

# Ecocardiografía funcional en neonatología

LUIS ARRUZA GÓMEZ Y ARACELI CORREDERA SÁNCHEZ

Servicio de Neonatología. Hospital Clínico San Carlos. Madrid. España.

luisarruza@yahoo.es; celicor25@hotmail.com

## Introducción

A pesar de la enorme tecnificación de las unidades de cuidados intensivos neonatales (UCIN) la monitorización hemodinámica del recién nacido (RN) con frecuencia incluye únicamente la presión arterial, diuresis, frecuencia cardíaca, equilibrio ácido-base o relleno capilar. Estos datos presentan numerosas limitaciones y son solo variables de la ecuación que regula la perfusión tisular<sup>1-6</sup>. El RN puede presentar diversos problemas hemodinámicos cuya fisiopatología es compleja y variable y, en ocasiones, poco predecible tras la valoración clínica habitual<sup>1,7</sup>. Por ello, la interpretación de estos parámetros puede llevar a conclusiones erróneas y a la adopción de estrategias terapéuticas incorrectas en RN inestables<sup>8</sup>. La ecocardiografía funcional (EcoFn) es una técnica de valoración hemodinámica que se añade a la monitorización habitual para guiar al clínico en sus intervenciones terapéuticas en la UCIN.

## La ecocardiografía funcional

La EcoFn, también denominada ecografía cardíaca realizada por el neonatólogo o ecocardiografía neonatal dirigida<sup>1,9</sup>, su-

mada a la valoración clínica habitual, permite individualizar los tratamientos en función de la fisiopatología concreta en cada situación. El mayor rendimiento de la EcoFn se obtendría mediante una adecuada valoración de sus hallazgos dentro del contexto clínico del paciente<sup>10</sup>. Esta técnica no sustituye a la valoración estructural detallada por parte del cardiólogo, ya que su función es diferente, pero permite al neonatólogo obtener información hemodinámica en el momento en que esta es necesaria y de forma seriada según las necesidades clínicas<sup>1</sup>.

### Indicaciones

1. Valoración hemodinámica durante la transición fetal-neonatal en el prematuro extremo<sup>1,11</sup>.
2. Estudio de la presencia y significación del ductus arterioso (DAP)<sup>1,11</sup>.
3. Determinar la fisiopatología subyacente en situaciones de inestabilidad hemodinámica<sup>1,11</sup>.
4. Valoración hemodinámica en pacientes con encefalopatía hipóxico-isquémica<sup>1,11,12</sup>.
5. RN con altos requerimientos de oxígeno<sup>1,11,13</sup>.

Aunque escapa al objetivo de esta revisión, dentro del concepto de la ecografía realizada por el clínico/neonatólogo también se incluyen otros usos o indicaciones no hemodinámicas, como la valoración de la presencia de derrames, colocación de drenajes, canalización de vías centrales, localización de catéteres centrales, etc.<sup>10,11,14</sup>. No son indicaciones de la EcoFn ni la valoración de RN con sospecha de cardiopatía congénita ni el seguimiento de pacientes diagnosticados de esta.

### Contraindicaciones

No se han descrito contraindicaciones, aunque en RN inestables la manipulación que supone la ecografía puede provocar un deterioro clínico que obligue a interrumpir momentáneamente el estudio. Sin embargo, en comparación con las ecocardiografías realizadas por cardiólogos, en general, la duración del estudio funcional es menor ya que va dirigido a un problema clínico concreto, lo cual disminuye la manipulación y, por tanto, mejora la tolerancia clínica<sup>11</sup>.

### Técnica

Los objetivos concretos de la EcoFn son la valoración de los cortocircuitos intra y extracardíacos, de la función miocárdica, del flujo sistémico y pulmonar, así como la perfusión tisular, con el fin de valorar la fisiopatología subyacente a

### Puntos clave

- La ecocardiografía funcional (EcoFn) aporta información fisiopatológica en tiempo real en situaciones de inestabilidad hemodinámica, de hipertensión pulmonar, durante la transición fetal-neonatal o ante la sospecha de ductus arterioso persistente (DAP).
- Los hallazgos de la ecocardiografía funcional deben valorarse dentro del contexto clínico del paciente.
- Es necesaria una estrecha colaboración con cardiólogos pediátricos, tanto para la formación inicial del neonatólogo como para la valoración de pacientes con sospecha de cardiopatía congénita.
- El uso de la EcoFn se está extendiendo en las unidades de neonatología, aunque son necesarios más estudios para determinar su impacto sobre la evolución de los pacientes.
- Hace falta la diseminación de programas de formación y acreditación estructurados conforme a las recomendaciones existentes para asegurar un uso correcto y seguro de esta técnica.

