

Valoración hemodinámica por ultrasonido

Carolina González Miño⁽¹⁾, Ignacio Oulego Erroz⁽²⁾, Raúl Montero Yéboles⁽³⁾,
Bárbara C. Fernández-Barrio⁽⁴⁾, Daniel Palanca Arias⁽⁵⁾, Susana Reyes Domínguez⁽⁶⁾,
José Luis López-Prats⁽⁷⁾, Elia Valderrabano⁽⁸⁾, José Luis Vázquez Martínez⁽⁹⁾

⁽¹⁾Hospital General Universitario de Castellón. Castellón de la Plana

⁽²⁾Complejo Asistencial Universitario León. León

⁽³⁾Hospital Universitario Reina Sofía. Córdoba

⁽⁴⁾Hospital Universitario Central de Asturias. Oviedo

⁽⁵⁾Hospital Universitario Miguel Servet. Zaragoza

⁽⁶⁾Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca. Murcia

⁽⁷⁾Hospital Clínico Universitario de Valencia. Valencia

⁽⁸⁾Hospital Universitario Virgen del Rocío. Sevilla

⁽⁹⁾Hospital Universitario Ramón y Cajal. Madrid

González Miño C, Oulego Erroz I, Montero Yéboles R, Fernández-Barrio BC, Palanca Arias D, Reyes Domínguez S, et al. Valoración hemodinámica por ultrasonido. *Protoc diagn ter pediatr*. 2021;1:483-97.



RESUMEN

La ecografía a pie de cama ha demostrado ser una herramienta útil en la evaluación de la función hemodinámica. Permite valorar múltiples aspectos de la función cardiaca (contractilidad, función diastólica, precarga, existencia de hipertensión pulmonar, etc.). Se trata de una herramienta cuya aplicación es no invasiva y puede ser empleada de manera repetida por el clínico, de modo que sirva para guiar el tratamiento de pacientes con inestabilidad hemodinámica. Requiere un abordaje sistemático mediante el empleo de las ventanas y los planos preestablecidos que permitan la reproductibilidad de las mediciones y la estandarización de las evaluaciones realizadas.

Palabras clave: ecografía en el punto de cuidado; *shock*; corazón; hemodinámica.

Point of care ultrasound in hemodynamic evaluation

ABSTRACT

Bedside ultrasound has proven to be a useful tool in evaluating hemodynamic function. It allows evaluating multiple aspects of cardiac function (contractility, diastolic function, preload, existence of pulmonary hypertension, etc.). It is a tool whose application is non-invasive

and can be used repeatedly by the clinician in order to guide the treatment of patients with hemodynamic instability. It requires a systematic approach through the use of preset windows and plans that allow the reproducibility of the measurements and the standardization of the evaluations carried out.

Key words: point of care ultrasound; shock; heart; hemodynamics.

1. PLANOS ECOCARDIOGRÁFICOS EN LA UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS PEDIÁTRICOS

- Subcostal largo (SLAX) y corto (SSAX).
- Paraesternal largo y corto (PLAX y PSAX).
- Apical (4 y 5 C).
- Supraesternal.
- Pulmonar.

2. ADAPTACIÓN DE *FOCUSED CARDIAC ULTRASOUND (FOCUS)* EN PEDIATRÍA

Véase **Figura 1**.

3. EVALUACIÓN ECOGRÁFICA: RESPUESTA A LÍQUIDOS

Véase **Figura 2**.

4. MONITORIZACIÓN DE LA FUNCIÓN SISTÓLICA

4.1. Evaluación cualitativa (apical, SC, PLAX, PSAX)

Normal si:

- Simétrica/concéntrica.

- Engrosamiento sistólico miocárdico.
- Movimiento de apertura valvular mitral adecuado.

4.2. Evaluación cuantitativa

- Fracción de eyección (PLAX y PSAX).
- Método Simpson (apical 4C y 2C).
- Desplazamiento anterior del anillo mitral (MAPSE) (apical 4C).

4.3. Gasto cardiaco

- Diámetro del tracto de salida del ventrículo izquierdo (DTSVI) (PLAX).
- Integral tiempo-velocidad (ITV) del flujo aórtico (Doppler en apical 5C, SC 5C, supraesternal largo).
- $(DTSVI/2)^2 \times ITV \times FC$ (frecuencia cardiaca) = Vol. sist. $\times FC$ = gasto cardiaco (GC) (l/min).

