

# Oxigenación por membrana extracorpórea

SYLVIA BELDA HOFHEINZ Y LIDIA CASANUEVA MATEOS

Unidad de Cuidados Intensivos Pediátricos. Hospital 12 de Octubre. Madrid. España.  
sbelda.hdoc@salud.madrid.org

## Puntos clave

- La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es un dispositivo diseñado para suplir extracorpóreamente las funciones de corazón y pulmón. Es una terapia de soporte más que de tratamiento, ya que permite el reposo de los órganos afectados supliendo de modo artificial sus funciones hasta su curación natural.
- La ECMO se considera una técnica de rescate en situaciones de previsible alta mortalidad, cuando las demás opciones terapéuticas han fracasado y presuponiendo que la situación sea reversible.
- En recién nacidos las indicaciones fundamentales son dos, la hipertensión pulmonar persistente y la hernia diafragmática congénita, en niños y adultos las indicaciones son fundamentalmente el fracaso respiratorio o cardíaco potencialmente reversible, como alternativa cuando las medidas estándar de reanimación cardiopulmonar fracasan y como puente al trasplante cardíaco.
- La ECMO consiste en una o 2 cánulas que permiten el drenaje de la sangre venosa desoxigenada, un circuito, una bomba, que puede ser de rodillo, que propulsa la sangre al comprimir el rodillo un segmento del circuito, o centrífuga, un oxigenador de membrana y un intercambiador de calor. Existen 2 tipos de soporte en ECMO, venoarterial (VA) (soporte cardíaco o cardiorrespiratorio) y venovenoso (VV) (sólo respiratorio).
- Habitualmente el manejo de los pacientes se basa en asegurar el reposo de los órganos dañados y continuar los tratamientos necesarios, evitando aquellos que puedan aumentar la lesión (parámetros poco agresivos en ventilación mecánica y disminución de inotropos). Se utiliza anticoagulación con heparina y el sangrado es una de las complicaciones más frecuentes.
- Ante la mejoría de los órganos afectados se aumentan la ventilación mecánica y el tratamiento inotropeo y se intenta el destete de la ECMO.

## Introducción

La oxigenación por membrana extracorpórea (ECMO) es un dispositivo diseñado para suplir extracorpóreamente las funciones de corazón y pulmón. Es una terapia de soporte más que de tratamiento, ya que permite el reposo de los órganos afectados supliendo de modo artificial sus funciones hasta su curación natural. Este procedimiento incluye extraer la sangre del paciente, pasarla por una bomba que la propulsa, manteniendo la presión arterial y supliendo la función cardíaca, y por un oxigenador, que permite el intercambio gaseoso de esa sangre emulando la función pulmonar, para devolver de nuevo la sangre oxigenada y tras lavar el carbónico al paciente.

## Perspectiva histórica

En mayo de 1953, Gibbon empleó la oxigenación artificial y el soporte para la primera cirugía a corazón abierto exitosa<sup>1</sup> y en 1976, Robert Bartlett<sup>2</sup> lo hizo con el primer caso de un recién nacido (Esperanza) con fracaso respiratorio que sobrevivió tras el tratamiento.

Desde 1989 con la creación de la *Extracorporeal Life Support Organisation*<sup>3</sup>, que cuenta actualmente con más de 120 centros miembros en numerosos países y que consiste en un grupo de estudio voluntario, que mantiene una amplia base de datos con más de 30.000 pacientes recogidos, los éxitos de esta técnica han ido aumentando al igual que sus indicaciones.

## Indicaciones

La ECMO se considera una técnica de rescate en situaciones de previsible alta mortalidad, cuando las demás opciones terapéuticas han fracasado y presuponiendo que la situación sea reversible. La ECMO se emplea en niños y adultos con fracaso grave pero potencialmente reversible del corazón o los pulmones.