**Tabla 1.** Componentes, modos, ventanas ecográficas y mediciones de la ecocardiografía funcional

Componente	Modo	Ventana	Cálculos
<b>Valoración ductus arterioso</b>			
Diámetro (zona más estrecha del ductus)	2D o Doppler color	Ductal/supraesternal	
Dirección del cortocircuito	Doppler color/pulsado/continuo	Ductal/supraesternal	
Velocidad sistólica y diastólica del flujo a través del ductus	Doppler continuo/pulsado	Ductal/supraesternal	
<b>Función sistólica VI</b>			
FA/FE: diámetro final diástole y sístole VI	Modo M	Paraesternal eje largo	$FE (\%) = \frac{(DTDVI^3 - DTSVI^3)}{(DTDVI^3)} \times 100$ $FA (\%) = \frac{(DTDVI - DTSVI)}{(DTDVI)} \times 100$
<b>Valoración función miocárdica global</b>			
Índice Tei VI	Doppler pulsado	Apical 4 cámaras	
Tiempo entre final e inicio flujo transmitral (a)			Índice Tei VI = (a-b)/b
Tiempo de eyección VI (b)		Apical 5 cámaras	
Índice Tei VD	Doppler pulsado	Apical 4 cámaras	
Tiempo entre final e inicio flujo transtricuspídeo (a)			Índice Tei VD = (a-b)/b
Tiempo de eyección VD (b)		Paraesternal eje largo	
<b>Valoración hipertensión pulmonar</b>			
Velocidad pico de regurgitación tricuspídea	Doppler color	Apical 4 cámaras	$RVSp = 4 \times \text{velocidad}^2 + 5$ (presión en AD)
Morfología tabique interventricular	2D	Paraesternal eje corto	
<b>Valoración cortocircuito auricular</b>			
Dirección	Doppler color/pulsado	Subxifoideo	
<b>Índice cardíaco VI</b>			
Diámetro tracto salida VI	2D/modo M	Paraesternal eje largo	$GCVI \text{ (ml/min)} = VTI \text{ (cm)} \times \pi \times (D/2)^2 \text{ (cm}^2) \times FC$
Integral del área bajo la curva velocidad-tiempo en tracto de salida del VI	Doppler pulsado	Apical 5 cámaras	
<b>Índice cardíaco VD</b>			
Diámetro tracto salida VD	2D	Paraesternal eje largo	$GCDV \text{ (ml/min)} = VTI \text{ (cm)} \times \pi \times (D/2)^2 \text{ (cm}^2) \times FC$
Integral del área bajo la curva velocidad-tiempo en tracto de salida del VD	Doppler pulsado	Paraesternal eje largo	
<b>Flujo VCS</b>			
Diámetro de VCS (media en sístole y diástole)	Modo M	Paraesternal alto	$\text{Flujo VCS} = (VTI \times (\pi \times (D \text{ VCS}^2/4) \times FC)/\text{peso}$
Integral del área bajo la curva velocidad-tiempo de VCS (media 5 ciclos)	Doppler pulsado	Plano subxifoideo	
<b>Valoración función VD</b>			
Excursión sistólica del plano anular de la tricúspide (TAPSE)	Modo M	Apical 4 cámaras	

AD: aurícula derecha; D: diámetro del vaso; DTDVI: diámetro telediastólico del ventrículo izquierdo; DTSVI: diámetro telesistólico del ventrículo izquierdo; FA: fracción de acortamiento; FC: frecuencia cardíaca; FE: fracción de eyección; GCDV: gasto cardíaco del ventrículo derecho; GCVI: gasto cardíaco de ventrículo izquierdo; RVSp: resistencia vasculares pulmonares; VCS: vena cava superior; VI: ventrículo izquierdo; VTI: integral de la curva velocidad-tiempo; 2D: 2 dimensiones.

un problema hemodinámico concreto y la respuesta al tratamiento<sup>11,14</sup>. El estudio ecocardiográfico inicial debería incluir no solo el estudio funcional, sino también una valoración detallada de la anatomía que, de forma ideal, debería ser revisada por un cardiólogo en un corto espacio de tiempo<sup>11</sup>. Los equipos de ultrasonidos utilizados para la realización de la EcoFn deben estar adaptados al paciente neonatal, incluir los modos 2D, M y Doppler (color, pulsado y continuo), y contar con sondas de alta frecuencia, idealmente 8-12 MHz<sup>11</sup>.

A continuación, se revisan los componentes de la EcoFn más comúnmente utilizados y con mayor validación en el RN<sup>11-16</sup>. La técnica ecográfica y las mediciones correspondientes se recogen en la tabla 1.