5. DISFUNCIÓN DIASTÓLICA DEL VENTRÍCULO IZQUIERDO

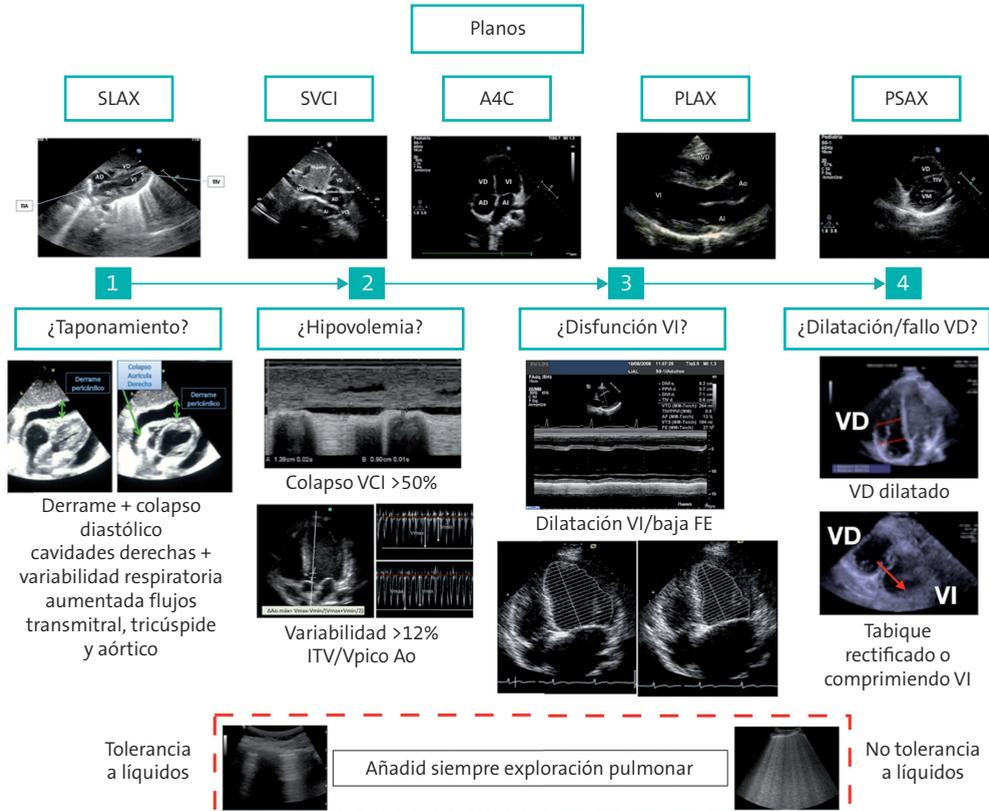
5.1. Doppler transmitral

Véase **Figura 3**.

5.2. Doppler tisular

Véase **Figura 4**.

Figura 1. Planos de exploración ecocardiográficos



A4C: apical 4C; **Ao:** aorta; **FE:** fracción de eyección; **ITV:** integral tiempo-velocidad; **SLAX:** subcostal largo; **SSAX:** subcostal corto; **SVCI:** subcostal vena cava inferior; **PLAX:** paraesternal largo; **PSAX:** paraesternal corto; **VCI:** vena cava inferior; **VD:** ventrículo derecho; **VI:** ventrículo izquierdo; **Vpico:** velocidad pico.

6. EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN DEL VENTRÍCULO DERECHO

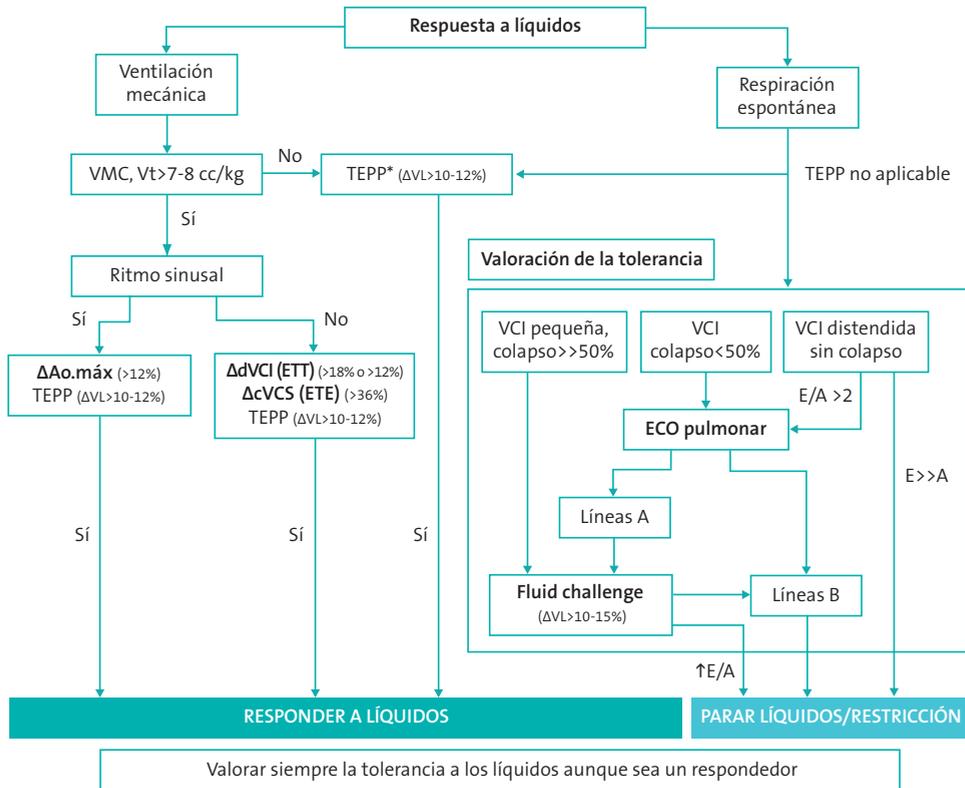
Véanse **Figura 5** y **Tabla 1**.

