

Revisión Narrativa

Terapia de fluidos guiada por ecografía en el paciente crítico pediátrico: integrando tolerancia y respuesta a fluidos

Ultrasound-guided fluid therapy in the critically ill pediatric patient: integrating fluid tolerance and response

Javier Ponce ^{1, 2}, Evelyn Obando ³, Eduardo Tomas Alvarado ^{1, 4}, Edgardo Banille ⁵, Pablo Bravo ⁶, Leonel M. Fuentes G. ^{1, 7}, Mauricio Cantillano ^{1, 8}, Alfredo Rodríguez-Portelles ^{1, 9}, David Pascual Rojas Flores ^{1, 10}, Jaime Fernández-Sarmiento ¹¹.

¹ Miembro fundador del Grupo para la docencia. Investigación en Ecografía Multisistémica Pediátrica USPed Latinoamérica.

² Hospital G. Rawson. San Juan, Argentina.

³ Fundación Santa Fe de Bogotá, Instituto Roosevelt, Universidad de La Sabana, Universidad de los Andes. Colombia.

⁴ IMSS, Instituto Mexicano del Seguro Social, Mexico.

⁵ Hospital Privado Universitario de Córdoba, Córdoba, Argentina.

⁶ Jefe UPC Pediátrica Hospital San Juan de Dios., Santiago de Chile, Chile.

⁷ Hospital de Pediatría S.A.M.I.C. "Prof. Dr. Juan P. Garrahan", CABA, Argentina.

⁸ Hospital del norte Instituto Hondureño de seguridad social San Pedro Sula, Honduras.

⁹ Hospital Metropolitano de Quito, Ecuador.

¹⁰ Instituto Mexicano del Seguro Social, México.

¹¹ Departamento de Pediatría y Cuidado Intensivo Pediátrico. Universidad de La Sabana. Fundación Cardioinfantil-Instituto de Cardiología. Bogotá, Colombia.

Editor

Gerardo Alberto Solís Pérez , Arturo Vázquez Peralta .

Chair

Jorge M Antolinez-Motta .

Abstract

Optimal intravenous fluid administration in critically ill patients is essential for effective hemodynamic management, particularly during episodes of shock. Over time, fluid resuscitation strategies have evolved from liberal approaches to restrictive and individualized methods in order to prevent both hypovolemia and fluid overload, especially considering that only about 50% of critically ill patients are truly fluid responsive. Point-of-care ultrasound (POCUS) has emerged as a valuable, noninvasive bedside tool for assessing intravascular volume status and real-time hemodynamics. Several ultrasound-based techniques can be used, including cardiac

ultrasound to evaluate preload, contractility, and afterload; lung ultrasound to detect pulmonary edema; and the Venous Excess Ultrasound Score (VExUS) to assess visceral venous congestion. These ultrasound assessments provide essential information on fluid responsiveness, right ventricular function, and tolerance to additional fluid administration. This enables clinicians to optimize fluid therapy while minimizing complications related to fluid overload. The integration of POCUS into clinical practice improves the ability of pediatric intensivists to tailor treatments to each patient's hemodynamic profile, ultimately enhancing clinical outcomes. The combination of ultrasound and hemodynamic evaluation opens new possibilities for precision fluid management in the resuscitation of critically ill pediatric patients.

Keywords

Fluid Therapy; Shock; Hemodynamics; Critical Illness; Ultrasonography; Point-of-Care Systems; Pediatrics.

Resumen

La administración óptima de fluidos intravenosos en pacientes críticos es fundamental para el manejo y monitoreo hemodinámico, especialmente durante episodios de shock. Este enfoque ha evolucionado de estrategias de reanimación líquida liberada a métodos restrictivos e individualizados, con el fin de evitar tanto hipovolemia como la sobrecarga hídrica. La ecografía en el punto de atención (POCUS) en la actualidad es una herramienta no invasiva y con múltiples protocolos que nos ayudan en una mejor aproximación clínica. Se destacan diversas técnicas ecográficas, incluyendo la evaluación de la función cardíaca (precarga, contractilidad y poscarga), así como la ecografía pulmonar y la valoración de la congestión vascular visceral mediante el protocolo VExUS. Estos métodos proporcionan información crítica sobre la tolerancia a fluidos, la respuesta a los mismos y el estado de la función ventricular, lo que es esencial para optimizar la terapia de fluidos y minimizar complicaciones asociadas a estados de hipovolemia, hipervolemia o mala distribución de volumen circulante. La interacción entre la ecografía y la evaluación hemodinámica tradicional es fundamental para una atención personalizada de la reanimación de pacientes pediátricos críticos.

Palabras clave

DeCS/MeSH: Terapia con Líquidos; Choque; Hemodinámica; Enfermedad Crítica; Ultrasonografía; Sistemas en el Punto de Atención; Pediatría.

Abreviaturas

ACM	Arteria cerebral media
AMS	Arteria mesentérica superior
DAP	Ductus arterioso persistente
DTC	Doppler Transcraneal
DTI	Doppler tisular
DVNO	Diámetro de la Vaina del Nervio Óptico
E/e'	Relación entre onda E transmitral y onda e' del Doppler tisular
ETT	Ecocardiografía transtorácica
FA	Fracción de acortamiento
FE	Fracción de eyección
FR	Respuesta a fluidos (Fluid responsiveness)

FT Tolerancia a fluidos (Fluid tolerance)

FTc Tiempo de flujo corregido (Corrected flow time)

FLUID Focused liquid ultrasonography in dropsy

GC Gasto cardíaco

GIP Síndrome de aumento global de la permeabilidad

HIA Hipertensión intraabdominal

MAPSE Excursión sistólica del anillo mitral (Mitral Annular Plane Systolic Excursion)

PI Índice de pulsatilidad

PIA Presión intraabdominal

POCUS Ecografía en el punto de atención (Point-of-care ultrasound)

REDplus Estrategia de Resucitación, Equilibrio y Desescalada incluyendo POCUS

S Onda S del Doppler tisular

SH Sobrecarga hídrica

TAPSE Excursión sistólica del anillo tricuspídeo (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion)

TRRC Terapia de reemplazo renal continua

UCIP Unidad de cuidados intensivos pediátricos

USCaPeD Ultrasonido Cardíaco Pediátrico Dirigido

VCI Vena cava inferior

VD Ventrículo derecho

VExUS Protocolo de exceso venoso por ultrasonido (Venous Excess Ultrasound Score)

VI Ventrículo izquierdo

VTI Ao Integral de velocidad tiempo aórtico

VTIc Integral de velocidad tiempo carotídea

Introducción

El aporte hídrico endovenoso es parte fundamental del manejo en el paciente crítico pediátrico, especialmente en estados de shock. Es necesario entender la fisiología y los requerimientos hídricos de acuerdo con la edad y el peso. También es esencial comprender que, en muchos pacientes en estado crítico, predomina un estado proinflamatorio, con mayor permeabilidad capilar producto de la alteración de la glicocalix que conllevan a un paso del líquido intravascular hacia el espacio intersticial y celular¹.

Hace algunas décadas se recomendaba una reposición liberal de fluidos, con la consecuente hipervolemia asociada a mayor morbilidad e incluso mortalidad en diferentes publicaciones^{2,3}.

El Síndrome de Aumento Global de la Permeabilidad (GIPS) es un estado fisiopatológico asociado a la progresión hacia la disfunción multiorgánica, caracterizado por una pér-

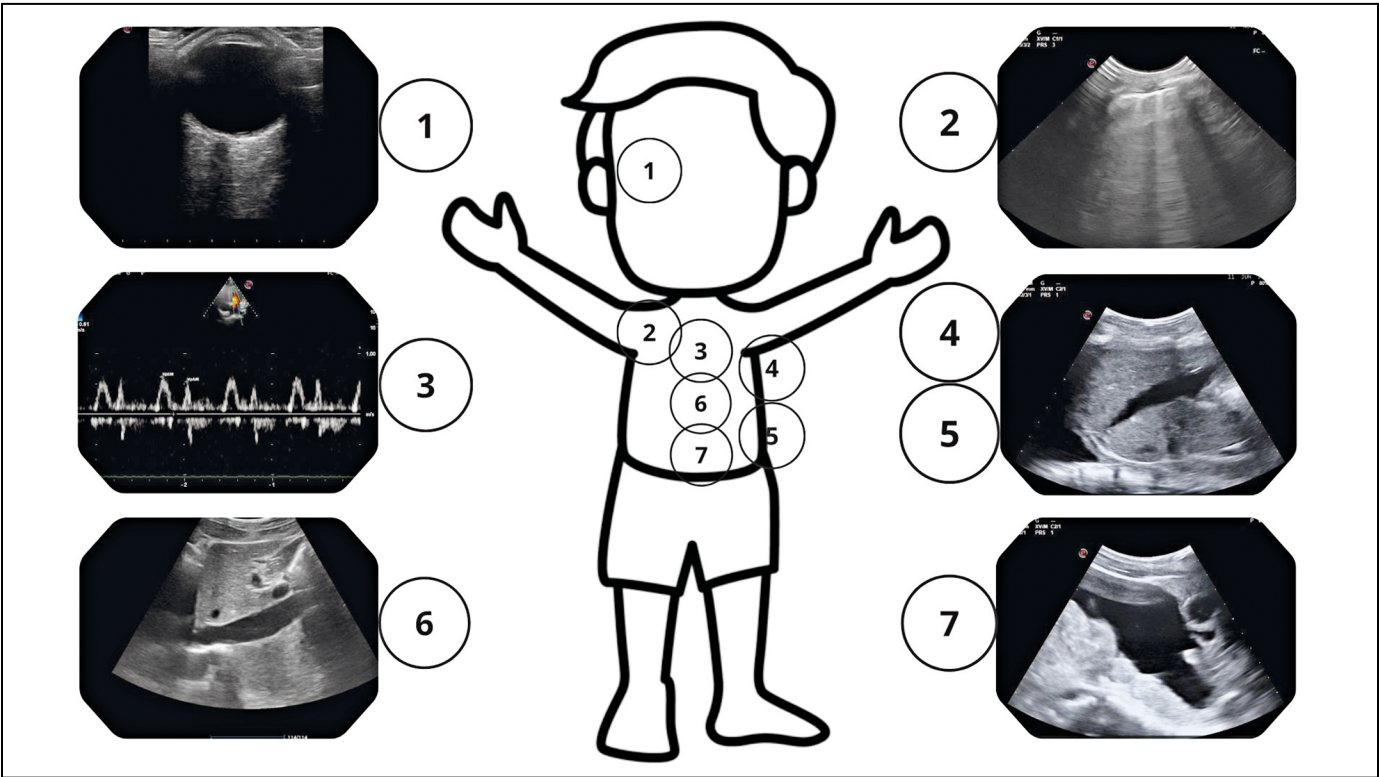


Figura 1. Evaluación sistémica de sobrecarga hídrica y ecografía: en la siguiente figura se muestran imagen diferentes tipografías y hallazgos sugerentes obtenidos en sobrecarga hídrica 1. Aumento del diámetro de la vaina de nervio óptico; 2. líneas B pulmonares; 3. Insuficiencia diastólica del ventrículo izquierdo, 4. Líquido pleural; 5. Líquido libre abdominal; 6. Aumento del diámetro de la vena cava inferior; 7. Líquido libre abdominal.