1. Valoración del ductus arterioso (fig. 1): los signos clínicos del DAP son tardíos y existe poca correlación entre ellos y su presencia en los primeros días de vida. Desde un punto de vista ecográfico, es relativamente sencillo determinar su presencia y dirección, aunque son más controvertidos los criterios para determinar la significación hemodinámica del mismo:

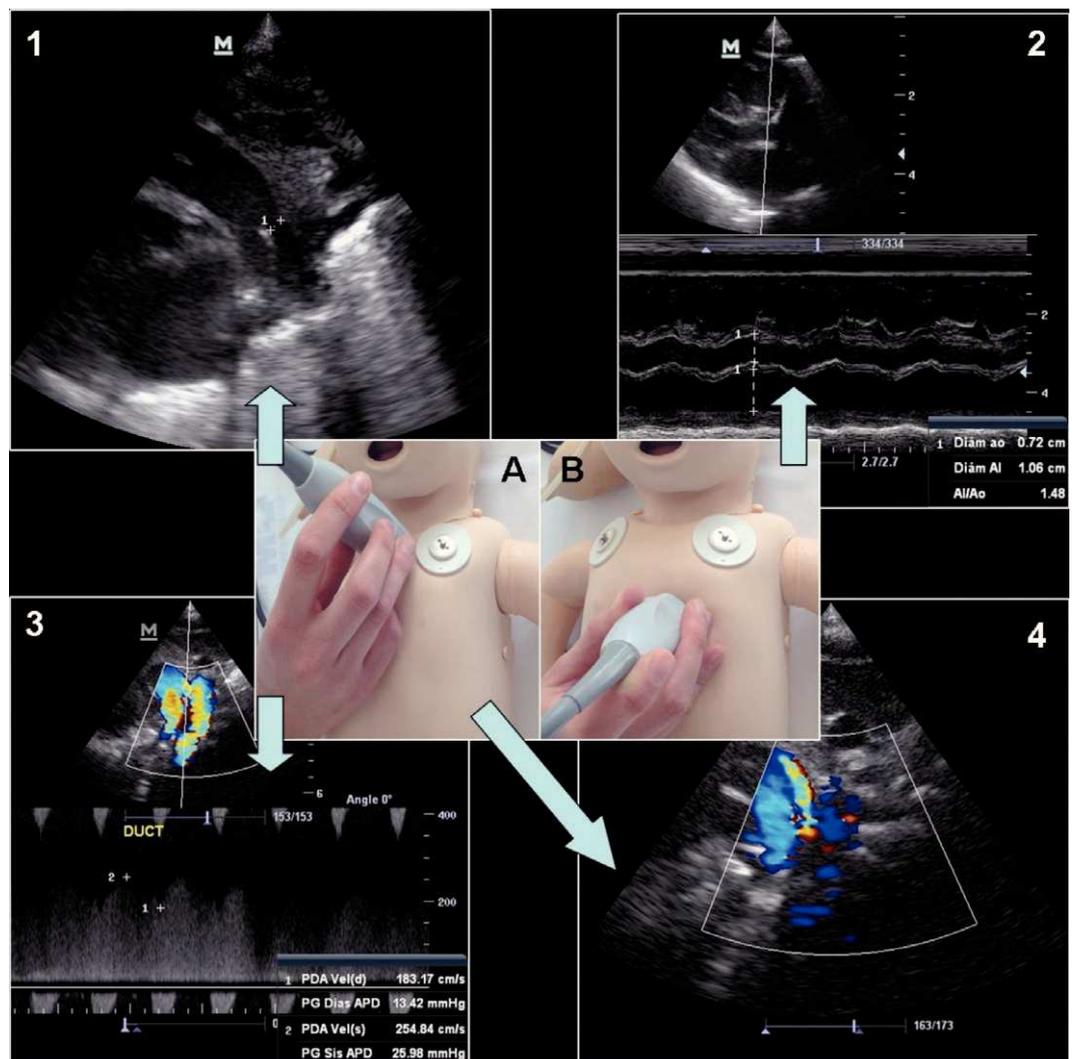
– Tamaño y dirección del ductus: en RN menores de 1.500 g al nacer, un diámetro > 1,5 mm se ha relacionado con una relación de flujo pulmonar respecto del sistémico ( $Q_p:Q_s$ )

**Tabla 2. Ecocardiografía funcional**

Quién realiza la técnica	Neonatólogo
Dónde se realiza	En la unidad de neonatología
Preparación previa	No precisa
Motivo de realización	Estudiar cómo funciona el corazón
Riesgos específicos	No existen
Beneficios	Instauración del tratamiento idóneo a cada situación clínica o valoración del efecto de uno ya iniciado

elevada<sup>14</sup>. El Doppler color permite valorar la dirección del ductus, mientras que el Doppler continuo o pulsado permite establecer la presión en la arteria pulmonar conociendo la presión sistémica.

– Hiperflujo pulmonar: se puede valorar por la medición de la relación entre aurícula izquierda y aorta (AI/Ao), el flujo diastólico en arteria pulmonar, el tamaño del ventrículo izquierdo (VI), el patrón del flujo transmitral y el gasto cardíaco (GC) del VI.