7. EVALUACIÓN DE LA POSCARGA

7.1. Poscarga derecha: presiones pulmonares (Tabla 2)

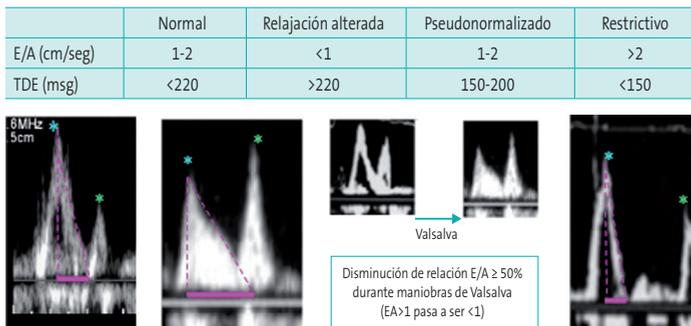
- Relación tamaño AP/Ao.
- Tamaño de vena cava inferior y colapsabilidad.
- PAP sistólica: Doppler en IT.
- PAP media y diastólica. Doppler en IP.
- Función del VD.
- Derrame pericárdico: mal pronóstico.

Figura 2. Respuesta a líquidos



Ao: aorta; cVCS: vena cava superior; dVCI: diámetro de la vena cava inferior; E/A: onda E/onda A; ETE: ecocardiograma transesofágico; ETT: ecocardiograma; TEPP: test de elevación pasiva de las piernas; VCI: vena cava inferior; VL: volumen latido; VMC: volumen minuto cardiaco; Vt: volumen corriente.

Figura 3. Medición de la función diastólica del ventrículo izquierdo con Doppler transmitral



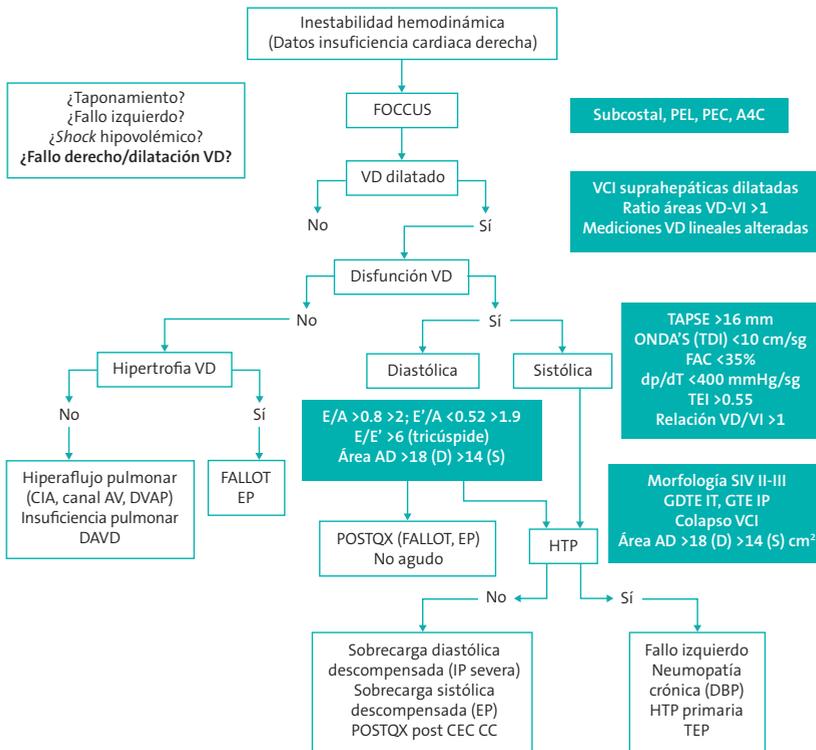
E/A: onda E/onda A; TDE: tiempo de desaceleración de la onda E.