En recién nacidos las indicaciones son dos, la hipertensión pulmonar persistente (HTPP) idiopática y secundaria, que incluye el síndrome de aspiración meconial, la sepsis/neumonía y la asfixia, y la hernia diafragmática congénita, aunque también se puede emplear en la fuga aérea, como puente al trasplante, en la neumonía viral y el hydrops fetal grave, en la cardiomiopatía o como soporte para reparacio-

nes quirúrgicas traqueales complejas, masas cervicales obstructivas, malformaciones adenoideas quísticas. De hecho, se ha empleado la circulación placentaria como soporte en cirugías de este tipo operadas intranatalmente tras extraer únicamente la cabeza y el cuello del feto, permitiéndole recibir la sangre placentaria (procedimiento EXIT: *ex utero-intrapartum treatment*), o, si esto no es posible, canulando el cuello para instaurar la ECMO.

Los criterios de selección están recogidos en la tabla 1.

En niños y adultos las indicaciones son fundamentalmente el fracaso respiratorio o cardíaco potencialmente reversible, como el síndrome de distrés respiratorio agudo, la miocarditis, el fallo cardíaco postoperatorio, el shock séptico resistente o como alternativa cuando las medidas estándar de reanimación cardiopulmonar fracasan en los pacientes en parada cardiorrespiratoria, lo que se conoce como ECMO-RCP y también como puente al trasplante cardíaco fundamentalmente o a otros dispositivos de asistencia ventricular de mayor duración.

En el pasado se consideraban contraindicaciones a la instauración de la ECMO enfermedades con altísima mortalidad, como el fracaso respiratorio en inmunodeprimidos o enfermedades malignas. Conforme van apareciendo datos de supervivencia estas percepciones se han ido modificando, existiendo ya series con supervivencias no desdeñables en estos pacientes<sup>4-6</sup>. La hemorragia incoercible era considerada también una contraindicación, dada la necesidad de anticoagular a los pacientes en ECMO, pero por ejemplo en hemorragia pulmonar existen series con elevadísima supervivencia (hasta del 100%)<sup>7</sup> cediendo el sangrado pese a la heparinización.

## Equipo

La ECMO consiste en una o 2 cánulas que permiten el drenaje de la sangre venosa desoxigenada, un circuito, una bomba, que puede ser de rodillo, que propulsa la sangre al comprimir el rodillo un segmento del circuito, o centrífuga, un oxigenador de membrana y un intercambiador de calor, que consiste en un circuito que bombea agua caliente alrededor de parte del circuito sanguíneo, ya que, al ser un circuito extracorpóreo la sangre se expone a temperaturas ambiente, y la cánula que devuelve la sangre oxigenada al organismo (fig. 1).

El control de la eliminación de CO<sub>2</sub> se realiza variando el flujo de gas del mezclador que suministra de gas el oxigenador, así, aumentando el flujo se elimina más CO<sub>2</sub>, mientras el control del aporte de oxígeno se consigue modificando la FiO<sub>2</sub>.

Un punto crítico del sistema lo constituye la bomba, que es fuente de producción de efectos secundarios, fundamentalmente hemólisis, trombogenicidad y problemas mecánicos; y gran parte de los esfuerzos tecnológicos han consistido en tratar de mejorar este punto del circuito.

Inicialmente en pediatría se prefirieron las bombas de rodillo a las centrífugas, que producían una importante hemólisis sobre todo en niños de menor tamaño. Estas bombas de rodillo precisan un drenaje por gravedad a un reservorio que evita la aspiración en vacío ante disminuciones en la precarga, pero que es un punto crítico para el desarrollo de

trombos, al estar allí la sangre retenida. Precisan además un circuito más largo, con necesidad de más volumen de cebado, lo que también constituye una desventaja para su uso en pediatría.

Con las mejoras técnicas de las bombas centrífugas, han ido disminuyendo los problemas mecánicos iniciales, imponiéndose en el empleo clínico.