**Figura 1. Valoración del ductus arterioso.** 1) Medición del diámetro del ductus en modo 2D. 2) Medición de la relación AI/Ao en modo M. 3) Valoración del flujo del ductus mediante Doppler continuo. 4) Valoración del ductus mediante Doppler color. A) Proyección supraesternal. B) Proyección paraesternal eje largo. AI: aurícula izquierda; Ao: aorta; 2D: 2 dimensiones.

– Hipoperfusión sistémica: se puede valora mediante el flujo en vena cava superior (VCS) y el aumento de cortocircuito transductal. La alteración del flujo esplácnico o cerebral con descenso de las velocidades diastólicas y medias puede indicar repercusión del DAP<sup>14</sup>.

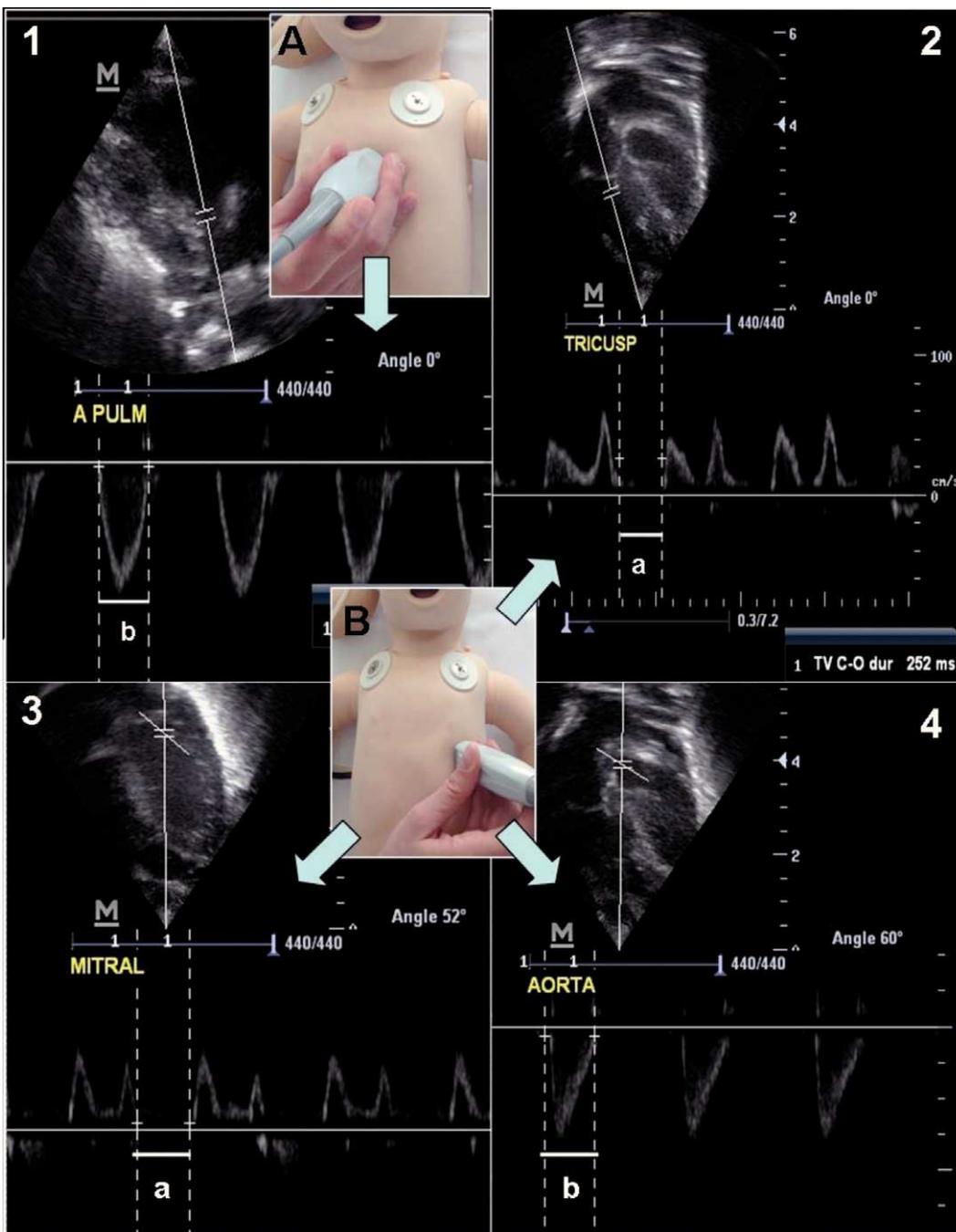
2. Valoración de cortocircuito auricular: en el RN a término, el cortocircuito izquierda-derecha auricular suele ser pequeño y transitorio, pero en prematuros puede ser de gran tamaño y más duradero. El cortocircuito auricular se valora desde la ventana subcostal en eje corto o largo. El Doppler color se emplea para determinar la dirección del cortocircuito. La presencia de un cortocircuito derecha-izquierda en ausencia de cardiopatía congénita estructural refleja un aumento en las presiones de llenado del ventrículo derecho (VD) en relación con hipertensión pulmonar e hipertrofia ventricular. El

Doppler pulsado o continuo puede ser usado para calcular la diferencia de presión a nivel de las aurículas<sup>11</sup>.