Figura 4. Medición de la función diastólica del ventrículo izquierdo con Doppler tisular



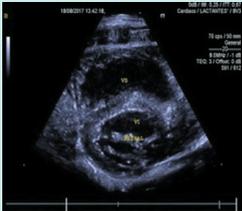
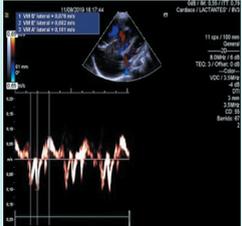
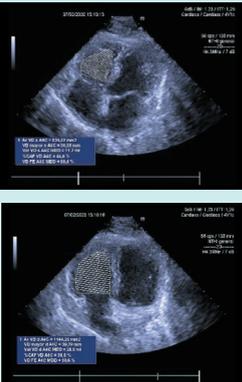
E/E' : onda E/onda E'.

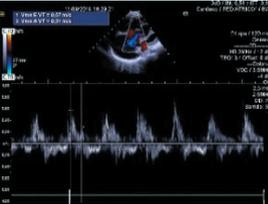
Figura 5. Valoración del ventrículo derecho (función sistólica y diastólica)

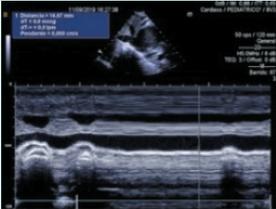


A4C: apical 4C; **AD:** aurícula derecha; **CC:** cardiopatía congénita; **CEC:** circulación extracorpórea; **CIA:** comunicación interauricular; **DAVD:** displasia arritmogénica del ventrículo derecho; **DBP:** displasia broncopulmonar; **dp/dt:** índice Doppler; **DVAD:** displasia *ventricular* arritmogénica derecha; **DVAP:** drenaje venoso anómalo parcial; **E/A:** onda E/onda A; **E/E' :** onda E/onda E'; **EP:** estenosis pulmonar; **FAC:** fracción de acortamiento; **GTE.:** gradiente; **HTP:** hipertensión pulmonar; **IP:** insuficiencia pulmonar; **IT:** insuficiencia tricusípide; **PEC:** paraesternal eje corto; **PEL:** paraesternal eje largo; **SIV:** septo interventricular; **TAPSE:** componente longitudinal de la contracción; **TDI:** Doppler tisular; **TEI:** índice Tei o de desempeño miocárdico; **TEP:** tromboembolia pulmonar; **VCI:** vena cava inferior; **VD:** ventrículo derecho; **VI:** ventrículo izquierdo.

Tabla 1. Evaluación ecocardiográfica del ventrículo derecho

Evaluación ecocardiográfica de la función sistólica del VD				
Imagen	Exploración	Ventajas	Inconvenientes	Valores patológicos
Curvatura septal normal 	PSAX 2D	Fácil	Cualitativo	Tipo II Tipo III
TAPSE (mm) 	A4C 2D Modo M Porción lateral de anillo tricúspideo	Z-score Cuantitativo Valor pronóstico establecido Rápido Reproducible	Ángulo dependiente Representa parcialmente fx global del VD No medidas en CC Precarga dependiente	<16 Z-score <-2 = disfunción
Onda S' TDI (cm/s) 	A4C TDI Lateral tricúspideo, onda sistólica	Fácil Reproducible	Ángulo dependiente No representa totalmente fx global del VD	Neonatos <6 Niños <8 Adultos <10
FAC (%) $(DDVD - DSVD/DDVD) \times 100$ 	A4C (telesístole y telediástole), 2D, área VD Incluir trabéculas, músculos papilares y banda moderadora	Valor pronóstico correlación por RMN con FEVD Fácil de medir si se obtiene un buen trazado	Poca reproducibilidad interobservador No incluye TSVD a la fx del VD Es necesaria una buena ventana	<35%