Tabla 1. Consecuencias de sobrecarga hídrica, hallazgos y protocolos ecográficos utilizados

Consecuencias de sobrecarga hídrica		
Sistema	Principales consecuencias	POCUS
Cardiovascular	Hipervolemia, aumento del gasto cardíaco inicial, falla cardíaca por sobrecarga, hipertensión, hipotensión. Edema de miocardio.	USCaPeD.
Respiratorio	Edema pulmonar (líneas B), derrames pleurales, dificultad respiratoria, hipoxia.	Lineas B, liquido en pleura.
Renal	Aumento de presión intrarrenal, oliguria, insuficiencia renal aguda.	VExUS.
Hepático	Hepatomegalia, congestión hepática, disfunción hepática.	US Hepatico, VExUS.
Gastrointestinal	Edema intestinal, aumento de presión intraabdominal, riesgo de síndrome compartimental	Engrosamiento de pared intestinal. Líquido libre.
Neurológico	Edema cerebral, aumento de presión intracraneal, edema papilar, posible afectación del nervio óptico	DVNO, DTC.
Intersticial y tisular	Edema generalizado, aumento de permeabilidad vascular, acumulación intersticial de líquidos	Protocolo FLUID.

POCUS: Ecografía en el punto de atención (Point-of-care ultrasound); USCaPeD (Ultrasonido Cardíaco Pediátrico Dirigido); VExUS: Protocolo de exceso venoso por ultrasonido; US ultrasonografía; DVNO Diámetro de la Vaina del Nervio Óptico; DTC: Doppler Transcraneal.

dida de la integridad endotelial que provoca fuga de fluidos, electrolitos y proteínas al intersticio. Este proceso genera edema tisular, compromiso de la oxigenación y un balance hídrico positivo progresivo. Su reconocimiento temprano es clave para ajustar la terapia de fluidos y evitar la sobrecarga en etapas avanzadas del shock⁴. (Figura 1) (Tabla 1).

Actualmente, se prefiere una estrategia terapéutica escalonada y guiada por metas, con una monitorización estrecha de la reposición de fluidos. El objetivo es evitar tanto el déficit como el exceso de volumen, ya que ambos extremos se asocian con peores resultados clínicos^{5, 6}.

En pacientes con inestabilidad hemodinámica es crucial no solo diferenciar quienes responderán con aumento del gasto cardíaco (GC) a la expansión con volumen, sino también quienes se beneficiarán con dicho aumento del GC. De allí surge el concepto de respuesta y tolerancia a fluidos. No todo paciente respondedor lo tolerará⁷.

La ecografía en el punto de atención (POCUS) se ha convertido en una herramienta fundamental para complementar el examen físico a pie de cama. Ofrece múltiples ventajas, como seguridad, eficiencia en costos y un notable potencial para mejorar la capacidad diagnóstica en medicina clínica⁸. Este método permite una evaluación no invasiva en tiempo real del estado de hidratación y hemodinámico del paciente, debido a su reproducibilidad es adecuado para el monitoreo continuo. La evidencia contemporánea respalda el uso de POCUS en niños críticamente enfermos como una herramienta integral para guiar la toma de decisiones hemodinámicas. Su aplicación permite evaluar de manera dinámica el estado circulatorio, estimar el gasto cardíaco y detectar signos precoces de congestión pulmonar o edema, proporcionando una visión fisiológica completa que los métodos tradicionales tales como la presión venosa central (PVC). Esta integración de variables anatómicas y funcionales ha demostrado mayor sensibilidad y precisión que el examen físico aislado para orientar la fluidoterapia y definir el momento oportuno para iniciar soporte vasoactivo^{9, 10}. Además, el uso de ecocardiografía dirigida por intensivistas o no cardiólogos en población pediátrica cuenta con consenso internacional y está respaldado por las recomendaciones de la Sociedad Americana de Ecocardiografía, que adaptan la técnica convencional a las particularidades del paciente pediátrico y al contexto de POCUS¹¹. En la actualidad, la medicina de precisión exige utilizar todas las herramientas disponibles para individualizar la reanimación, minimizar la sobrecarga hídrica y optimizar la perfusión tisular.

Metodología

Se realizó una búsqueda bibliográfica de la literatura disponible en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science y Cochrane Library. Se estableció un período de búsqueda entre enero de 2010 y marzo de 2025, utilizando

combinaciones de palabras clave y términos MeSH en español e inglés, incluyendo: "point-of-care ultrasound", "POCUS", "fluid therapy", "hemodynamic monitoring", "pediatric critical care", "fluid responsiveness", "VExUS", "lung ultrasound", "cardiac ultrasound", "children", "fluid overload", "shock".

Criterios de inclusión

Artículos originales, revisiones sistemáticas, guías de práctica clínica y consensos publicados en inglés o español. Estudios realizados en población pediátrica (0-18 años) críticamente enferma. Publicaciones que abordaran la evaluación ecográfica del estado hemodinámico o el uso de POCUS para personalizar la terapia con fluidos.

Criterios de exclusión

Trabajos con metodologías no clínicas (modelos animales, simulación computacional). Comunicaciones breves o artículos sin acceso al texto completo. La información recolectada se estructuró de forma narrativa y se presenta a continuación:

Conceptos fundamentales

- Sobrecarga hídrica (SH): La sobrecarga hídrica se define como una expansión excesiva del volumen de líquido extracelular, generalmente superior al 5-10% del peso corporal, que puede resultar en edema y complicaciones clínicas⁸.

Para objetivar la sobrecarga hídrica se utiliza principalmente el cálculo del porcentaje de sobrecarga hídrica (%SH), que se determina con la fórmula:

$$\%SH = \frac{\text{Volumen de líquidos administrados} - \text{Volumen de líquidos eliminados}}{\text{Peso corporal inicial}} \times 100$$

Este porcentaje se calcula acumulativamente a lo largo de las primeras 24-96 horas de ingreso en la unidad de cuidados intensivos⁹. Un %SH $\geq$ 10% está asociado con mayor mortalidad y peores desenlaces clínicos^{10, 11}.

Además, la evaluación clínica del edema (que no siempre es consecuencia directa de la sobrecarga hídrica), el monitoreo estricto del balance de líquidos, la ecografía y monitoreo hemodinámico clásico, permiten objetivar de forma precisa el estado hídrico del paciente¹² (Figura 2).

- Congestión venosa: La congestión venosa se produce por un aumento de la presión retrógrada en el sistema venoso, lo que reduce la perfusión tisular y favorece la disfunción orgánica. En pediatría, su identificación

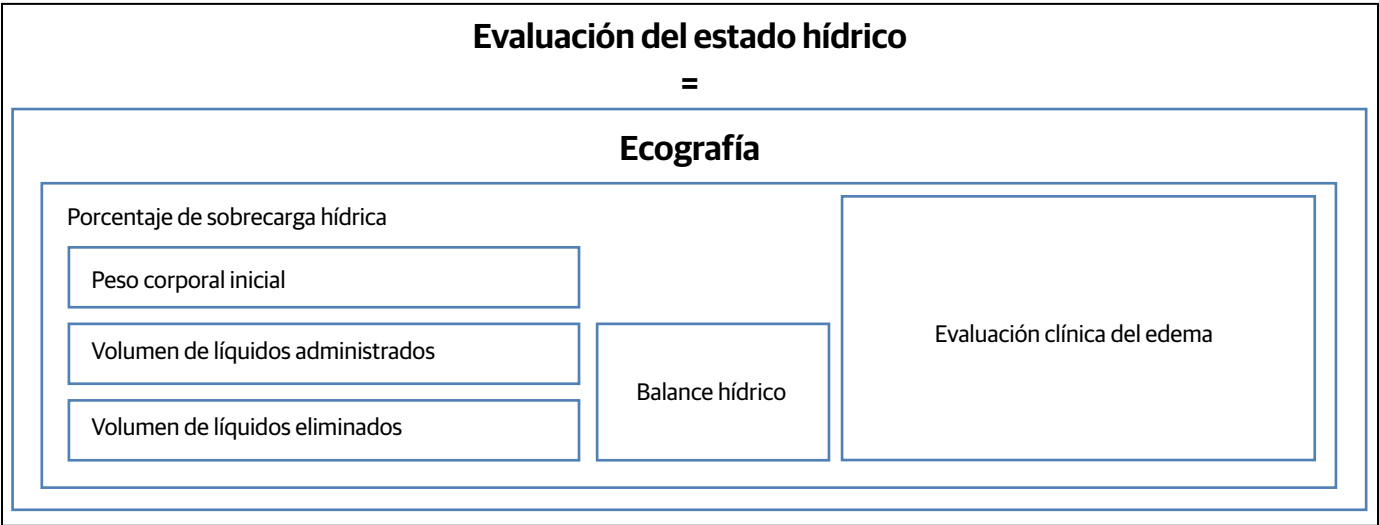


Figura 2. Componentes para la evaluación del estado hídrico del paciente.

clínica aislada es poco confiable; por ello, el uso del POCUS permite una evaluación objetiva y dinámica¹³.
14. El protocolo VExUS (Venous Excess Ultrasound Score) integra la medición de la vena cava inferior (VCI), el flujo de las venas suprahepáticas, la vena porta y las venas renales. Un aumento del diámetro de la VCI, la inversión de la onda sistólica en las venas hepáticas o la pulsatilidad de la vena porta son signos de hipertensión venosa significativa^{15,16}. En niños, se recomienda ajustar las mediciones según edad o utilizar la relación VCI/aorta. Detectar congestión venosa de forma temprana permite evitar la administración innecesaria de líquidos y orientar el tratamiento hacia estrategias de restricción o eliminación de volumen¹².