### 3. Función miocárdica:

– Función sistólica del VI: fracción de eyección y fracción de acortamiento: se basan en la medición de los diámetros tele-diastólicos y telesistólicos del VI, preferiblemente en modo M o también en 2D.

– Valoración de la función combinada del VI: la valoración de la función diastólica y sistólica del VI se puede hacer de forma sencilla mediante la utilización del índice de función miocárdica o índice Tei del VI, que tiene en cuenta los tiempos de contracción y relajación isovolumétricos corregidos para el tiempo de eyección (fig. 2). Los valores normales en RN sanos están en torno a 0,25-0,38, elevándose si existe



**Figura 2.** Valoración del índice de función miocárdica (MPI) o índice Tei de ambos ventrículos. 1) Medición mediante Doppler pulsado del TEVD representado en la imagen como la distancia b. 2) Medición mediante Doppler pulsado del tiempo de flujo tricuspídeo representado en la imagen con la distancia a. 3) Medición mediante Doppler pulsado del tiempo de flujo transmitral representado en la imagen con la distancia a. 4) Medición mediante Doppler pulsado del TEVI representado en la imagen como la distancia b. A) Proyección paraesternal eje largo. B) Proyección apical. TEVD: tiempo de eyección del ventrículo derecho; TEVI: tiempo de eyección del ventrículo izquierdo.

disfunción ventricular<sup>14</sup>. Es una medición influida por la precarga y la poscarga, por lo que su valor es limitado en pacientes inestables o con frecuencias cardíacas altas<sup>11</sup>.

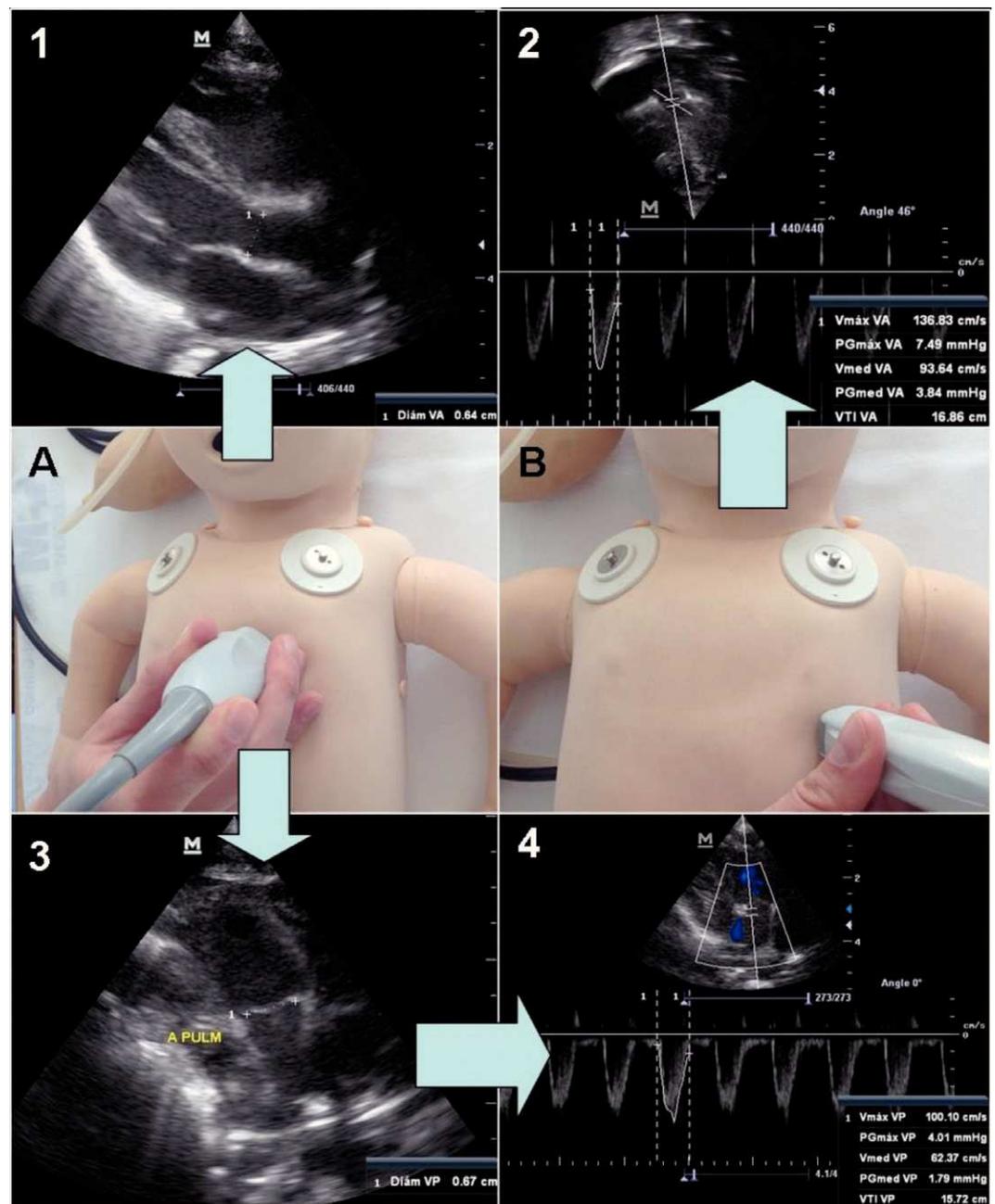
– Estimación de la función del VD: debe formar parte de la EcoFn, sobre todo en pacientes con hipertensión pulmonar. Se debe valorar, además del tamaño del VD, la función del mismo mediante la excursión sistólica del plano anular de la tricúspide<sup>11</sup>.

