatilidad. Hubo 6 casos de hematuria macroscópica, tres en el grupo centrífuga y tres en el rodillo, sin relación con el tiempo de CEC ni el de pulsatilidad (Tabla 7).

## Discusión

Como principal hallazgo del presente trabajo tenemos que la bomba centrífuga crea una mejor calidad de onda, permitiendo una diferencia de presiones sistólica y diastólica superiores a 20 mmHg en mayor número de pacientes de forma significativa. Aunque este tipo de bomba utiliza un único parámetro aparte de la frecuencia, que es el flujo pico, parece ser más eficiente en cuanto a la pulsatilidad. La bomba de CEC S5 tiene programado por defecto un flujo pico de 12 l/m, lo cual durante el estudio piloto se detectó que era innecesario. Se programó en principio en 6 l/m, si saltaba la alarma de “alcanzado flujo pico máximo”, se subió a un litro más, y si el flujo correspondiente al paciente era bajo, se bajó también un litro. Finalmente, el rango estuvo entre 5 y 8 l/m. Podemos afirmar que el valor ideal del flujo pico puede estar entre un 35-40% más que el flujo de CEC usado durante la pulsatilidad.

Otro aspecto para tener en cuenta es el oxigenador, Inspire ha presentado la mayor delta P de forma significativa lo cual lo convierte en un inconveniente para la transmisión de onda de la pulsatilidad, siendo de hecho, el único en el que se ha obtenido una mala calidad de onda con la bomba

centrífuga (<15 mmHg, 3 casos) y solo ha obtenido que un 26,6% de los pacientes de una onda por encima de 20 mmHg. Por el contrario, aunque con la limitación de usarse solo con centrífuga por venir en set de CEC premontados, está el Fx15, que permitió una onda óptima en todos los pacientes. Por lo que sería recomendable elegir el oxigenador adecuado para aplicar la pulsatilidad durante la CEC. El oxigenador Fusion también tuvo un comportamiento bueno, siendo el que menor delta P tuvo de los 3 ( $13,4 \pm 6,6$  mmHg/l), aunque en calidad de onda estuvo en un punto intermedio entre los otros dos.

En la oximetría cerebral ha habido un pequeño aumento no significativo de la saturación cerebral en ambos hemisferios. Fue mayor en el lado derecho cuando se usó el rodillo ( $3,1 \pm 6,2$  vs  $2,2 \pm 4,5$ , ns), mientras que en el caso del hemisferio izquierdo la diferencia entre ambas bombas fue mayor a favor de la centrífuga ( $3,5 \pm 5,7$  vs  $0,9 \pm 6,1$ , ns). Hay que tener en cuenta que los flujos, índices cardiacos y hematocrito han sido similares entre ambos. Normalmente al inicio de la pulsatilidad la temperatura del paciente suele haber caído unas décimas y durante la pulsatilidad se produce ese ligero recalentamiento que puede llegar a un grado, por lo que pensamos que la oximetría cerebral podría haber mejorado algo más, ya que esa pequeña elevación de la temperatura aumenta el consumo de  $\text{O}_2$ . De cualquier manera, podemos decir que el tipo de bomba usado no influye en la oximetría cerebral.

En el apartado de microburbujas pueden influir muchas variables: aire en el retorno venoso, el tipo de reservorio, el drenaje venoso activo y cualquier línea de recirculación que vuelva al reservorio (hemoconcentrador, recirculación del oxigenador, toma de muestras, etc.). El control de todos estos posibles motivos es complicado. Curiosamente los datos preoxigenador están invertidos, la centrífuga tiene un número menor de microburbujas ( $155916 \pm 189805$ ) con un mayor volumen total ( $289 \pm 1343 \mu\text{l}$ ) mientras que en el grupo rodillo hay mayor número de microburbujas ( $266134 \pm 261028$ ), pero con un menor volumen total ( $138 \pm 236 \mu\text{l}$ ), lo que nos puede hacer pensar que el tamaño de microburbujas es mayor en la centrífuga. Por el contrario, en la medida post oxigenador ocurre completamente lo opuesto, en la centrífuga hay un mayor número de microburbujas ( $8368 \pm 18362$ ) con un menor volumen total de las mismas ( $2,9 \pm 10,6 \mu\text{l}$ ), siendo al contrario el rodillo ( $7455 \pm 9757$  y  $5,2 \pm 17,7 \mu\text{l}$ ). Lo que se puede observar es que las desviaciones estándar de todos los datos son muy elevadas en comparación con la media, lo que nos advierte de la gran variabilidad de todos los datos registrados. Y a la vez, se confirma la capacidad de la membrana y de los filtros para eliminar gran parte de las microburbujas. El DVAV se usó en la misma proporción en ambos grupos y a la misma presión negativa, por lo que la posible influencia sería similar. El hemoconcentrador sí produjo un mayor número y volumen de

microburbujas, aunque no de forma significativa, y se entiende que es por el hecho de ser una recirculación grande que vuelve al reservorio venoso, creando un mayor número de microburbujas. No podemos afirmar que un tipo de bomba sea superior al otro en la gestión de microburbujas.