c. Tolerancia a Fluidos: La tolerancia a fluidos se define como la capacidad del paciente para recibir líquidos intravenosos sin generar efectos adversos derivados de la sobrecarga de volumen. La pérdida de tolerancia se asocia a congestión venosa sistémica, disfunción orgánica múltiple, edema pulmonar, disfunción renal, hipertensión abdominal y aumento de la mortalidad en pediatría, la tolerancia depende de la función cardíaca, pulmonar y renal, además de la integridad endotelial y la presión intraabdominal^{7, 13}. La hipertensión abdominal, definida como una presión intraabdominal sostenida >10 mmHg en niños, reduce el retorno venoso, eleva la presión venosa central y agrava la congestión visceral. Este fenómeno amplifica el riesgo de lesión renal aguda y disminuye la tolerancia a nuevos aportes de volumen. Asimismo, los estados de shock obstructivo (como el taponamiento cardíaco, el neumotórax a tensión o la hipertensión pulmonar severa) alteran la precarga efectiva y generan congestión retrógrada, haciendo

que el aporte de fluidos agrave la disfunción hemodinámica. En estos contextos, la administración de volumen puede ser perjudicial.

d. Respuesta a Fluidos: La respuesta a fluidos corresponde al aumento del gasto cardíaco o del volumen sistólico tras una expansión del volumen intravascular. Se considera que un paciente es “respondedor a fluidos” cuando la administración de un bolo o carga de líquidos incrementa significativamente el gasto cardíaco o el índice cardíaco, en un 10% o más¹⁴. Sin embargo, solo cerca del 50 % de los pacientes críticos son verdaderos respondedores a la administración de fluidos, lo que subraya la necesidad de una evaluación objetiva antes de indicar la expansión de volumen. Además, se ha demostrado que apenas un 30 % del volumen infundido permanece en el espacio intravascular después de un bolo, y que la mejoría del gasto cardíaco suele ser transitoria. Este comportamiento fisiológico refuerza la importancia de una aproximación guiada por evidencia —basada en monitoreo dinámico y ecografía funcional— que permita identificar con precisión quién se beneficiará realmente del aporte de fluidos y, en consecuencia, mejorar los desenlaces clínicos al evitar sobrecarga innecesaria y daño endotelial secundario.

El POCUS facilita la predicción de respuesta mediante parámetros dinámicos. En pacientes en respiración espontánea, una colapsabilidad de la VCI mayor al 50% sugiere una capacidad para recibir fluidos e incluso en algunos casos es un dato de hipovolemia, mientras que, en pacientes bajo ventilación mecánica, una distensibilidad superior al 18% indica probabilidad de respuesta. Sin embargo, estos índices deben interpretarse junto con la función ventricular y

la presión intraabdominal, pudiendo ser factores confusores ante congestión o hipertensión abdominal. Las mediciones del Integral de Velocidad Tiempo Aórtico (VTI Ao) y del delta de velocidad aórtica (Δ Ao) complementan esta valoración: un incremento ≥ 10 –15% del VTI o un Δ Ao $> 12\%$ tras maniobras dinámicas (elevación pasiva de piernas o prueba de fluidos simulada) se asocian a respuesta positiva¹⁵.

Teniendo en cuenta la presencia de tolerancia y/ o respuesta a fluidos el enfoque terapéutico puede individualizarse y adaptarse a la necesidad del paciente¹⁶ como se muestra en la (Tabla 2).

Evaluación clínica y ecográfica de la volemia

a. Limitaciones de la evaluación clínica tradicional

La evaluación tradicional del estado de volemia en el paciente pediátrico presenta limitaciones considerables. Los signos clásicos de hipovolemia o sobrecarga hídrica, como la presión arterial, el llenado capilar, la ingurgitación yugular o la presencia de edema, tienen baja sensibilidad y especificidad para estimar el volumen circulante efectivo^{12, 17}. La relación entre la exploración clínica y los parámetros hemodinámicos objetivos no supera el 50% en pacientes críticos¹⁸. Además, en condiciones como fiebre, ventilación mecánica o uso de fármacos vasoactivos, las respuestas fisiológicas pueden ser atenuadas o distorsionadas, dificultando aún más la interpretación. En pediatría, la variabilidad anatómica y fisiológica entre grupos etarios añade un desafío adicional. Por ello, el examen físico debe ampliarse con la ecografía.

b. Rol del ultrasonido en la evaluación de la volemia

El POCUS representa la herramienta versátil para la valoración integral del estado de volemia en pacientes pediátricos críticos¹⁹. A diferencia de la evaluación clínica tradicional o de los métodos invasivos, el POCUS permite una exploración dinámica, reproducible, integrando hallazgos cardíacos, pulmonares y abdominales en tiempo real⁷. La ecografía permite

objetivar la SH más allá del balance acumulado, detectando signos de congestión venosa o agua pulmonar extravascular, incluso antes de que las manifestaciones clínicas sean evidentes. De forma integrada, mientras que la ecografía cardíaca permite evaluar la precarga efectiva, la función ventricular y la postcarga, la ecografía pulmonar evalúa la presencia de líneas B o derrame pleural como indicadores de agua pulmonar extravascular, y la ecografía abdominal estima la presión venosa sistémica mediante el protocolo VExUS, con la evaluación de la VCI, las venas suprahepáticas, la vena porta y las venas renales²⁰. En el protocolo FLUID (Focused liquid ultrasonography in dropsy) se compara el POCUS con la prueba de fóvea tradicional, revelando que la ecografía es significativamente más efectiva para detectar la aparición y la gravedad del edema y demuestran que la distribución del edema subcutáneo sigue patrones dependientes de la gravedad y que su severidad se asocia directamente con la mortalidad en la adultos²¹.

Evaluación ecográfica por sistemas

a. Ecografía cardíaca

La ecocardiografía POCUS (FoCUS, USCaPeD) es esencial para estimar la función cardíaca y la respuesta a fluidos. En pediatría, debe ajustarse a la anatomía y valores de referencia por edad¹⁷. Tomando como referencia las guías para POCUS cardíaco en población adulta se han adaptado métodos secuenciales de evaluación cardíaca en Pediatría, como USCaPeD (Ultrasonido Cardíaco Pediátrico Dirigido) que desde a través de una evaluación rápida y sistemática en ventanas subxifoidea, paraesternal, apical y supraesternal explora el estado funcional ventricular (B - bomba), el volumen circulante (V - volemia) y los grandes vasos (v - vasos).

La función ventricular puede determinarse observando la contractilidad de forma cualitativa, los diámetros ventriculares, así como parámetros cuantitativos como la FEVI, el MAPSE (Mitral Annular Plane Systolic Excursion - excursión sistólica del anillo mitral) o el TAPSE (Tricuspid Annular Plane Systolic Excursion - excursión sistólica del anillo tricuspideo).

Tabla 2. Manejo terapéutico según la respuesta y tolerancia a fluidos

Capacidad de respuesta a fluidos	Tolerancia a fluidos	Manejo hemodinámico sugerido
Presente	Presente (Buena)	Expansión de volumen
Ausente	Presente (Buena)	Manejo conservador de fluidos
Ausente	Ausente (Mala)	Diuréticos y/o ultrafiltración
Presente	Ausente (Mala)	Vasoactivos (inotrópicos o vasopresores)

En la evaluación básica de la volemia, un VI hiperdinámico con colapso casi completo en sístole que muestra contacto entre la pared posterior del VI y el tabique interventricular ("beso parietal") indica hipovolemia, mientras que la evaluación de la interdependencia ventricular (relación entre VD y VI) con un VD dilatado o aplanamiento del septum interventricular ("signo de la D") sugieren sobrecarga o hipertensión pulmonar^{22, 23}. La Integral de Velocidad Tiempo Aórtico (VTI Ao) y el delta de velocidad aórtica (Δ Ao) son parámetros confiables para determinar la respuesta a fluidos²⁴. La detección ecográfica de líquido pericárdico y signos de taponamiento (colapso diastólico del VD, sistólico de AD o VCI) permite evidenciar shock obstructivo, condición donde la expansión de volumen es contraproducente¹³.

b. Ecografía pulmonar

El ultrasonido pulmonar (LUS) permite detectar la acumulación de agua extravascular con alta sensibilidad y sin radiación. Su utilidad es clave para reconocer congestión antes del desarrollo de insuficiencia respiratoria²⁵.

Las líneas B, artefactos verticales que borran las líneas A, reflejan incremento del agua extravascular pulmonar. Tres o más líneas B por espacio intercostal definen un patrón patológico que sugiere intolerancia a fluidos.²⁶ (Figura 1, punto 2). La visualización de derrame pleural bilateral refuerza la sospecha de sobrecarga hídrica o congestión venosa. Su identificación ecográfica ayuda a ajustar el balance hídrico y guiar drenajes²⁷ (Figura 1, punto 4).

c. Valoración de congestión vascular visceral (Protocolo VExUS)

Aunque inicialmente descrito para identificar sobrecarga hídrica en pacientes post quirúrgicos, este protocolo no refleja congestión hídrica "per se", su alteración obedece a la relación siempre variable entre la presión media del flujo sistémico (PMFS) y la presión de la aurícula derecha (PAD). Cuando ocurre alteración de la distensibilidad del VD de cualquier etiología, se incrementa la PAD, disminuye el gradiente entre PMFS/PAD provocando una estasis en el territorio venoso sistémico que disminuye su distensibilidad y transmite la pulsatilidad generada en la AD hacia las venas abdominales.

El protocolo VExUS permite cuantificar la congestión, mediante la evaluación seriada de la VCI, las venas suprahepáticas, la vena porta y el flujo venoso renal^{20, 28}. Una VCI pequeña y con colapso mayor del 50% indica hipovolemia; una VCI dilatada y con colapso menor del 50% sugiere congestión. En pediatría, se recomienda usar la relación VCI/aorta o percentiles por edad²⁹. La inversión o pérdida de la onda sistólica (S) respecto a la diastólica (D) de las venas suprahepáticas

refleja congestión retrógrada y aumento de presión venosa central¹³. El flujo portal continuo se torna pulsátil o reverso ante hipertensión venosa, correlacionándose con la severidad de la congestión visceral. El flujo renal normal es monofásico y continuo, la presencia de patrón bifásico o flujo diastólico reverso indica congestión renal y riesgo de lesión renal aguda¹³.