4. Flujo sistémico y GC: la cuantificación no invasiva del GC por ecocardiografía puede ser de gran utilidad en pacientes hemodinámicamente inestables. El flujo sanguíneo a través de un vaso depende de la velocidad media del flujo y del área transversal de ese vaso (fig. 3). Para la medición del índice cardíaco de VI o VD, se requiere la medición de la velocidad media del flujo aórtico o pulmonar y el diámetro del vaso. Los valores normales son de 170 a 320 ml/kg/min, aunque

en presencia de cortocircuitos no refleja fielmente el flujo sistémico<sup>14</sup>.

5. Medición del flujo en VCS (fig. 4): en los últimos años, se está imponiendo como marcador del flujo sistémico. Refleja el retorno venoso de la parte superior del cuerpo (4/5 del flujo es de la cabeza y el cuello) y no está influido por cortocircuitos intracardiacos<sup>14</sup>. Los valores normales son 40–120 ml/kg/min y mediciones < 40 ml/kg/min se han descrito como un factor de riesgo independiente de peor resultado en el desarrollo neurológico en grandes prematuros<sup>15</sup>.

6. Presión en arteria pulmonar: en RN con sospecha clínica de hipertensión pulmonar persistente neonatal, una vez descartada la presencia de malformación congénita cardíaca, debe realizarse una EcoFn para determinar la presión pulmonar. Igualmente, los RN prematuros con displasia



**Figura 3.** Valoración de índices de los ventrículos izquierdo y derecho. 1) Medición del diámetro de aorta en modo 2D. 2) Medición de VTI de la aorta en modo Doppler pulsado. 3) Medición del diámetro de la pulmonar en modo 2D. 4) Medición de VTI de la pulmonar en modo Doppler pulsado. A) Proyección paraesternal eje largo. B) Proyección apical (5 cámaras). VTI: integral velocidad-tiempo.

broncopulmonar e incremento progresivo de las necesidades de oxígeno pueden tener un aumento subclínico de la resistencia vasculares pulmonares (RVSp). La técnica más empleada se basa en la medición de la velocidad del chorro de regurgitación tricuspídea empleando la ecuación de Bernoulli modificada. En ausencia de obstrucción en el tracto de salida del VD, la presión sistólica del VD se corresponde con RVSp. Por tanto,  $RVSp = 4 \times \text{velocidad}^2$ . Se suele añadir 5 mmHg correspondientes a la presión en la aurícula derecha<sup>14</sup>.

Como se ha señalado anteriormente, la dirección del ductus y el gradiente de presión derivado del Doppler en casos de ductus no restrictivos puede emplearse para establecer las presiones pulmonares aplicando igualmente la ecuación de Bernoulli modificada.

### Limitaciones

No existen todavía evidencias claras de que el uso de la EcoFn se asocie a una mejoría en la evolución de los RN en la UCIN. Diversos trabajos indican un beneficio en este sentido pero son necesarios más estudios para confirmarlo<sup>8,17,18</sup>. La validez de la EcoFn depende en gran medida de la calidad técnica del estudio y esto puede ser una limitación importante en el paciente neonatal debido a su tamaño y a los problemas derivados de la ventana acústica<sup>11,19</sup>.