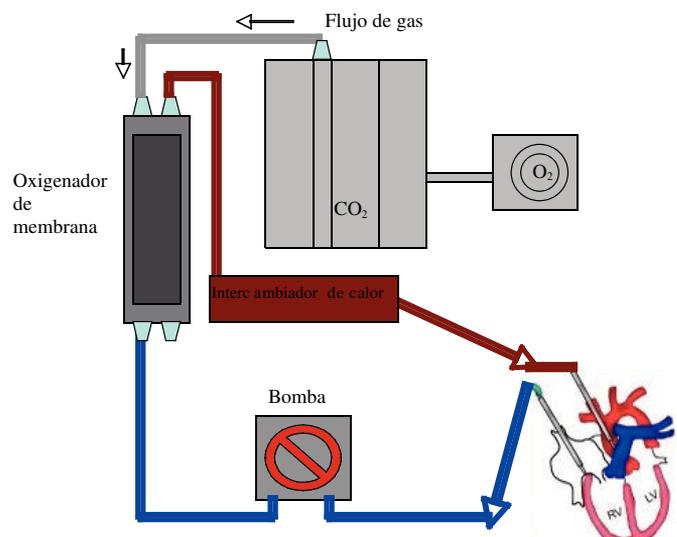
A partir del año 2000 se desarrollan las bombas centrífugas de 3.<sup>a</sup> generación, que no tienen contacto directo con el soporte de la bomba, que es lo que produce la hemólisis, funcionando por un sistema de levitación del rotor bien de forma magnética o hidrodinámica, con un acoplamiento magnético y una impulsión directa. En este campo son más conocidas bombas como la Berlin Heart INCOR (levitada magnéticamente empleada para asistencia ventricular) o la Levitronix CentriMag (bomba de ECMO), aunque existen dispositivos específicamente pediátricos como el PediaFlow o la PediaPump<sup>8</sup>.

Otro elemento crítico del sistema es el oxigenador, habiéndose impuesto los de fibra hueca de polimetilpenteno, que precisan un menor volumen de cebado, se ceban más rápidamente, presentan menor pérdida proteica y menor resis-

**Tabla 1.** Criterios de selección para ECMO neonatal

Criterios de selección para ECMO neonatal
• Edad gestacional > 34 semanas
• Peso al nacimiento > 2000 g
• Ausencia de coagulopatía o sangrado incontrolables
• Ausencia de hemorragia intracranial importante (> grado 1)
• Ventilación mecánica durante < 14 días
• Enfermedad pulmonar reversible
• Ausencia de malformaciones letales
• Ausencia de malformación cardíaca mayor intratable
• Fracaso de todas las medidas del tratamiento médico

ECMO: oxigenación por membrana extracorpórea.



**Figura 1.** Circuito de la ECMO: oxigenador por membrana extracorpórea.

tencia al flujo sanguíneo, lo que puede reducir la agregación plaquetaria<sup>9</sup>.

También se han desarrollado circuitos recubiertos de heparina y la ingeniería tisular está desarrollando superficies que simulan la pared endotelial, son más biocompatibles y reducen la activación de los hematíes y la trombogenicidad, pudiendo disminuir la necesidad de anticoagulación y las complicaciones de la ECMO<sup>10</sup>.

Existen 2 tipos de soporte en ECMO, venoarterial (VA) (soporte cardíaco o cardiorrespiratorio) y venovenoso (VV) (sólo respiratorio).

En ECMO VA con canulación periférica, una o varias cánulas se colocan en venas de gran calibre (sobre todo yugular derecha o femorales) para el drenaje de sangre desoxigenada y la segunda cánula se inserta en una arteria (carótida derecha, femoral) para devolver la sangre oxigenada. En niños se emplea sobre todo la canulación en el cuello (vena yugular derecha y arteria carótida derecha).

Tras cirugía cardíaca se suele utilizar la canulación central (con esternotomía y tórax abierto) con colocación de la cánula venosa en aurícula derecha, añadiendo una cánula en la aurícula izquierda si existe fallo ventricular izquierdo importante, y con la cánula arterial en la aorta.

En ECMO VV puede usarse una sola cánula que es colocada en una vena (yugular o femoral generalmente), que extrae sangre desaturada y la devuelve oxigenada, o varias si el flujo con una es inadecuado, pero es el propio corazón del paciente el que se encarga de bombear esta sangre, siendo ésta, por lo tanto, una asistencia pulmonar únicamente, mientras la ECMO VA soporta las funciones cardíaca y respiratoria.