Medidas ultrasonográficas para la valoración de la tolerancia a fluidos

a. Evaluación de la función ventricular derecha

El VD es determinante en la tolerancia a fluidos, debido a su limitada capacidad para adaptarse a incrementos agudos de presión o volumen. La aplicación de USCaPeD permite detectar cambios funcionales de forma precisa tras la evaluación de la interdependencia ventricular, el índice de excentricidad y el TAPSE.

Interdependencia ventricular e índice de excentricidad: La interdependencia ventricular refleja el efecto mecánico recíproco entre cavidades a través del septum y el pericardio. La dilatación del VD genera desviación del tabique interventricular hacia el VI, lo que reduce el llenado y el gasto cardíaco sistémico¹³. En condiciones de sobrecarga del VD, el aplanamiento o desplazamiento septal hacia el VI adopta la característica morfología en "D", observable en la vista paraesternal eje corto. Este hallazgo puede cuantificarse mediante el índice de excentricidad (IE), calculado como la relación entre los diámetros septolateral y anteroposterior del VI. Un IE >1 indica deformidad del VI por presión o volumen excesivo y constituye un signo precoz de congestión venosa sistémica y de pérdida de tolerancia a fluidos.

TAPSE: mide la excursión longitudinal del anillo tricuspídeo en la vista apical de cuatro cámaras y se considera un parámetro directo de función sistólica del VD. En pediatría, valores reducidos ajustados por edad (<10 mm en lactantes o <15 mm en escolares) reflejan disfunción sistólica y predicen mala tolerancia a la expansión de volumen. Cuando el TAPSE se encuentra disminuido en conjunto con una VCI dilatada y no colapsable, la administración de fluidos tiende a agravar la congestión y reducir la eficiencia del llenado ventricular³⁰.

b. Evaluación de la función ventricular izquierda

El VI determina la capacidad final del sistema circulatorio para aceptar y eyectar el volumen infundido. Su valoración por POCUS permite diferenciar entre hipovolemia, disfunción contráctil o alteración del llenado diastólico, todos factores determinantes de una adecuada tolerancia a fluidos. La incorporación de medidas cualitativas y cuantitativas de función sistólica y diastólica favorece decisiones precisas en la reanimación pediátrica²².

MAPSE cuantifica la excursión sistólica del anillo mitral y, por analogía al TAPSE, evalúa la función longitudinal del VI. Una disminución progresiva del MAPSE (<10 mm en niños mayores) indica disfunción sistólica global y escasa reserva contráctil frente a la administración de líquidos. Su seguimiento seriado permite monitorizar la evolución hemodinámica y ajustar el aporte hídrico en pacientes críticos^{11, 31}. Los valores normales de MAPSE aumentan con la edad, por lo que es esencial utilizar referencias ajustadas desviaciones estándar (Z-score)³².

Diámetro y contractilidad del VI: El diámetro diastólico del VI constituye un indicador básico de precarga. Un VI pequeño y de paredes hiperdinámicas sugiere hipovolemia (Figura 3), mientras que un VI dilatado con contractilidad reducida refleja sobrecarga y pérdida de tolerancia. La fracción de acortamiento (FA) y la fracción de eyección (FE) son útiles para evaluar la función global, pero deben interpretarse considerando el contexto de precarga y poscarga: en hipovolemia la FA puede estar falsamente aumentada por contracción en vacío, mientras que en sobrecarga tiende a disminuir.

Onda S´: El Doppler tisular (DTI) es una modalidad de ultrasonido que permite medir la velocidad del movimiento miocárdico, en contraste con el Doppler convencional que mide la velocidad del flujo sanguíneo. La Onda S (S') refleja la velocidad sistólica del movimiento longitudinal de las fibras musculares del VI. Una elevada velocidad de la onda S se correlaciona bien con la fracción de eyección del VI (FEVI)³³. Este parámetro es particularmente valioso porque su medición no depende de las suposiciones geométricas del VI y es independiente de la precarga³⁴. Onda S $>5,4$ cm/seg predice

una FE $>50\%$ en adultos³⁵. Parámetros de referencia en lactantes < 6 cm/seg, niños < 7 cm/seg y adolescente < 9 cm/seg permiten una evaluación integral en los distintos grupos etarios³¹. (Figura 4).

Relación E/e´: El análisis del flujo transmitral (onda E) y del Doppler tisular (onda e´) en el anillo mitral permite estimar la presión telediastólica del VI. Una relación E/e´ >8 en niños se asocia con disfunción diastólica y aumento de las presiones de llenado, marcadores de menor tolerancia a fluidos y riesgo de congestión pulmonar o renal²².

c. Evaluación pleuropulmonar

La aparición o el incremento de las líneas B en pacientes que reciben fluidos indica edema intersticial y constituye un indicador de riesgo, sugiriendo la progresiva pérdida de tolerancia a fluidos, incluso si el paciente muestra marcadores positivos de respuesta a volumen²⁶. El derrame pleural es un hallazgo ecográfico que, si es bilateral, puede sugerir sobrecarga de fluidos³⁶.

d. Congestión venosa

Como se describió con anterioridad un score VExUS elevado nos informa acerca de no tolerancia, aumentando las probabilidades de que el paciente pueda presentar desenlaces desfavorables si se continua con la administración de fluidos endovenosos²⁰. La coexistencia de, VCI dilatada por encima del p95 para la edad, flujo venoso suprahepático sistodistólico, flujo portal pulsátil y flujo venosos renal diastólico,

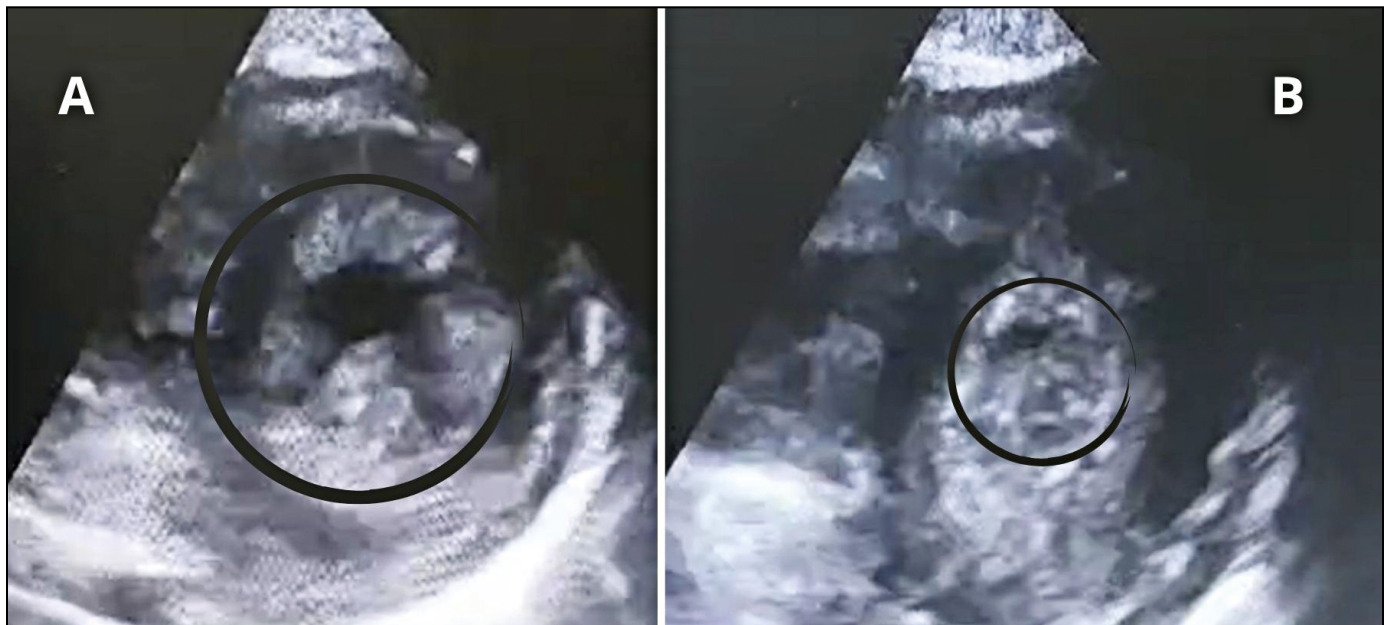


Figura 3. Signo del beso ventricular. Imágenes de ventrículo izquierdo en eje corto paraesternal, imagen A en diástole, imagen B imagen en sístole. Nótese colapso de paredes en sístole remarcado por círculo.

representan un perfil congestión severo y con ello, pérdida de tolerancia^{14, 22}.

e. Líquido libre abdominal e hipertensión intraabdominal

La presencia de líquido libre abdominal puede constituir un signo de aumento de la presión venosa sistémica y de disminución en la tolerancia a fluidos. (Figura 1, puntos 5 y 7). En pediatría, una presión intraabdominal (PIA) sostenida >15 mmHg define hipertensión intraabdominal (HIA). Esta condición reduce el retorno venoso, eleva la presión venosa central y compromete la perfusión renal y hepática²³. En tales casos, el aporte adicional de líquidos exacerba la congestión y puede precipitar lesión renal aguda¹³.