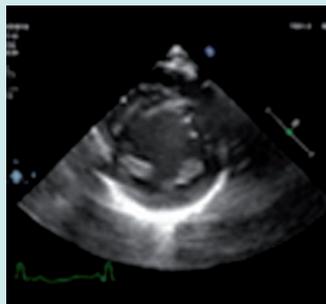
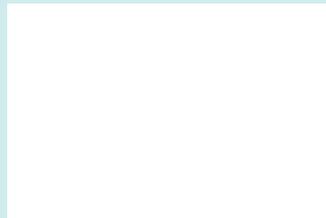
<p>dP/dt (mmHg/s) 1 à 2 m/s</p> 	<p>A4C Color</p>	<p>Fácil</p>	<p>Requiere IT moderada No suele estar configurado (1-2 m/s) y si el valor entre (1-3)</p>	<p><400</p>
<p>TEI</p>	<p>A4C TDI Lateral anillo tricuspídeo, PW o TDI PSAX (plano valvular) 2D, TSVD</p>	<p>Independiente de precarga Útil si hay mala ventana acústica Menos afectado por FC</p>	<p>Poco fiable si presión en la AD es alta Si taquicardia es de difícil medición Complejo Menos práctico</p>	<p>>0,55 (TDI) >0,36 (PW)</p>
<p>TAC (μs)</p> 	<p>PSAX 2D Color AP (flujo pulmonar)</p>	<p>Si no hay IT es buen parámetro Estimar la presión del VD Relación demostrada (TAC-PAP media, presión sistólica y gradiente IT)</p>	<p>Depende de FC (taquicardia = acorta) y de la función sistólica del VD (disfunción = alarga)</p>	<p><124</p>
<p>Evaluación ecocardiográfica de la función diastólica del VD</p>				
<p>E/A tricuspídeas</p> 	<p>A4C Lateral tricuspídeo, PW</p>	<p>Sencillo Valores ped. según superficie corporal</p>	<p>Fusión de ondas si taquicardia</p>	<p><0,8 o >2</p>

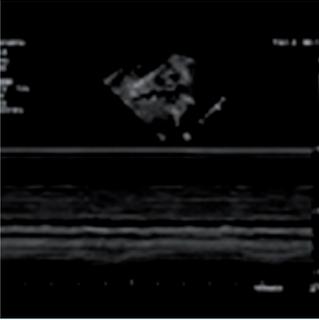
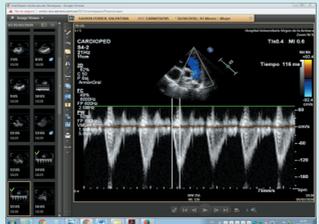
<p>VD Tracto de salida proximal (rojo) y distal (amarillo) (mm)</p> 	<p>PSAX 2D Telediástole Aorta con tres velos</p>	<p>Fácil Rápido</p>	<p>Errores en medición por morfología del VD y tórax Proximal menos reproducible que el distal</p>	<p>>35 (proximal) >27 (distal)</p>
<p>Dilatación de VCI</p> 	<p>Subcostal, eje de cavas, 2 cm separado de entrada en la AD</p>	<p>Sencillo Estima PVC</p>	<p>Evitar movimientos del transductor Con VMNI o VMC, precaución con valores</p>	<p>Colapso nulo sin variación respiratoria</p>
<p>Área de la AD (cm²)</p> 	<p>A4C 2D Telesístole antes de apertura de tricúspide sin contar el área del anillo</p>	<p>Sencillo Tener en cuenta unidades</p>	<p>Indexada en cm² se correlaciona con capacidad funcional, biomarcadores elevados y peor pronóstico en niños con HTP</p>	<p>>18 (d) >9 (s)</p>
<p>Área del VD (cm²)</p> 	<p>A4C Telesístole o telediástole Trabéculas, músculos papilares y banda moderadora incluidos</p>	<p>Sencillo</p>	<p>Infra- o sobreestimación en función de la imagen obtenida</p>	<p>>25 (d) >14 (s)</p>

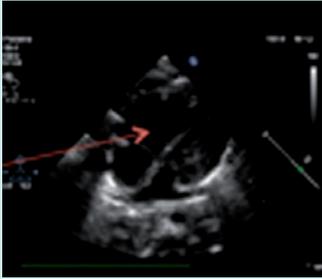
Relación área VD/VI 	A4C 2D	Sencillo	Infra- o sobreestimación en función de la imagen obtenida	Dilatado >0,6 (neo >1), dilatación moderada del VD 0,6-0,9 (neo 1-1,2) y dilatación grave >0,9 (neo >1,2)
--	-----------	----------	---	---

A4C: apical 4C; **AP:** arteria pulmonar; **CC:** cardiopatía congénita; **DDVD:** diámetro diastólico del ventrículo derecho; **dp/dt:** índice Doppler; **DSVD:** diámetro sistólico del ventrículo derecho; **E/A:** onda E/onda A; **E'/A':** onda E'/onda A'; **E/E':** onda E/onda E'; **FAC:** fracción de acortamiento; **FC:** frecuencia cardíaca; **FEVD:** fracción de eyección del ventrículo derecho; **fx:** función; **HTP:** hipertensión pulmonar; **IT:** insuficiencia tricuspídea; **PAP:** presión de arteria pulmonar; **PC:** contraste de fase; **ped.:** PSAX: paraesternal corto; **PVC:** presión venosa central; **PW:** Doppler pulsado; **RMN:** resonancia magnética nuclear; **TAC:** tiempo de aceleración; **TAPSE:** componente longitudinal de la contracción; **TDI:** Doppler tisular; **TEI:** índice Tei o de desempeño miocárdico; **TSVD:** tracto de salida del ventrículo derecho; **VCI:** vena cava inferior; **VD:** ventrículo derecho; **VI:** ventrículo izquierdo; **VMC:** ventilación mecánica; **VMNI:** ventilación mecánica no invasiva.