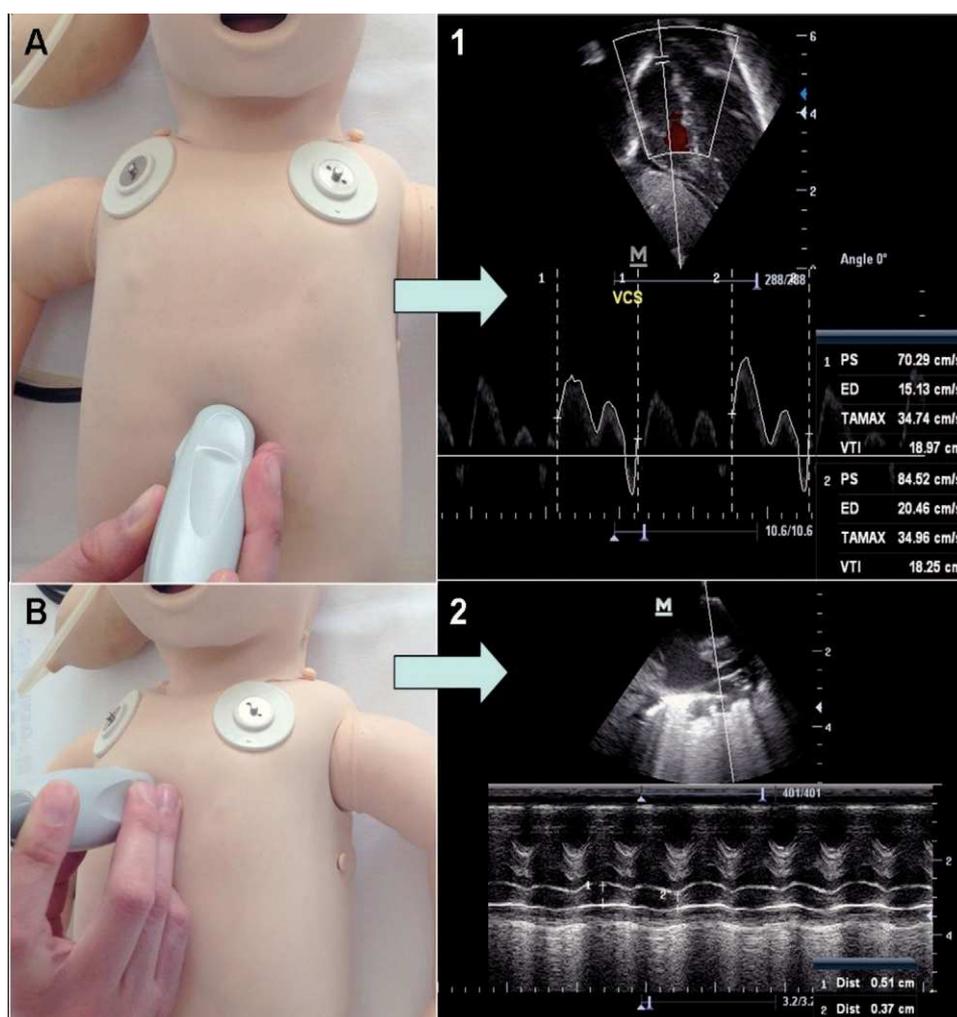
### Posibles complicaciones de la técnica

La controversia fundamental sobre la utilización EcoFn en neonatología radica en el riesgo de pasar por alto una cardiopatía congénita. Aun así, aunque el diagnóstico completo no se haga, en la mayoría de los casos su presencia es detectada en la EcoFn<sup>20,21</sup>. En cualquier caso, es necesaria una estrecha colaboración entre cardiólogos y neonatólogos, debiéndose siempre solicitar una valoración cardiológica completa en caso de duda. Esta precaución, unida a la diseminación de programas de formación y actualización bien estructurados conforme a las recomendaciones existentes, tal como ocurre en países como Australia, Nueva Zelanda, EE. UU. o Canadá, minimizaría los riesgos<sup>1,11,22,23</sup>.

### Información para el paciente (tabla 2)

– La EcoFn es una técnica no invasiva que realiza el neonatólogo a pie de cuna para la valoración de la función del corazón del RN. Junto con otros datos clínicos, puede resultar muy útil a la hora de decidir qué tratamiento es el mejor ante una situación de compromiso circulatorio, así como para valorar la respuesta a este.

– No es necesaria ninguna preparación previa. En pacientes muy inestables, al igual que ocurre con cualquier otra manipulación, el estudio ecográfico puede producir un deterioro



**Figura 4.** Medición del flujo en la VCS. A) Proyección subxifoide. 1) Cálculo mediante Doppler pulsado de VTI en VCS. B) Proyección paraesternal para visualización de VCS. 2) Cálculo del diámetro medio de VCS mediante modo M. VCS: vena cava superior, VTI: integral velocidad-tiempo.

transitorio que obligue a detener momentáneamente la exploración.