Medidas ultrasonográficas para la valoración de la respuesta a fluidos

Tras establecer la capacidad del sistema cardiovascular para recibir volumen sin generar congestión, el siguiente paso es determinar si dicho volumen se traduce en un aumento efectivo del gasto cardíaco y, por ende, en una mejora de la perfusión tisular. El estudio de la respuesta a fluidos se basa en indicadores dinámicos, que evalúan la capacidad del corazón para incrementar el volumen sistólico ante variaciones transitorias de la precarga³⁴.

a. Análisis de la VCI

Diámetro y variabilidad respiratoria: La VCI debe visualizarse utilizando modo bidimensional o modo M, desde el eje largo

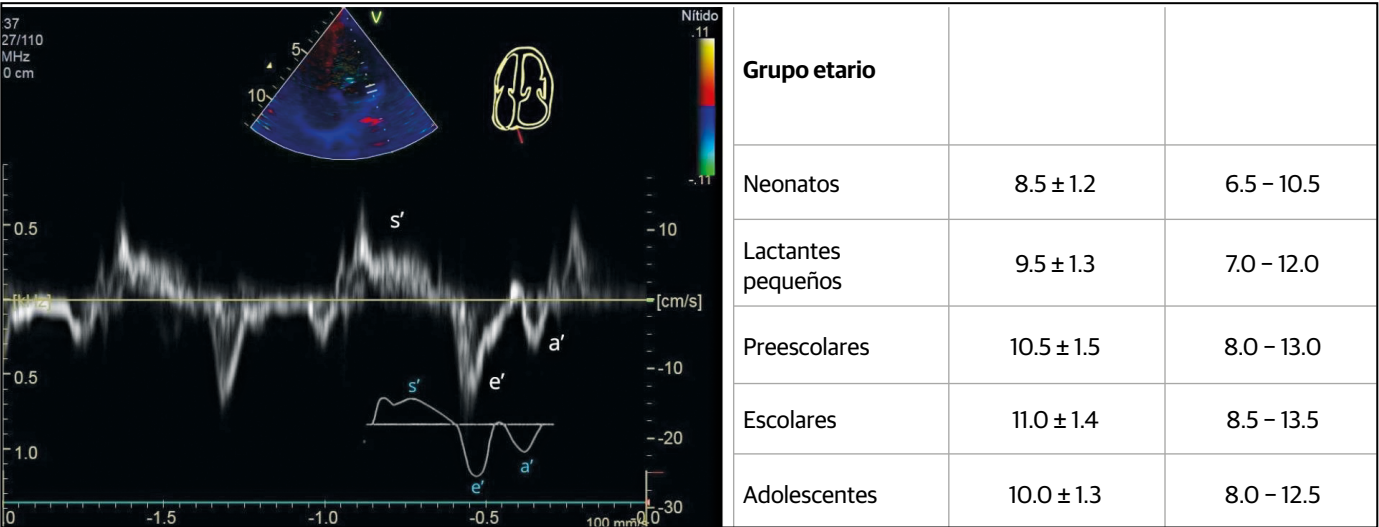


Figura 4. Doppler tisular con las distintas ondas. Referenciados valores normales de onda s' según grupos etáreos.

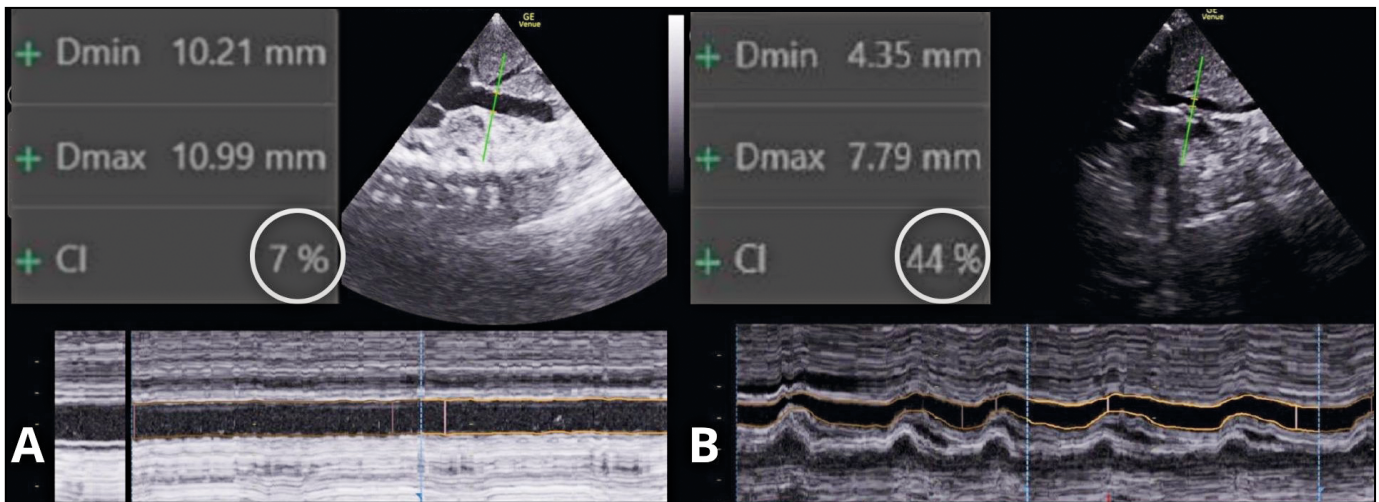


Figura 5. Evaluación Vena cava inferior, en la imagen A se muestra paciente no respondedor a fluidos, nótese variación del 7%. La imagen B paciente respondedor nótese variación del 44% luego de administración de fluido.

subcostal, con un punto medición distalmente a la confluencia de las venas hepáticas, tanto en eje corto como largo (Figura 5). En respiración espontánea, un diámetro reducido con colapso inspiratorio completo sugiere hipovolemia. Sin embargo, en la población pediátrica su interpretación requiere ajuste por edad y superficie corporal²⁹. En pacientes bajo ventilación mecánica controlada, el patrón se invierte: la VCI se distiende durante la inspiración y se colapsa en la espiración. Una variación marcada en este contexto indica precarga disminuida y una potencial respuesta a la terapia con fluidos. Los índices dinámicos cuantifican las variaciones respiratorias de la VCI:

Índice de colapsabilidad (cIVC): aplicable en respiración espontánea, calculado como la fórmula detallada a continuación. Valores >50 % se asocian con disminución significativa de la precarga.

$$\frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\max}} \times 100$$

Índice de distensibilidad (dIVC): Un valor >18 % define a pacientes potencialmente respondedores a la expansión de volumen, su cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$\frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_{\min}} \times 100$$

Índice VCI/Ao (Vena cava inferior/Aorta): El cociente VCI/Ao ofrece una alternativa sencilla y reproducible para estimar el volumen intravascular. Se mide desde la vista subcostal, de forma transversal o longitudinal, comparando el diámetro máximo de la VCI en espiración, con el de la aorta en sístole. La aorta actúa como control interno, pues su diámetro es relativamente constante frente a cambios de volumen. Un índice VCI/Ao <0.8 indica un estado de hipovolemia, con una sensibilidad del 86 %.

b. Flujo aórtico

El análisis del flujo aórtico mediante modalidad Doppler es uno de los pilares de la monitorización funcional hemodinámica pediátrica³⁷.

Integral de Velocidad Tiempo (VTI): representa la distancia promedio recorrida por la sangre durante un latido. Se mide en el tracto de salida del VI (TSVI) en la vista apical de cinco cámaras o eje largo paraesternal, con un ángulo de insonación menor de 20° (Figura 6). Los valores normales pediátricos se ubican entre 16 y 22 cm³⁸. El seguimiento de la VTI permite inferir cambios en el VS, el GC y el índice cardíaco (IC), recordando como punto importante que la medición del diámetro del TSVI debe considerarse como una constante para la fórmula, sin necesidad de mediciones repetidas

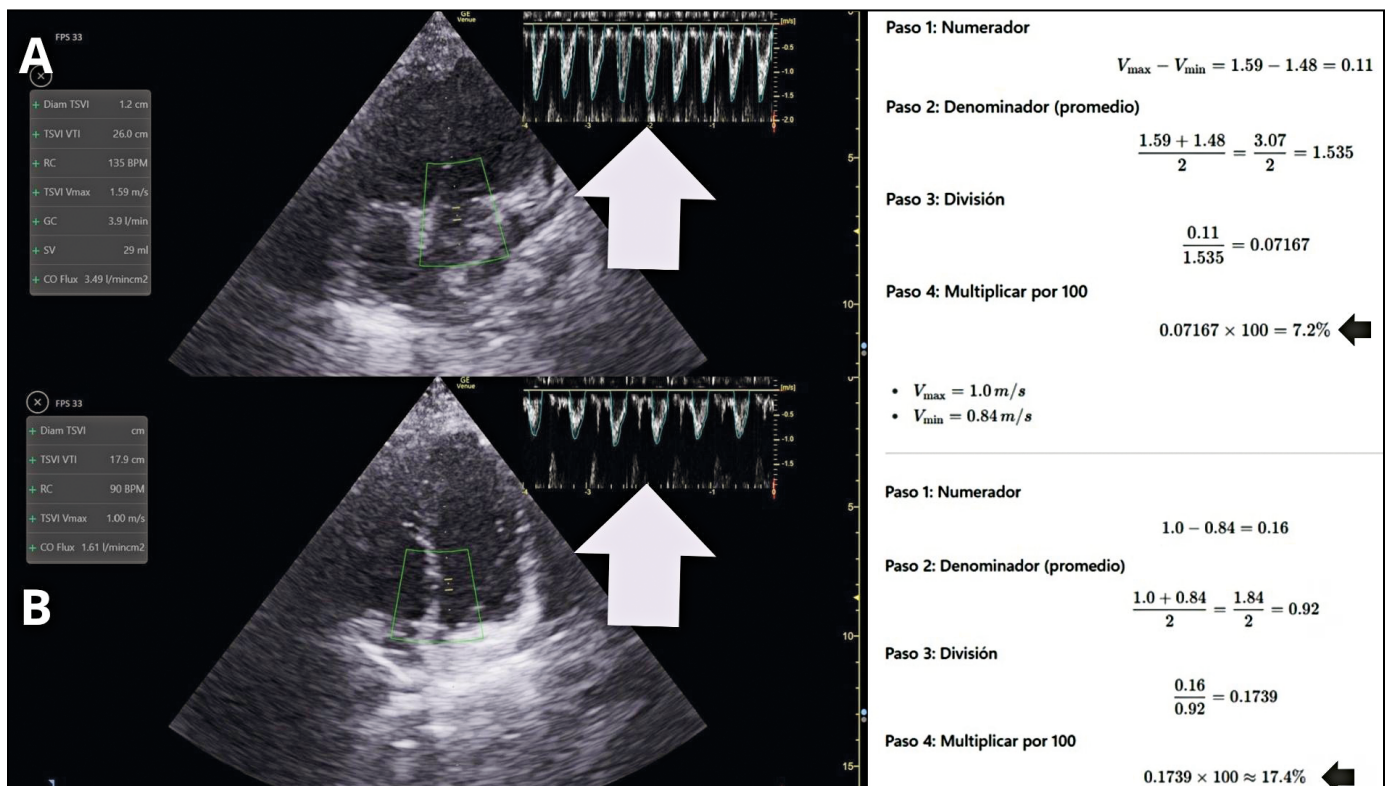


Figura 6. Casos de evaluación de Delta de velocidad aórtica. Imagen A paciente sin respuesta a fluidos delta menos del 12% y en imagen B, paciente con respuesta con un delta de 17,4%.

durante el monitoreo. El volumen latido (VS) se obtiene mediante la fórmula:

$VS = AST_{TSVI} \times VTI$ el gasto cardíaco (GC) se calcula como:

$$GC = VS \times FC$$

Si además realizamos una indexación del GC considerando la superficie corporal del paciente, obtendremos el IC con la siguiente fórmula:

$$IC = GC/SC$$

Un incremento en la VTI o en el VS $\geq 10-15\%$ tras maniobras de EPP, se considera una respuesta positiva y permite identificar a pacientes respondedores a fluidos^{23, 33}.