Tabla 2. Poscarga del ventrículo derecho: hipertensión pulmonar

Imagen	Exploración	Ventajas	Inconvenientes	Valores patológicos
Morfología septo interventricular 	PSAX 2D	Fácil	Cualitativo	Tabique tipo II o III
PAP sistólica: gradiente IT 	A4C Doppler continuo sobre IT	Es importante alinear el Doppler en IT	Presencia de IT No aplicable en ausencia de EP, obstrucción a la salida del VD, IT grave	RVSP >40 mmHg

<p>Diámetro y colapso inspiratorio en vena cava inferior</p> 	<p>Subcostal, eje de cavas</p>	<p>Fácil</p>	<p>Menos fiable en VMI o VMNI</p>	<p><50% o ausencia de colapso durante la inspiración</p>
<p>PAP media y diastólica: gradiente IP</p> 	<p>4C Doppler continuo sobre IP</p>	<p>PAP media = $(4 \times V_{\text{pico}})^2 + \text{PVC}$</p>	<p>Infraestimado si IP grave</p>	<p>PAP media >25 mmHg Vpico >2,2 m/s</p>
<p>Área de la AD (cm²)</p> 	<p>4C Telesístole</p>	<p>Fácil</p>		<p>>9 (s)</p>
<p>TAC (μs)</p> 	<p>PSAX 2D Color AP (flujo pulmonar)</p>	<p>Sí no hay IT Relación demostrada (TAC-PAP media, presión sistólica y gradiente IT).</p>	<p>Depende de FC (taquicardia = acorta) y de la función sistólica del VD (disfunción = alarga)</p>	<p>< 90 μs</p>

<p>Dilatación del VD</p> 	<p>A4C 2D Telediástole</p>		<p>Depende de precarga</p>	<p>Aumento de tamaño con respecto al izquierdo</p>
<p>Función del VD: TAPSE (mm)</p> 	<p>A4C 2D Modo M, porción lateral del anillo tricúspideo</p>	<p>Z-score cuantitativo Rápido Reproducible</p>	<p>Ángulo dependiente No medidas en CC Precarga dependiente</p>	<p><16 Z-score <-2 = disfunción</p>
<p>Derrame pericárdico</p> 	<p>Subcostal</p>	<p>Rápido Fácil</p>		<p>Signo de gravedad</p>
<p>Relación AP/Ao</p> 	<p>PSAX 2D Telediástole Medir entre la válvula pulmonar y la bifurcación de las ramas</p>			<p>AP > Ao Diámetro AP >25 mm</p>

A4C: apical 4C; **AD:** aurícula derecha; **Ao:** aorta; **AP:** arteria pulmonar; **CC:** cardiopatía congénita; **EP:** estenosis pulmonar; **FC:** frecuencia cardíaca; **IP:** insuficiencia pulmonar; **IT:** insuficiencia tricúspidea; **PAP:** presión de arteria pulmonar; **PSAX:** paraesternal eje corto; **PVC:** presión venosa central; **RVSP:** presión sistólica ventricular derecha; **TAC:** tiempo de aceleración; **TAPSE:** componente longitudinal de la contracción; **VD:** ventrículo derecho; **VMI:** ventilación mecánica invasiva; **VMNI:** ventilación mecánica no invasiva; **Vpico:** velocidad pico.

7.2. Poscarga izquierda: presiones sistémicas

- Doppler mitral (RVS).
- Doppler carotídeo.
- Función VI.