– No existen riesgos específicos derivados de la realización de la técnica.

– Si el neonatólogo que realiza la prueba lo considera necesario, se podrá solicitar la valoración complementaria de un cardiólogo pediátrico.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía



- Importante   ●● Muy importante  
■ Ensayo clínico controlado

- Kluckow M, Seri I, Evans N. **Functional echocardiography: an emerging clinical tool for the neonatologist.** *J Pediatr.* 2007;150:125-30.
- Osborn DA, Evans N, Kluckow M. Clinical detection of low upper body blood flow in very premature infants using blood pressure, capillary refill time, and central-peripheral temperature difference. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2004;89:F168-73.
- Soleymani S, Borzage M, Seri I. Hemodynamic monitoring in neonates: advances and challenges. *J Perinatol.* 2010;30 Suppl:S38-45.
- Victor S, Appleton RE, Beirne M, Marson AG, Weindling AM. The relationship between cardiac output, cerebral electrical activity, cerebral fractional oxygen extraction and peripheral blood flow in premature newborn infants. *Pediatr Res.* 2006;60:456-60.
- Nuntmarumit P, Yang W, Bada-Ellzey HS. Blood pressure measurements in the newborn. *Clin Perinatol.* 1999;26:981-96.
- Cordero L, Timan CJ, Waters HH, Sachs LA. Mean arterial pressures during the first 24 hours of life in < or = 600-gram birth weight infants. *J Perinatol.* 2002;22:348-53.
- Noori S, Stavroudis TA, Seri I. Systemic and cerebral hemodynamics during the transitional period after premature birth. *Clin Perinatol.* 2009;36:723-36.
- Sehgal A, McNamara PJ. Does point-of-care functional echocardiography enhance cardiovascular care in the NICU? *J Perinatol.* 2008;28:729-35.
- Evans N, Kluckow M. Neonatology concerns about the TNE consensus statement. *J Am Soc Echocardiogr.* 2012;25:242.
- El-Khuffash A, Herbozo C, Jain A, Lapointe A, McNamara PJ. Targeted neonatal echocardiography (TnECHO) service in a Canadian neonatal intensive care unit: a 4-year experience. *J Perinatol.* 2013. doi: 10.1038/jp.2013.42.
- Mertens L, Seri I, Marek J, Arlettaz R, Barker P, McNamara P, et al; Writing Group of the American Society of Echocardiography (ASE); European Association of Echocardiography (EAE); Association for European Pediatric Cardiologists (AEPCC). **Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training.** *Eur J Echocardiogr.* 2011;12:715-36.
- Kluckow M. Functional echocardiography in assessment of the cardiovascular system in asphyxiated neonates. *J Pediatr.* 2011;158 2 Suppl:e13-8.
- Evans N, Kluckow M, Currie A. Range of echocardiographic findings in term neonates with high oxygen requirements. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 1998;78:F105-11.
- El-Khuffash AF, McNamara PJ. **Neonatologist-performed functional echocardiography in the neonatal intensive care unit.** *Semin Fetal Neonatal Med.* 2011;16:50-60.
- Kluckow M, Evans N. Low superior vena cava flow and intraventricular haemorrhage in preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2000;82:F188-94.
- Osborn DA, Evans N, Kluckow M, Bowen JR, Rieger I. Low superior vena cava flow and effect of inotropes on neurodevelopment to 3 years in preterm infants. *Pediatrics.* 2007;120:372-80.
- O'Rourke DJ, El-Khuffash A, Moody C, Walsh K, Molloy EJ. Patent ductus arteriosus evaluation by serial echocardiography in preterm infants. *Acta Paediatr.* 2008;97:574-8.
- Jain A, Sahni M, El-Khuffash A, Khadawardi E, Sehgal A, McNamara PJ. Use of targeted neonatal echocardiography to prevent postoperative cardiorespiratory instability after patent ductus arteriosus ligation. *J Pediatr.* 2012;160:584-9.e1.
- Marcelino PA, Marum SM, Fernandes AP, Germano N, Lopes MG. Routine thoracic echocardiography in a general Intensive Care Unit: an 18 month survey in 704 patients. *Eur J Intern Med.* 2009;20:e37-42.
- Skinner JR. Echocardiography on the neonatal unit: a job for the neonatologist or the cardiologist? *Arch Dis Child.* 1998;78:401-2.
- Whitehall J. Echocardiography by a neonatologist. *Arch Dis Child.* 1999;80:580-1.
- Evans N. Echocardiography on neonatal intensive care units in Australia and New Zealand. *J Paediatr Child Health.* 2000;36:169-71.
- Evans N, Gournay V, Cabanas F, Kluckow M, Leone T, Groves A, et al. **Point-of-care ultrasound in the neonatal intensive care unit: international perspectives.** *Semin Fetal Neonatal Med.* 2011;16:61-8.