Al igual que con la oximetría, en la hemoglobinuria pueden influir otras variables, algunas con un peso mayor que el tipo de bomba usado, como pueden ser las aspiraciones de campo, vent y raíz de aorta, así como tiempos prolongados de cirugía, siendo las primeras difíciles de controlar. En la determinación de la orina basal, antes de entrar en CEC, ambos grupos tuvieron valores muy similares existiendo en ambos grupos alguna presencia de hemoglobinuria en más de 50% de los pacientes. En alrededor de un 40% de ambos grupos no hubo ningún incremento en la hemoglobinuria tras la CEC con respecto al valor basal. Un dato que llama la atención sin ser significativo es que un 26,3% del grupo rodillo tuvo un incremento de 4 puntos en la hemoglobina en orina. Otro dato es que 6 pacientes tuvieron una hematuria macroscópica, que sería algo más del 10% de la muestra, con una división por igual para ambos grupos, 3 en cada, tampoco llegando a la significación. No existió una relación entre el tiempo de CEC y de pulsatilidad con el incremento en la hemoglobinuria. Basándonos en estos datos no podemos concluir que una bomba produzca más hemoglobinuria que otra, pero la tendencia se inclina en contra del uso de la bomba de rodillo.

Las principales limitaciones de nuestro estudio son una muestra pequeña y la no asignación aleatoria, que ha hecho que el tamaño de los grupos sea diferente, principalmente porque en ambos hospitales trabajan habitualmente con bomba centrífuga y el rodillo supone un hándicap a la práctica clínica habitual. También hay diferencias en la forma de trabajar de cada perfusionista, por no decir del resto del equipo. Otro tema importante a tener en cuenta es que se ha trabajado con distintos oxigenadores, que tienen una respuesta diferente ante la pulsatilidad.

Como conclusión del estudio y en base a los datos expuestos anteriormente, la calidad de onda creada es mejor de forma significativa con la bomba centrífuga, así como una tendencia a producir una menor hemoglobinuria, por lo que recomendamos el uso de la bomba centrífuga para la producción de la pulsatilidad durante el tiempo de clampaje en CEC, así como una elección adecuada del oxigenador. Nos planteamos seguir estudiando la pulsatilidad con bomba centrífuga, siendo necesaria la realización de ensayos clínicos para poder llegar a conclusiones con mayor validez.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Taylor KM, Bain WH, Maxted KJ, Hutton MM, McNab WY, Caves PK. Comparative studies of pulsatile and nonpulsatile flow during cardiopulmonary bypass. I. Pulsatile system employed and its hematologic effects. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1978 Apr;75(4):569–73.
2. Hickey PR, Buckley MJ, Philbin DM. Pulsatile and nonpulsatile cardiopulmonary bypass: review of a counterproductive controversy. *Ann Thorac Surg.* 1983 Dec;36(6):720–37. doi:10.1016/s0003-4975(10)60286-x.
3. Taylor KM, Bain WH, Russell M, Brannan JJ, Morton IJ. Peripheral vascular resistance and angiotensin II levels during pulsatile and non-pulsatile cardiopulmonary bypass. *Thorax.* 1979 Oct;34(5):594–8. doi: 10.1136/thx.34.5.594.
4. O'Neil MP, Alie R, Guo LR, Myers ML, Murkin JM, Ellis CG. Microvascular Responsiveness to Pulsatile and Nonpulsatile Flow During Cardiopulmonary Bypass. *Ann Thorac Surg.* 2018 Jun;105(6):1745–53. doi: 10.1016/j.athoracsurg.2018.01.007.
5. Graßler A, Bauernschmitt R, Guthoff I, Kunert A, Hoenicka M, Albrecht G, et al. Effects of pulsatile minimal invasive extracorporeal circulation on fibrinolysis and organ protection in adult cardiac surgery — A prospective randomized trial. *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 10):S1453–63. doi: 10.21037/jtd.2019.02.66.
6. Onorati F, Santarpino G, Rubino AS, Caroleo S, Dardano A, Scalas C, et al. Body perfusion during adult cardiopulmonary bypass is improved by pulsatile flow with intra-aortic balloon pump. *Int J Artif Organs.* 2009 Jan;32(1):50–61. doi: 10.1177/039139880903200107.
7. Ündar A. The ABCs of research on pulsatile versus nonpulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass. *Med Sci Monit.* 2002 Dec;8(12):ED21–4.
8. Rojas R. Flujo pulsátil, una “técnica olvidada”. ¿Opción o elección? En *Bomba* [Internet]. 2017;1(2):55–63. Available from: <https://www.asociacionalap.com/resources/Documents/DIGITAL EN BOMBA VOL 1 - N 2.pdf>
9. Lou S, Ji B, Liu J, Yu K, Long C. Generation, detection and prevention of gaseous microemboli during cardiopulmonary bypass procedure. *Int J Artif Organs.* 2011 Nov;34(11):1039–51. doi: 10.5301/ijao.5000010.
10. Dodonov M, Milano A, Onorati F, Dal Corso B, Menon T, Ferrarini D, et al. Gaseous Micro-Emboli Activity During Cardiopulmonary Bypass in Adults: Pulsatile Flow Versus Nonpulsatile Flow. *Artif Organs.* 2013;37(4):357–67. doi: 10.1111/aor.12000.
11. Tan Z, Besser M, Anderson S, Newey C, Iles R, Dunning J, et al. Pulsatile Versus Nonpulsatile Flow During Cardiopulmonary Bypass: Extent of Hemolysis and Clinical Significance. *ASAIO J.* 2020;66(9):1025–30. doi: 10.1097/MAT.0000000000001154.
12. Koh LY, Hwang NC. Red-Colored Urine in the Cardiac Surgical Patient—Diagnosis, Causes, and Management. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2021;35(12):3774–88. doi: 10.1053/j.jvca.2020.10.014.
13. Passaroni AC, Felicio ML, Campos NLK de, Silva MA de