Delta de velocidad pico de flujo aórtico (ΔV_{peak})
El delta de velocidad pico aórtico se calcula como:

$$\Delta V_{peak} = \frac{V_{max} - V_{min}}{(V_{max} + V_{min})/2} \times 100$$

Una $\Delta V_{peak} > 12\%$ en pacientes bajo ventilación mecánica, define a aquellos que presentan respuesta al manejo con líquidos. Este índice dinámico es el de mayor sensibilidad y especificidad para evaluación de respuesta a fluidos en pacientes con ventilación mecánica^{23, 33}.

c. Vasos del cuello

La evaluación ultrasonográfica de los vasos del cuello, en particular de la arteria carótida común (ACC), ha ganado relevancia como método no invasivo y reproducible para la monitorización hemodinámica pediátrica. El flujo carotídeo refleja de manera indirecta el flujo del tracto de salida del

ventrículo izquierdo (TSVI), dada la similitud en las características hemodinámicas entre ambos territorios³⁹⁻⁴¹.

Los principales parámetros cuantificables incluyen:

Tiempo de flujo (FT): medido entre el inicio de la sístole y la escotadura dicrótica. Tiempo de flujo corregido (FTc):

$$FTc = \text{Tiempo sistólico} / \sqrt{\text{Tiempo del ciclo cardíaco}}$$

Integral de Velocidad Tiempo carotídea (VTIc): estimada multiplicando el área seccional del vaso por la VTI, lo que permite derivar el volumen sistólico (VS) y el índice cardíaco (IC). En pediatría, el componente sistólico del flujo (VTI[s]) correlaciona más estrechamente con el VS, dado que el componente diastólico puede estar influido por la resistencia vascular periférica^{41, 42} (figura 7).

El FTc y el delta de la velocidad pico carotídea ($\Delta V_{peak-Ca}$) son los indicadores más utilizados para predecir la respuesta a fluidos. En pacientes pediátricos bajo ventilación mecánica, un $\Delta V_{peak-Ca} > 10\%$ ha demostrado alta sensibilidad y especificidad para identificar respuesta a fluidos, correlacionándose con incrementos $\geq 10\%$ del gasto cardíaco¹⁵. Asimismo, valores basales bajos de FTc (< 330 ms) sugieren hipovolemia y una posible respuesta favorable a la expansión de volumen, mientras que incrementos del FTc tras la administración de volumen reflejan una restauración de la precarga efectiva. Se han sugerido como valores de referencia del FTc para neonatos 270- 300 mseg, lactantes 280- 310 mseg, escolares 300- 330 mseg y adolescentes 320- 360 mseg. La VTI carotídea también se ha validado como sustituto del flujo aórtico para la monitorización continua del IC, mostrando una correlación > 0.9 con los valores obtenidos mediante ecocardiograma transtorácico en pacientes pediátricos críticos⁴³.

La vena yugular interna (VYI) permite la medición de su índice de colapsabilidad, observándose que valores $> 40\%$ tienen una correlación con estados de hipovolemia, mientras que su distensión sugiere congestión venosa²⁵. Un índice de

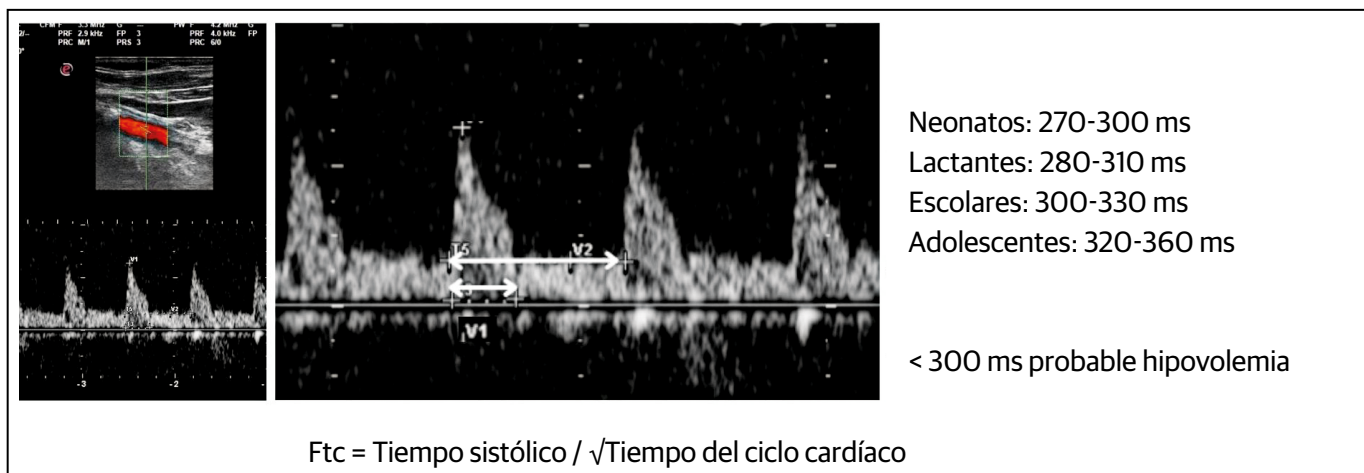


Figura 7. Tiempo de flujo carotídeo corregido por frecuencia cardíaca. V1: Tiempo sistólico; V2: tiempo del ciclo cardíaco. Al margen valores normales.

distensibilidad mayor a 18% ha sido propuesto para predecir la respuesta a fluidos en pacientes sépticos^{40, 43}.

d. Evaluación de la perfusión distal

El último eslabón para evaluar es la perfusión tisular o distal teniendo como objetivo final el restablecimiento de la coherencia hemodinámica, es decir, lograr que la mejoría en los parámetros macrocirculatorios se traduzca en una adecuada entrega de oxígeno y perfusión a nivel microvascular^{44, 45}.

Flujo en la arteria cerebral media (ACM)

El Doppler transcraneal (TCD) se ha convertido en una herramienta esencial en las unidades de cuidados intensivos pediátricos (UCIP) para el monitoreo continuo de la velocidad del flujo sanguíneo cerebral (VSC)⁴⁶. La arteria cerebral media (ACM), accesible mediante la ventana transtemporal, es el vaso de elección para evaluar la circulación anterior cerebral⁴⁷. Las velocidades: sistólica (Vs), diastólica (Vd) y media (Vm) deben interpretarse con valores de referencia ajustados por edad, dado que la VSC aumenta hasta los seis años y luego desciende progresivamente. En neonatos con inestabilidad hemodinámica, la inversión o desaparición del flujo diastólico en la ACM, la arteria mesentérica superior (AMS) o la aorta descendente indican robo circulatorio⁴⁸. En el contexto neurocrítico, el TCD permite detectar hipertensión intracraneal (HIC): el aumento de la presión intracraneal reduce la Vd más

que la Vs, elevando el índice de pulsatilidad (PI) y el margen de cierre diastólico (DCM), ambos correlacionados con incremento de la presión intracraneal y peores desenlaces⁴⁹. En pacientes con shock séptico, el hallazgo de Vd <20 puede considerarse como un parámetro de baja perfusión sistémica⁵⁰.

Flujo en arteria mesentérica superior (AMS) y esplénica: En condiciones normales, ambas mantienen un flujo anterógrado continuo durante la diástole. La inversión del flujo diastólico en la AMS refleja hipoperfusión mesentérica o robo sistémico, y se ha asociado con mayor riesgo de enterocolitis o disfunción orgánica múltiple⁵¹.

La evaluación Doppler de arterias distales (ACM, AMS) correlaciona la función macrocirculatoria con la perfusión regional. El aumento del volumen sistólico (VS) tras una carga de fluidos no siempre se traduce en una mejora real de la perfusión tisular. La persistencia de signos de hipoperfusión microcirculatoria (a pesar de la optimización macrohemodinámica, sugiere la pérdida de coherencia hemodinámica⁵². La inversión del flujo diastólico en la Arteria Cerebral Media (ACM) o Arteria Mesentérica Superior (AMS) es un signo de "robo circulatorio" sistémico, y su persistencia a pesar de las intervenciones macrocirculatorias indica un fallo en la corrección de la perfusión distal.

Toma de decisiones terapéuticas integrando el POCUS

La evaluación conjunta de la tolerancia a fluidos (FT) y la respuesta a fluidos (FR), basada en el marco fisiológico de

	Perfiles hemodinámicos de acuerdo con estado de respuesta y tolerancia del paciente pediátrico	
Respuesta Ausente	Perfil D (Inotrópicos) Falla cardíaca, aún con buena tolerancia, no se evidencia un incremento en el VS	Perfil B (Diuréticos) VS muestra variaciones mínimas con la modificación de la precarga
Respuesta Presente	Perfil A (Volumen) Un aumento en la precarga origina incremento en el VS	Perfil C (Vasopresores) Respuesta a fluidos, con riesgo aumentado de congestión
	Buena tolerancia	Mala tolerancia

Figura 8. Manejo terapéutico según la respuesta y tolerancia a fluidos, según perfiles.

Frank-Starling-Sarnoff, permite definir el estado hemodinámico en cuatro cuadrantes (Figura 8), estableciendo un marco de referencia para tomar medidas terapéuticas de forma individualizada^{16, 53}.

1. El POCUS permite adoptar estrategias de precisión, adaptando el soporte hemodinámico al estado hemodinámico del paciente⁵⁴:
 - a. Restricción de fluidos: Si la evaluación indica ausencia de respuesta y mala tolerancia se debe detener o restringir la terapia con fluidos para evitar la sobrecarga (Perfil B).
 - b. Uso Temprano de inotrópicos y vasopresores: En un perfil hemodinámico tipo D, a pesar de una evaluación que indique adecuada tolerancia a la administración de líquidos (precarga disminuida), los datos de una respuesta ausente deben dirigir las medidas terapéuticas a mejorar la función cardíaca, disminuir factores que impidan un adecuada volumen sistólico (aumento de postcarga, shock obstructivo) y utilizar de forma conservadora la administración de líquidos hasta obtener datos de una respuesta adecuada, el grupo de medicamentos más recomendado en este tipo de perfil son los inotrópicos. En pacientes que aún pueden aumentar el VS con fluidos, pero con un riesgo aumentado de empeorar la congestión (Perfil C), se debe priorizar el uso temprano de vasopresores (para aumentar la resistencia vascular sistémica sin añadir volumen) previniendo la congestión venosa y con vigilancia estricta del aumento en las resistencias vasculares.
 - c. Desescalada activa: Si hay evidencia de hipervolemia significativa, con una respuesta ausente (Perfil B), el ultrasonido puede también guiar la fase de desescalada (o evacuación)⁵. La monitorización de la normalización de la VCI, la disminución de las Líneas B y la mejoría de los patrones Doppler venosos (VExUS) validan la efectividad de los diuréticos o de la terapia de reemplazo renal continua (TRRC) durante esta etapa.
2. Protocolo REDplus (Estrategia RED guiado por POCUS)

La Estrategia RED (Resucitación, Equilibrio y Desescalada) es un modelo simplificado y dinámico para el manejo del shock séptico pediátrico⁶ adaptado del modelo ROSE (Resuscitation, Optimization, Stabilization, Evacuation) utilizado en adultos. El enfoque REDplus propone la integración sistemática del POCUS avanzado para personalizar las intervenciones en cada fase (Figura 9).