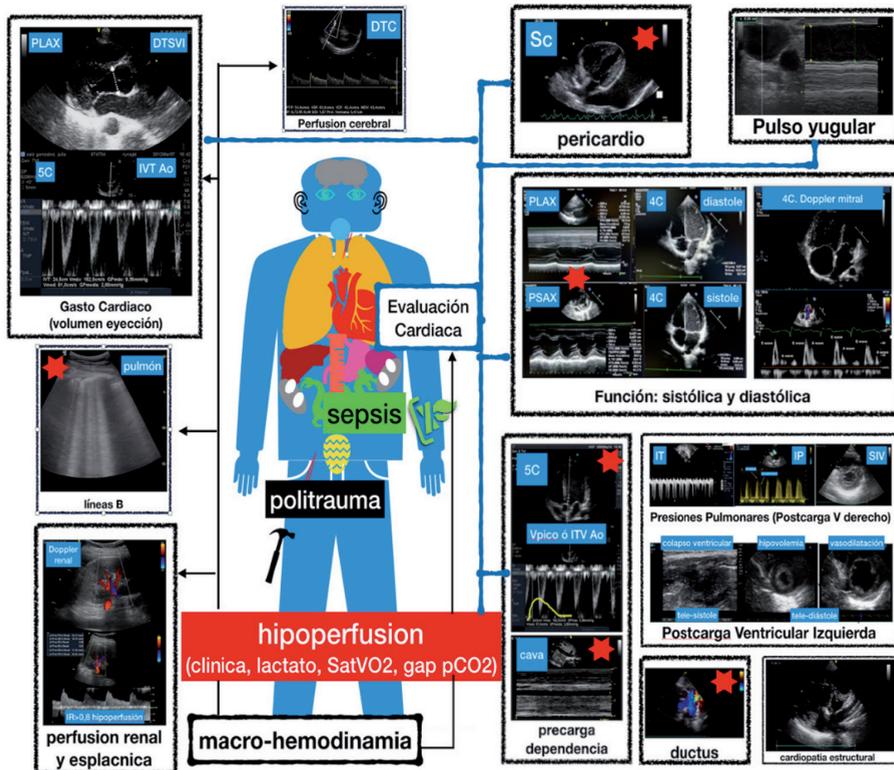
- Reducción de llenado del VI.
- Variabilidad respiratoria incrementada en flujos tricuspídeo, mitral y aórtico.
- Sospecha de vena cava inferior dilatada y sin colapsabilidad.

8. PERICARDIO

- Derrame no significa taponamiento.
- Taponamiento:
 - Colapso AD/VD diastólico.

- Exploración:
 - SCAX.
 - Apical 4C.
- Pericardiocentesis: ecoguiada.

Figura 6. Utilidad del FoCUS en la monitorización macrohemodinámica



Ao: aorta; DTC: Doppler transcranial; DTSVI: diámetro del tracto de salida del ventrículo izquierdo; IP: insuficiencia pulmonar; IR: índice de resistencia; IT: insuficiencia tricuspídea; ITV: integral tiempo-velocidad; PLAX: paraesternal largo; PSAX: paraesternal corto; Sc: SIV: septo interventricular; Vpico: velocidad pico.

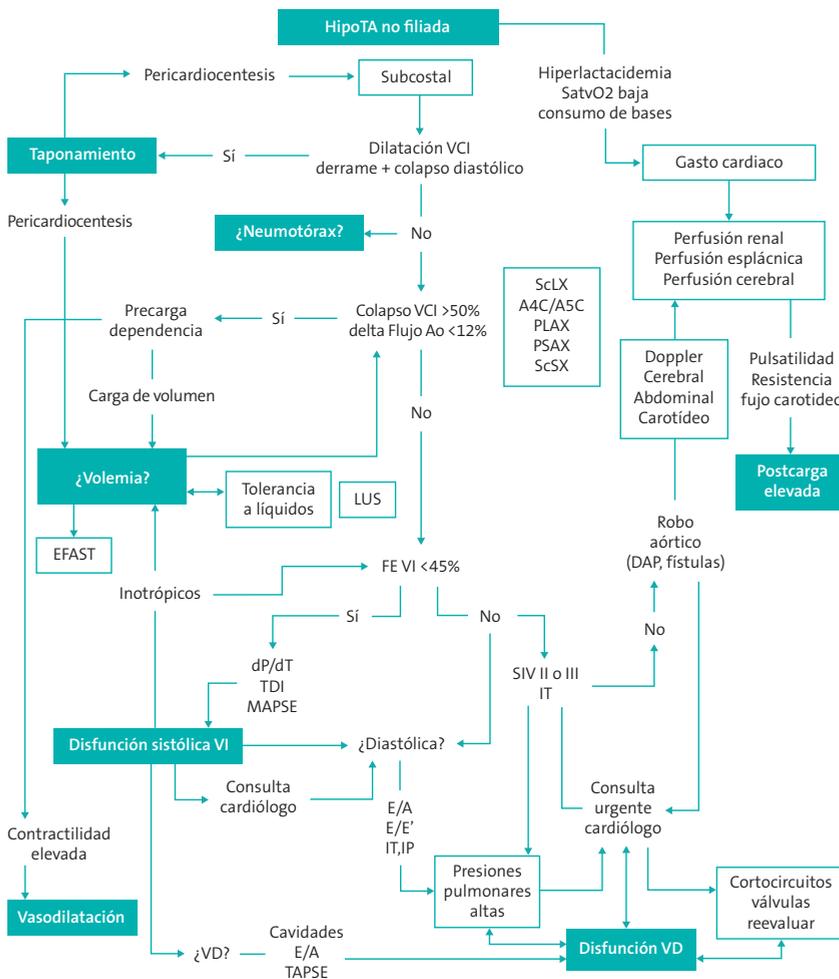
9. MONITORIZACIÓN ECOGRÁFICA: ESTADO DE PERFUSIÓN SISTÉMICA

10. MANEJO ECOGUIADO DE HIPOTENSIÓN ARTERIAL NO FILIADA

Véase **Figura 6**.