Las ventajas e inconvenientes de ambas técnicas están recogidas en la tabla 2.

## Manejo en ECMO

La ECMO proporciona las condiciones para conseguir el descanso de los órganos y a su vez «ganar tiempo» para una curación. Habitualmente el manejo de los pacientes

se basa en asegurar ese reposo y continuar los tratamientos necesarios.

En relación con el manejo ventilatorio sin duda se deben limitar aquellos parámetros que produzcan daño añadido al pulmón. En general se aplicará una FiO<sub>2</sub> baja, volúmenes tidal pequeños y frecuencias bajas (parámetros de descanso) con PEEP suficiente para evitar la atelectasia. Se puede utilizar también la ventilación de alta frecuencia con parámetros poco agresivos para evitar daños añadidos.

La misma premisa de limitar los efectos deletéreos de los tratamientos agresivos se emplea para el manejo hemodinámico, evitando las dosis altas de inotropos (en muchos centros prácticamente se retiran), manteniendo un adecuado volumen intravascular y una buena perfusión periférica para revertir el daño orgánico existente.

El manejo de los líquidos es un punto importante, así los pacientes en ECMO con frecuencia son candidatos a técnicas continuas de reemplazo renal, por insuficiencia renal asociada (hasta el 36%), para forzar balance negativo (existe una relación entre la posibilidad de retirar la ECMO y la reducción del edema) o para lavar mediadores inflamatorios.

Trabajos recientes describen la posibilidad de conectar una máquina de hemofiltración al circuito de la ECMO, permitiendo así la hemofiltración continua más segura y eficiente<sup>11,12</sup>.

La anticoagulación es un punto crítico y se suele realizar con heparinización controlada por el tiempo de coagulación activada (ACT alrededor de 180-200) y el TTPa. El sangrado es una complicación frecuente y de difícil manejo, es importante corregir la coagulación si está alterada (con plasma, plaquetas y fibrinógeno)<sup>13</sup>, se pueden añadir antifibrinolíticos (como el ácido épsilon-aminocaproico o el ácido tranexámico) o, en los casos resistentes, recurrir a la revisión quirúrgica, la suspensión temporal de la heparina u otras medidas más controvertidas como el factor VIIa<sup>14</sup>.

En cuanto al seguimiento en ECMO respiratoria se hacen radiografías seriadas y ecocardiografías para el seguimiento de la asistencia cardiorrespiratoria, haciendo intentos de

**Tabla 2.** Ventajas e inconvenientes de los soportes venovenoso y venoarterial

	Ventajas	Inconvenientes
<b>Venovenoso</b>	Protección de arterias coronarias Mantiene el flujo pulsátil Evita hiperoxia Perfunde pulmones con sangre oxigenada Menor riesgo de embolias sistémicas Flujo sanguíneo pulmonar normal	Sin soporte cardíaco Recirculación parcial pO <sub>2</sub> sistémica disminuida Mayor predisposición a acodamiento del catéter Mayor potencial de hemólisis Posición del catéter muy importante, afecta a la recirculación
<b>Venoarterial</b>	Soporte cardíaco directo Intercambio gaseoso excelente Estabilización rápida Amplia experiencia clínica	Ligadura arteria carótida Flujo no pulsátil Disminuye flujo pulmonar Disminuye el aporte de oxígeno miocárdico Potencial para hiperoxia cerebral/retiniana

destete de la ECMO, en los que, por supuesto hay que volver a instaurar una asistencia respiratoria mayor y el apoyo inotrópico necesario, para bajar los flujos valorando la tolerancia del paciente (oxigenación y aclaramiento de carbónico, gasto cardíaco y gasometrías) antes de descanular definitivamente al paciente.

## Complicaciones

Las complicaciones son múltiples y se recogen en la tabla 3. Supone una técnica compleja, con importantes efectos secundarios y riesgos, alto coste y requiere una importante especialización del personal implicado en su manejo, ya que las complicaciones pueden suponer un riesgo vital inminente.