Fase 1: El objetivo inicial de la fase de resucitación consiste en optimizar la presión arterial (PA), el gasto cardíaco (GC) y la perfusión tisular, incluyendo la microcirculación. En este

contexto, la ecografía en el punto de atención (POCUS) se ha convertido en una herramienta fundamental para guiar la administración de fluidos y determinar oportunamente la necesidad de inicio de agentes vasoactivos.

POCUS permite una evaluación rápida del estado de volemia y de la capacidad de respuesta a fluidos. Para descartar hipovolemia franca se emplean hallazgos como el "kissing ventricle sign", la vena cava inferior (VCI) de pequeño diámetro y altamente colapsable, o una relación VCI/Aorta < 0,8, los cuales sugieren disminución significativa del volumen intravascular. Posteriormente, mediante pruebas dinámicas —como variación de la VCI o elevación pasiva de piernas— es posible identificar pacientes precarga-dependientes, evitando la administración innecesaria de fluidos en no respondedores.

Los protocolos contemporáneos de reanimación hemodinámica en pediatría, como el propuesto en el estudio de vasopresores tempranos, [54] han demostrado que el inicio precoz de vasoactivos tras la administración de 20 mL/kg de cristaloides se asocia con una reducción del volumen total administrado en las primeras 24 horas. En este escenario, POCUS permite justificar el inicio de soporte vasoactivo al evidenciar signos de pérdida de tolerancia a fluidos, incluso antes de alcanzar una sobrecarga hídrica ≥10%, umbral relacionado con mayor incidencia de complicaciones y peor pronóstico.

Fase 2: Equilibrio (E). Esta fase unifica los conceptos de Optimización y Estabilización del modelo ROSE y se centra en mantener el equilibrio hemodinámico proporcionando un soporte orgánico sin sobrehidratar al paciente. El POCUS guía la identificación del punto óptimo para detener la fluidoterapia y ajustar el soporte vasoactivo, sin llegar a dosis supratrapéuticas o sin respuesta clínica observable [54] integrando USCaPeD, Doppler Arterial (SVI, SVRI) y Doppler Venoso (VExUS). La fluidoterapia se detiene cuando los indicadores dinámicos de respuesta se vuelven negativos (Perfil B) o cuando aparecen signos de congestión. El POCUS también ayuda a monitorear el fluido creep o ingreso oculto de fluidos (fluidos de mantenimiento/medicamentos) que contribuyen significativamente a la hipervolemia.

Fase 3: Desescalada (D). El objetivo fundamental de la tercera etapa es disminuir gradualmente el soporte hemodinámico (inotrópicos/vasopresores) y facilitar la remoción activa del exceso de fluidos (diuréticos o Terapia de Reemplazo Renal Continua - TRRC). El POCUS guía la decisión de cuándo iniciar las medidas dirigidas a retornar a una homeostasis hemodinámica. La sobrecarga hídrica acumulada se asocia con mayor mortalidad y con un incremento en días de ventilación mecánica. La evidencia ecográfica de congestión (VExUS o IRVD anormal) es el principal indicador para iniciar diuresis agresiva o TRRC. La remoción activa debe monitorearse para

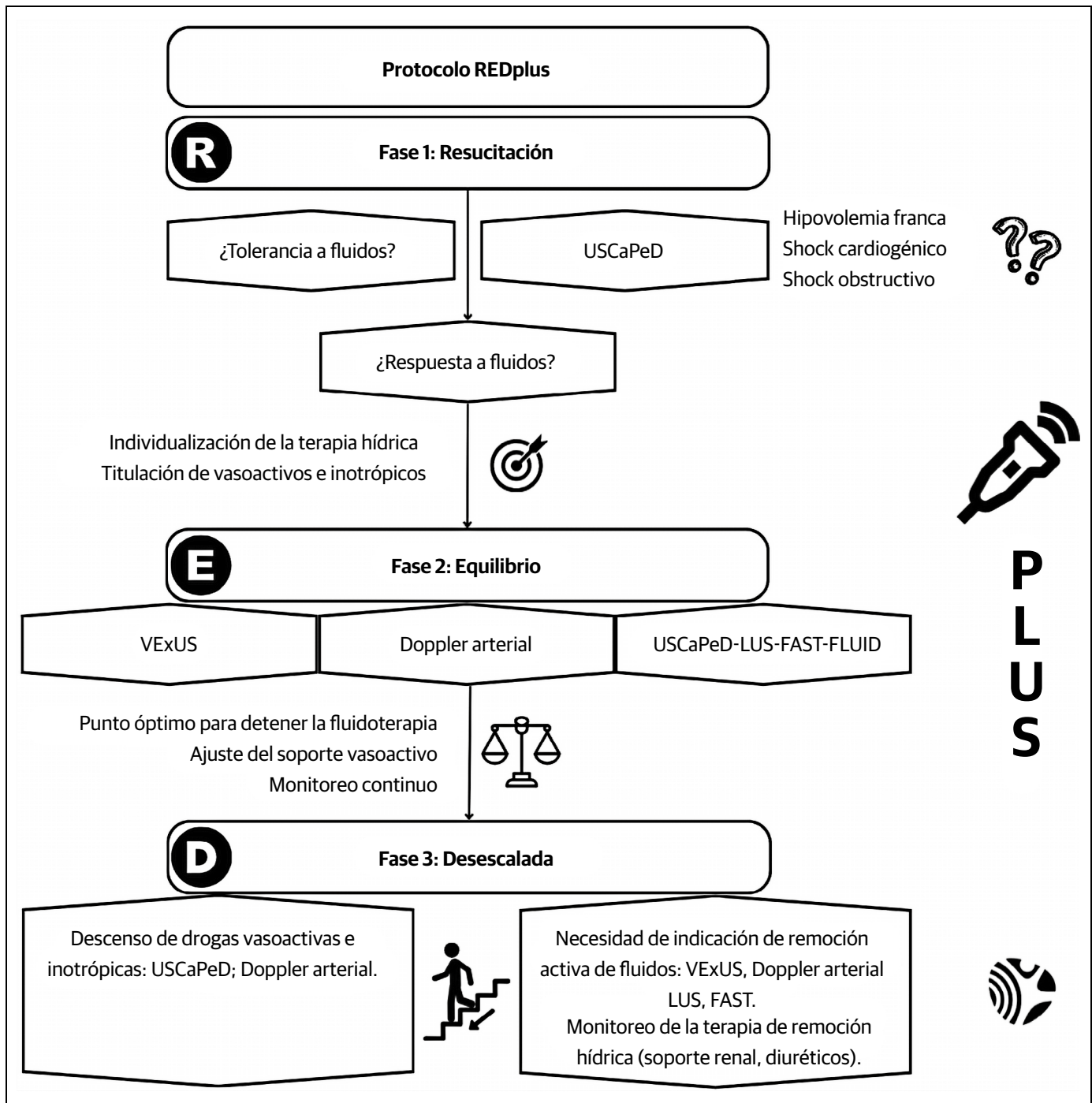


Figura 9. REDplus. Algoritmo propuesto de evaluación y tratamiento de soporte hídrico hemodinámico.

asegurar que el paciente no se desplace a la hipovolemia peligrosa. El POCUS monitorea la normalización de la VCI y la mejoría de los patrones venosos y pulmonares.

Conclusiones

La implementación de POCUS representa un cambio paradigmático en la reanimación hemodinámica del paciente pe-

diátrico crítico. Su enfoque dinámico permite trascender las limitaciones de la valoración clínica estática y de los métodos invasivos tradicionales, ofreciendo una ventana objetiva y en tiempo real para guiar decisiones terapéuticas. La integración de la evaluación de respuesta y tolerancia a fluidos (FR y FT) mediante POCUS optimiza el momento y la magnitud de la expansión de volumen, previniendo la sobrecarga hídrica y el daño endotelial, factores estrechamente asociados con

peores desenlaces en la UCIP. Proponemos avanzar hacia una estrategia RED-Plus, que incorpora la ecografía funcional como eje transversal de las tres fases —Resucitación, Equilibrio y Desescalada—, permitiendo una reanimación verdaderamente personalizada. RED-Plus ofrece así un marco práctico que conecta fisiología, imagen y decisión clínica, integrando los principios de la medicina de precisión en el manejo del choque pediátrico. El futuro inmediato debe orientarse a validar multicéntricamente los parámetros ecográficos predictivos de respuesta y tolerancia, establecer valores de referencia por edad y diseñar programas de entrenamiento estandarizados que aseguren competencia técnica e interpretación fisiológica integrada. En síntesis, POCUS y RED-Plus redefinen la reanimación hídrica pediátrica, convirtiéndola en un proceso dinámico, objetivo y contextual, capaz de equilibrar la urgencia de restaurar la perfusión con la prudencia de proteger la microcirculación.

Autor de correspondencia

Javier Ponce .

Hospital G. Rawson. San Juan, Argentina.

Mail: rjavierponce1976@gmail.com

Conflicto de interés

Los autores declaran ausencia de conflicto de interés.

Financiación

Ninguna.

Agradecimiento

A la comunidad de USPed Latinoamérica.