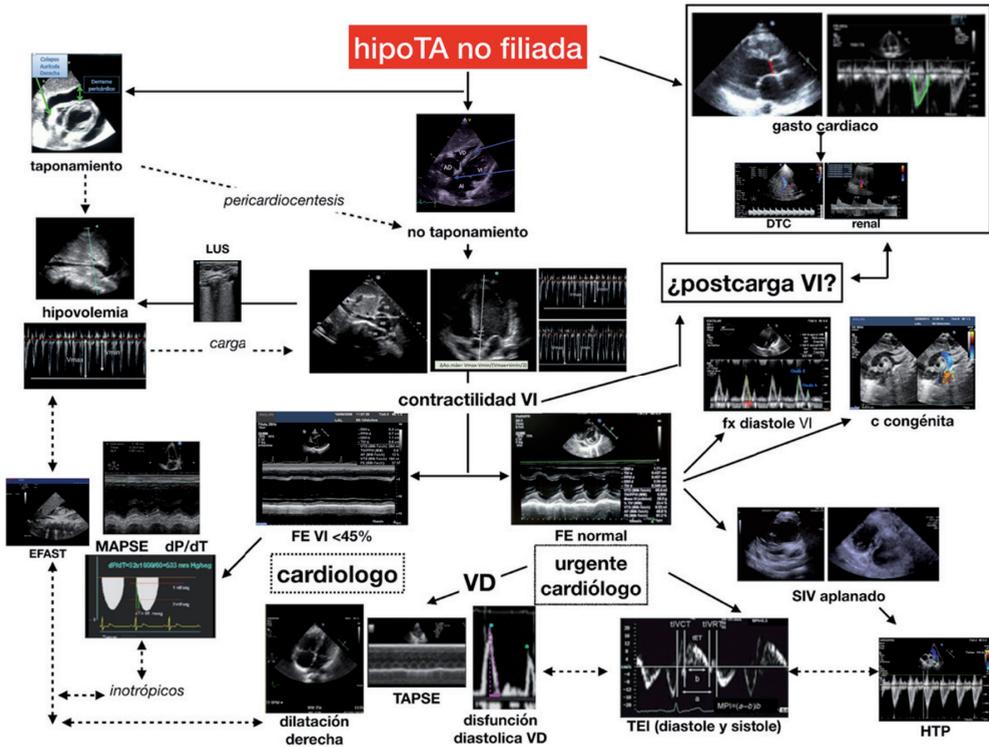
Véanse las **Figuras 7 y 8**.

Figura 7. Hipotensión arterial no filiada (1)



A4C: apical 4C; **A5C:** apical 5C; **Ao:** aorta; **DAP:** ductus arterioso persistente; **dP/dT:** índice Doppler; **E/A:** onda E/onda A; **E/E':** onda E/onda E'; **EFAST:** extended FAST (*Focused Assessment with Sonography for Trauma*); **FE:** fracción de eyección; **IP:** insuficiencia pulmonar; insuficiencia tricuspídea; **IT:** insuficiencia pulmonar; **LUS:** Lung Ultrasound Score; **MAPSE:** desplazamiento anterior del anillo mitral; **PLAX:** paraesternal largo; **PSAX:** paraesternal corto; **ScLX:** plano subcostal cuatro cámaras; **ScSX:** plano subcostal eje corto; **SIV:** septo interventricular; **TA:** tensión arterial; **TAPSE:** componente longitudinal de la contracción; **TDI:** Doppler tisular; **VCI:** vena cava inferior; **VD:** ventrículo derecho; **VI:** ventrículo izquierdo.

Figura 8. Hipotensión arterial no filiada (2)



dP/dT: índice Doppler; **DTC**: Doppler transcraneal; **EFAS**: *extended FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma)*; **FE**: fracción de eyección; **HTP**: hipertensión pulmonar; **LUS**: *Lung Ultrasound Score*; **MAPSE**: desplazamiento anterior del anillo mitral; **SIV**: septo interventricular; **TA**: tensión arterial; **TAPSE**: componente longitudinal de la contracción; **TEI**: índice Tei o de desempeño miocárdico; **VI**: ventrículo izquierdo.