M, Yoshida WB. Hemolysis and Inflammatory Response to Extracorporeal Circulation during On-Pump CABG: Comparison between Roller and Centrifugal Pump Systems. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2018 Jan-Feb;33(1):64-71. doi: 10.21470/1678-9741-2017-0125.

14. Jones TJ, Deal DD, Vernon JC, Blackburn N, Stump DA. Does vacuum-assisted venous drainage increase gaseous microemboli during cardiopulmonary bypass *Ann*

*Thorac Surg.* 2002 Dec;74(6):2132-7. doi: 10.1016/S0003-4975(02)04081-x.

15. Mueller XM, Tevaearai HT, Horisberger J, Augstburger M, Boone Y, von Segesser LK. Smart suction device for less blood trauma: a comparison with Cell Saver. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2001 Apr;19(4):507-11. doi: 10.1016/S1010-7940(01)00630-3.

**Tabla I. Datos basales, antecedentes personales y datos perioperatorios de los pacientes**

	CENTRÍFUGA	RODILLO	p
GÉNERO (H/M)	29/11	13/6	ns
EDAD	66,6 ± 10,8	65,8 ± 8,0	ns
PESO	79,8 ± 13,3	78,9 ± 13,8	ns
TALLA	165 ± 11	166 ± 10	ns
SUPERFICIE CORPORAL	1,87 ± 0,20	1,87 ± 0,19	ns
ÁCIDO LÁCTICO PRE	1,01 ± 0,55	0,91 ± 0,45	ns
HEMATOCRITO	41,8 ± 5,2	41,4 ± 5,2	ns
HEMATOCRITO PRE	38,1 ± 10,5	37,9 ± 10,6	ns
DIABETES	12 (30%)	10 (52,6%)	ns
HTA	30 (75%)	15 (78,9%)	ns
DISLIPEMIA	15 (37,5%)	9 (47,4%)	ns
EPOC	5 (12,5%)	2 (10,5%)	ns
HTP	3 (7,5%)	1 (5,3%)	ns
FA	4 (10%)	0 (0%)	ns
TIEMPO CEC	111 ± 35	115 ± 38	ns
TIEMPO ISQUEMIA	80 ± 28	84 ± 36	ns
TIEMPO FLUJO PULSÁTIL	74 ± 28	80 ± 37	ns
TEMPERATURA CEC	35,8 ± 0,4	35,6 ± 0,5	ns
DIURESIS CEC	288 ± 198	271 ± 229	ns
HEMATOCRITO NADIR CEC	28,9 ± 3,0	27,4 ± 4,2	ns
HEMATOCRITO POST CEC	31,1 ± 2,9	31,1 ± 4,0	ns
ÁCIDO LÁCTICO CEC	1,40 ± 0,69	1,43 ± 0,64	ns
ÁCIDO LÁCTICO POST CEC	1,78 ± 0,77	1,93 ± 1,18	ns

H: Hombre; M: Mujer; HTA: Hipertensión arterial; EPOC: Enfermedad pulmonar obstructiva crónica; HTP: Hipertensión Pulmonar; FA: Fibrilación Auricular.