## Mortalidad y morbilidad

Los datos de morbilidad y mortalidad<sup>3</sup> según las principales indicaciones se recogen en la tabla 4.

Existe un riesgo no desdeñable de secuelas, siendo las más temidas las neurológicas, aunque muchas son secundarias a las situaciones de elevada gravedad que derivan en el empleo de la ECMO. La necesidad de anticoagulación importante también es un factor predisponente.

## Consideraciones finales

Sin duda, la ECMO es una opción atractiva como técnica de rescate en situaciones en las que la mortalidad sea casi del 100%, aunque no se disponga de ensayos clínicos aleatorizados que apoyen esta práctica. Sí existen, sin embargo, datos de un exhaustivo registro con participación de más de 120 centros, que aunque retrospectivo y

limitado en su análisis en cuanto a los datos recogidos y al seguimiento en el tiempo, ha hecho que se modifiquen y amplíen las indicaciones, evolucionando con la experiencia niño a niño, mejorando con ella, eliminando contraindicaciones y consiguiendo supervivencias de pacientes que, sin ECMO, hubiesen fallecido con una altísima probabilidad.

**Tabla 4.** Supervivencia en ECMO

Tipo de ECMO	Supervivencia (%) <sup>a</sup>
<b>Neonatal respiratoria</b>	<b>85</b>
Síndrome de aspiración meconial	94
Sepsis	74
HTPP	78
SDR	84
<b>Hernia diafragmática congénita</b>	<b>52</b>
<b>Pediátrica respiratoria</b>	<b>55</b>
Neumonía aspirativa	65
Neumonía viral	63
Neumonía bacteriana	54
Pneumocystis	41
SDRA postoperatorio/traumático	63
SDRA de otra etiología	52
<b>Pediátrica cardíaca</b>	<b>43</b>
Miocarditis	57-80
Ventrículo izquierdo hipoplásico	50-64
Puente al trasplante	64
Post-trasplante	40
ECMO-RCP	40
<b>Adultos respiratoria</b>	<b>52</b>
Neumonía bacteriana	57
Neumonía viral	65
Neumonía espirativa	62
Neumonía fúngica	29
Daño pulmonar secundario a traumatismo	44
Daño pulmonar secundario a sepsis	50
Daño pulmonar cardiogénico	63
Posttrasplante pulmonar	44
<b>Adultos cardíaca</b>	
Fallo cardíaco poscardiotomía	16-37
Miocarditis	15-20

ECMO: oxigenación por membrana extracorpórea; RCP: reanimación cardiopulmonar; SDRA: síndrome de dificultad respiratoria del adulto.

Datos de la Universidad de Michigan<sup>15</sup>.

**Tabla 3.** Complicaciones en ECMO

<b>Complicaciones del sistema</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malposición o acodamiento (<i>kinking</i>) de las cánulas</li> <li>• Coagulación del sistema</li> <li>• Roturas del circuito</li> <li>• Decanulación accidental</li> <li>• Embolias</li> <li>• Disfunción de la bomba</li> <li>• Disfunción del oxigenador</li> <li>• Disfunción del calentador</li> <li>• Hemólisis</li> </ul>
<b>Complicaciones médicas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complicaciones neurológicas; hemorragias, infartos, convulsiones</li> <li>• Complicaciones hemorrágicas</li> <li>• Complicaciones cardíacas: miocardio aturcido, insuficiencia aórtica, hipertensión, arritmias, taponamiento</li> <li>• Complicaciones pulmonares: neumotórax, hemorragia pulmonar</li> <li>• Complicaciones infecciosas</li> <li>• Otras: renales, gastrointestinales, metabólicas, etc.</li> </ul>

ECMO: oxigenación por membrana extracorpórea.

## Bibliografía



● Importante    ●● Muy importante

1. ● **Gibbon JH Jr. Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery.** *Minn Med.* 1954;37:171-85.
2. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Jefferies MR, Huxtable RF, Haiduc NJ, Fong SW. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) cardiopulmonary support in infancy. *Trans Am Soc Artif Intern Organs.* 1976;22:80-93.
3. ●● **Van Meurs K, Lally KP, Peek G, Zwischenberger JB. ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care. 3rd edition. Extracorporeal Life Support Organisation. Michigan: Ann Arbor; 2005.**
4. Gupta M, Shanley TP, Moler FW. Extracorporeal life support for severe respiratory failure in children with immune compromised conditions. *Pediatr Crit Care Med.* 2008;9:380-5.
5. Gow KW, Heiss KF, Wulkan ML, Katzenstein HM, Rosenberg ES, Heard ML, et al. Extracorporeal life support for children with malignancy and respiratory or cardiac failure: The extracorporeal life support experience. *Crit Care Med.* 2009;37:1308-16.
6. Morris SH, Haight AE, Kamat P, Fortenberry JD. Successful use of extracorporeal life support in a hematopoietic stem cell transplant patient with diffuse alveolar hemorrhage. *Pediatr Crit Care Med.* 2010;11:e4-7.
7. Kolovos NS, Schuerer DJ, Moler FW, Bratton SL, Swaniker F, Bartlett RH, et al. Extracorporeal life support for pulmonary hemorrhage in children: A case series. *Crit Care Med.* 2002;30:577-80.
8. Hoshi H, Shinshi T, Takatani S. Third-generation Blood Pumps with Mechanical Noncontact Magnetic Bearings. *Artif Organs.* 2006;30:324-38.
9. Khoshbin E, Roberts N, Harvey C, Machin D, Killer H, Peek GJ, et al. Poly-methyl pentene oxygenators have improved gas exchange capability and reduced transfusion requirements in adult extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J.* 2005;51:281-7.
10. Zhang H, Annich GM, Miskulin J, Osterholzer K, Merz SI, Bartlett RH, et al. Nitric oxide releasing silicone rubbers with improved blood compatibility: preparation, characterization, and in vivo evaluation. *Biomaterials.* 2002;23:1485-94.

11. Santiago MJ, Sánchez A, López-Herce J, Pérez R, del Castillo J, Urbano J, et al. The use of continuous renal replacement therapy in series with extracorporeal membrane oxygenation. *Kidney Int.* 2009;76:1289-92.
12. Rubin S, Poncet A, Wynckel A, Baehrel B. How to perform a haemodialysis using the arterial and venous lines of an extracorporeal life support. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2010;37:967-8.
13. ● **Oliver WC. Anticoagulation and Coagulation Management in ECMO. Semin Cardiothorac Vasc Anesth.** 2009;13:154-75.
14. Niebler RA, Punzalan RC, Marchan M, Lankiewicz MW. Activated recombinant factor VII for refractory bleeding during extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatr Crit Care Med.* 2010;11:98-102.
15. Hemmila MR, Rowe SA, Boules TN, Miskulin J, McGillicuddy JW, Schuerer DJ, et al. Extracorporeal Life Support for Severe Acute respiratory Distress syndrome in Adults. *Ann Surg.* 2004;240:595-605.

## Bibliografía recomendada

**Van Meurs K, Lally KP, Peek G, Zwischenberger JB. ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care. 3rd edition. Michigan, Ann Arbor: Extracorporeal Life Support Organisation; 2005.**

*Excelente manual sobre la utilización de la ECMO, con información detallada y revisada sobre sus indicaciones, resultados y manejo, con datos de la Extracorporeal Life Support Organisation. Manual de consulta para cualquiera que quiera familiarizarse con la técnica.*

**Oliver WC. Anticoagulation and Coagulation Management in ECMO. Semin Cardiothorac Vasc Anesth.** 2009;13:154-75.

*Revisión sistemática y detallada del manejo de la anticoagulación en los pacientes en ECMO.*

**Bracco D, Noiseux N, Hemmerling TM. The thin line between life and death. Intensive Care Med** 2007;33:751-4.

*Interesante comentario sobre los dilemas éticos que surgen con el empleo de la ECMO.*