Tabla II. Calidad de la onda de pulsatilidad

	CENTRÍFUGA	RODILLO	p
< 15 mmHg	3 (7,5%)	2 (10,5%)	ns
15-20 mmHg	13 (32,5%)	11 (57,9%)	
> 20 mmHg	24 (60%)	6 (31,6%)	
TOTAL	40	19	

Tabla III. Presiones pre y post membrana, flujo de CEC y delta P en los distintos oxigenadores

	FUSION	FX15	INSPIRE	p
PRESIÓN. PREMEMBRANA	345 ± 53	360 ± 23	358 ± 47	ns
PRESIÓN POSTMEMBRANA	275 ± 48	271 ± 21	193 ± 45	0,0001
FLUJO DE CEC	4,69 ± 0,46	4,26 ± 0,25	4,52 ± 0,55	ns
DELTA P	13,4 ± 6,6	20,8 ± 1,6	36,0 ± 13,6	0,0001

Tabla IV. Calidad de onda de pulso de los distintos oxigenadores por grupos.

		< 15	15-20	>20
FUSION	CENTRÍFUGA	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)
	RODILLO	1 (25%)	1 (25%)	2 (50%)
	TOTAL	1 (12,5%)	3 (37,5%)	4 (50%)
FX15	CENTRÍFUGA	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)
	RODILLO	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
	TOTAL	0 (0%)	0 (0%)	11 (100%)
INSPIRE	CENTRÍFUGA	3 (12%)	11 (44%)	11 (44%)
	RODILLO	1 (6,7%)	10 (66,7%)	4 (26,6%)
	TOTAL	4 (10%)	21 (52,5%)	15 (37,5%)

**Tabla V. Medición de la oximetría cerebral en ambos hemisferios.**

	CENTRÍFUGA	RODILLO	p
OX. CER. BASAL DCHA.	60 ± 8	58 ± 7	ns
OX. CER. BASAL IZDA.	58 ± 11	58 ± 8	ns
OX. CER. PULSATILIDAD DCHA.	62 ± 8	61 ± 7	ns
OX. CER. PULSATILIDAD IZDA.	61 ± 11	59 ± 7	ns
DIFERENCIA OX. CER. DCHA.	2,2 ± 4,5	3,1 ± 6,2	ns
DIFERENCIA OX. CER. IZDA.	3,5 ± 5,7	0,9 ± 6,1	ns

OX. CER.: Oximetría cerebral

**Tabla VI. Medición del número de microburbujas y del volumen de aire total por grupos**

	CENTRÍFUGA	RODILLO	p
Nº BURBUJAS PRE OXIGENADOR	155916 ± 189805	266134 ± 261028	ns
VOLUMEN PRE OXIGENADOR (µl)	289 ± 1343	138 ± 236	ns
Nº BURBUJAS POST OXIGENADOR	8368 ± 18362	7455 ± 9757	ns
VOLUMEN POST OXIGENADOR (µl)	2,9 ± 10,6	5,2 ± 17,7	ns

**Tabla VII. Medición de la hemoglobina en orina basal y en la orina post CEC y la diferencia entre ambas medidas**

		HB ORINA				
		0	+1	+2	+3	+4
ORINA BASAL	CENTRÍFUGA	17 (43,6%)	11 (28,2%)	7 (17,9%)	4 (10,3%)	
	RODILLO	9 (47,4%)	4 (21,1%)	4 (21,1%)	2 (10,5%)	
ORINA POST CEC	CENTRÍFUGA	10 (25,6%)	3 (7,7%)	3 (7,7%)	14 (35,9%)	9 (23,1%)
	RODILLO	4 (21,1%)	0 (0%)	3 (15,8%)	3 (15,8%)	9 (47,4%)
DIF BASAL-POSTCEC	CENTRÍFUGA	16 (41%)	5 (12,8%)	12 (30,8%)	3	3 (7,7%)
	RODILLO	7 (36,8%)	2 (10,5%)	4 (21,1%)	(7,7%)	5 (26,3%)

# LivaNova

Health innovation that matters



# That's why.



## CONNECT.

OVER 20 YEARS OF EXPERIENCE IN ELECTRONIC PERFUSION DATA MANAGEMENT. MORE YEARS FOR NEW HORIZONS.

*For professional use. See Instruction For Use in the LivaNova conference booth for full prescribing information, including indications, contraindications, warnings, precautions and adverse event.*

[www.livanova.com](http://www.livanova.com)



IM-01893 B