Como citar este artículo:

Javier Ponce, Evelyn Obando, Eduardo Tomas Alvarado, Edgardo Banille, Pablo Bravo, Leonel M. Fuentes G., Mauricio Cantillano, Alfredo Rodríguez-Portelles, David Pascual Rojas Flores, and Jaime Fernández-Sarmiento. 2026. Terapia de fluidos guiada por ecografía en el paciente crítico pediátrico: integrando tolerancia y respuesta a fluidos. *CRITICAL CARE & EMERGENCY MEDICINE* 5, (January 2026), 118–133. <https://doi.org/10.58281/ccem060126-rev-nar-11>

Bibliografía

- Raman S, Peters MJ. Fluid management in the critically ill child. *Pediatr Nephrol*. 2014 Jan;29(1):23–34. doi: 10.1007/s00467-013-2412-0.
- Lim JM, Porayette P, Marini D, Chau V, Au-Young SH, Saini A, et al. Associations Between Age at Arterial Switch Operation, Brain Growth, and Development in Infants With Transposition of the Great Arteries. *Circulation*. 2019 Jun 11;139(24):2728–2738. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.118.037495.
- Pérez Nieto OR, Wong A, Lopez Fermin J, Zamarron Lopez EI, Meade Aguilar JA, Deloya Tomas E, et al. Aiming for zero fluid accumulation: First, do no harm. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2021;53(2):162–178. doi: 10.5114/ait.2021.105252.
- Malbrain MLNG, Van Regenmortel N, Saugel B, De Tavernier B, Van Gaal PJ, Joannes-Boyau O, et al. Principles of fluid management and stewardship in septic shock: it is time to consider the four D's and the four phases of fluid therapy. *Ann Intensive Care*. 2018 May 22;8(1):66. doi: 10.1186/s13613-018-0402-x.
- Fernández-Sarmiento J, Ranjit S, Sanchez-Pinto LN, Nadkarni VM, Jabornisky R, Kissoon N. The Resuscitation, Equilibrium and De-escalation (RED) strategy: a phased, personalized hemodynamic support in children with sepsis. *Front Pediatr*. 2025 Jan 29;13:1530984. doi: 10.3389/fped.2025.1530984.
- Kattan E, Castro R, Miralles-Aguilar F, Hernández G, Rola P. The emerging concept of fluid tolerance: A position paper. *J Crit Care*. 2022 Oct;71:154070. doi: 10.1016/j.jcrc.2022.154070.
- Naveda OE, Naveda AF. Balance hídrico positivo y alta mortalidad en niños con sepsis grave y choque séptico. *PEDIATR*. 2016 Jul;49(3):71–7. doi: 10.1016/j.rcpe.2016.06.001.
- Copana Olmos R, Diaz Villalobos W. Índice de sobrecarga hídrica en niños con sepsis severa y shock séptico. *Gac Med Bol*. 2019; Jul;42(1):11–16. doi: 10.47993/gmb.v42i1.38.
- Fernández-Sarmiento J, Sierra-Zuñiga MF, Salazar González MP, Lucena N, Soares Lanzotti V, Agudelo S. Association between fluid overload and mortality in children with sepsis: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatr Open*. 2023 Nov;7(1):e002094. doi: 10.1136/bmjpo-2023-002094.
- Márquez González H, Casanova Bracamontes L, Muñoz Ramírez CM, Peregrino Bejarano L, Bolaños Téllez B, Yáñez Gutiérrez L. Relation between fluid overload and mortality in children with septic shock. *Arch Argent Pediatr*. 2019 Apr 1;117(2):105–113. doi: 10.5546/aap.2019.eng.105.
- Marjanovic VG, Budic IZ, Zecevic MD, Stevic MM, Simic DM. Intra-abdominal hypertension/abdominal compartment syndrome of pediatric patients in critical care settings. *Open Med (Wars)*. 2025 Jul;20(1):20251244. doi: 10.1515/med-2025-1244.
- Argaiz ER, Rola P, Haycock KH, Verbrugge FH. Fluid management in acute kidney injury: from evaluating fluid responsiveness towards assessment of fluid tolerance. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2022 Nov;11(10):786–793. doi: 10.1093/ehjacc/zuac104.
- Cherpanath TG, Geerts BF, Lagrand WK, Schultz MJ, Groeneweld AB. Basic concepts of fluid responsiveness. *Neth Heart J*. 2013 Dec;21(12):530–6. doi: 10.1007/s12471-013-0487-7.
- Lee JH, Kim EH, Jang YE, Kim HS, Kim JT. Fluid responsiveness in the pediatric population. *Korean J Anesthesiol*. 2019 Oct;72(5):429–440. doi: 10.4097/kja.19305.
- Melo RH, Santos MHCD, Ramos FJDS. Beyond fluid responsiveness: the concept of fluid tolerance and its potential implication

- in hemodynamic management. *Crit Care Sci.* 2023 Apr-Jun;35(2):226-229. doi: 10.5935/2965-2774.20230012-en.
16. Y. Singh et al., "Recommendations for hemodynamic monitoring for critically ill children-expert consensus statement issued by the cardiovascular dynamics section of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC)," *Crit Care*, vol. 24, no. 1, p. 620, Oct. 2020, doi: 10.1186/s13054-020-03326-2.
 17. Millington SJ, Wiskar K, Hobbs H, Koenig S. Risks and Benefits of Fluid Administration as Assessed by Ultrasound. *Chest.* 2021 Dec;160(6):2196-2208. doi: 10.1016/j.chest.2021.06.041.
 18. Musolino AM, Di Sarno L, Buonsenso D, Murciano M, Chiaretti A, Boccuzzi E, et al. Use of POCUS for the assessment of dehydration in pediatric patients-a narrative review. *Eur J Pediatr.* 2024 Mar;183(3):1091-1105. doi: 10.1007/s00431-023-05394-2.
 19. Natraj R, Bhaskaran AK, Rola P, Haycock K, Siuba MT, Ranjit S. Venous Congestion Assessed by Venous Excess Ultrasound (VExUS) and Acute Kidney Injury in Children with Right Ventricular Dysfunction. *Indian J Crit Care Med.* 2024 May;28(5):447-452. doi: 10.5005/jp-journals-10071-24705.
 20. Zhang W, Gu Y, Zhao Y, Lian J, Zeng Q, Wang X, et al. Focused liquid ultrasonography in drowsy protocol for quantitative assessment of subcutaneous edema. *Crit Care.* 2023 Mar 18;27(1):114. doi: 10.1186/s13054-023-04403-y.
 21. Ginsburg S, Conlon T, Himebauch A, Glau C, Weiss S, Weber MD, et al. Left Ventricular Diastolic Dysfunction in Pediatric Sepsis: Outcomes in a Single-Center Retrospective Cohort Study. *Pediatr Crit Care Med.* 2021 Mar;22(3):275-285. doi: 10.1097/PCC.0000000000002668.
 22. Banille E, Longo S, Contreras A, Paz G, Jiménez TM, Peirone A. Monitoreo hemodinámico no invasivo. Segunda parte. *Rev. chil. Anest.* 2024 ;53(6):557-571. doi: 10.25237/revchilanes-tv53n6-04.
 23. De Souza TB, Rubio AJ, Carioca FL, Ferraz IS, Brandão MB, Nogueira RJN, et al. Carotid doppler ultrasonography as a method to predict fluid responsiveness in mechanically ventilated children. *Paediatr Anaesth.* 2022 Sep;32(9):1038-1046. doi: 10.1111/pan.14513.
 24. Chidini G, Raimondi F. Lung ultrasound for the sick child: less harm and more information than a radiograph. *Eur J Pediatr.* 2024 Mar;183(3):1079-1089. doi: 10.1007/s00431-023-05377-3.
 25. Argaz ER, Koratala A, Reisinger N. Comprehensive Assessment of Fluid Status by Point-of-Care Ultrasonography. *Kidney360.* 2021 May 27;2(8):1326-1338. doi: 10.34067/KID.0006482020.
 26. De Backer D, Aissaoui N, Cecconi M, Chew MS, Denault A, Hajjar L, et al. How can assessing hemodynamics help to assess volume status? *Intensive Care Med.* 2022 Oct;48(10):1482-1494. doi: 10.1007/s00134-022-06808-9
 27. Koratala A. Venous congestion assessment using point-of-care Doppler ultrasound: Welcome to the future of volume status assessment. *Clin Case Rep.* 2021 Jan 21;9(3):1805-1807. doi: 10.1002/ccr3.3840.
 28. Kathuria N, Ng L, Saul T, Lewiss RE. The baseline diameter of the inferior vena cava measured by sonography increases with age in normovolemic children. *J Ultrasound Med.* 2015 Jun;34(6):1091-6. doi: 10.7863/ultra.34.6.1091.
 29. Lu JC, Riley A, Conlon T, Levine JC, Kwan C, Miller-Hance WC, et al. Recommendations for Cardiac Point-of-Care Ultrasound in Children: A Report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2023 Mar;36(3):265-277. doi: 10.1016/j.echo.2022.11.010.
 30. Oulego Erroz I. Ecografía en el paciente hemodinámicamente inestable. *Rev Esp Pediatr.* 2016;72(1): 62-69.
 31. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Avian A, Cvirn G, Rehak T, et al. Reference values of the mitral annular peak systolic velocity (Sm) in 690 healthy pediatric patients, calculation of Z-score values, and comparison to the mitral annular Plane systolic excursion (MAPSE). *Echocardiography.* 2014 Oct; 31(9):1122-30. doi: 10.1111/echo.12541.
 32. Tissot C, Muehlethaler V, Sekarski N. Basics of Functional Echocardiography in Children and Neonates. *Front Pediatr.* 2017 Dec 1;5:235. doi: 10.3389/fped.2017.00235.
 33. Kenny JS. Assessing Fluid Intolerance with Doppler Ultrasonography: A Physiological Framework. *Med Sci (Basel).* 2022 Feb;10(1):12. doi: 10.3390/medsci10010012.
 34. Ayuela Azcarate JM, Clau Terré F, Ochagavía A, Vicho Pereira R. Papel de la ecocardiografía en la monitorización hemodinámica de los pacientes críticos. *Med Intensiva.* 2012 Apr;36(3):220-32. doi: 10.1016/j.medin.2011.11.025.
 35. Beaubien-Souligny W, Bouchard J, Desjardins G, Lamarche Y, Liszkowski M, Robillard P, et al. Extracardiac Signs of Fluid Overload in the Critically Ill Cardiac Patient: A Focused Evaluation Using Bedside Ultrasound. *Can J Cardiol.* 2017 Jan;33(1):88-100. doi: 10.1016/j.cjca.2016.08.012.
 36. Banille E, Longo S, Contreras A, Paz G, Jiménez TM, Peirone A. Monitoreo hemodinámico no invasivo. Primera parte. *Rev. chil. Anest.* 2024 ;53(5):453-463. doi:10.25237/revchilanes-tv53n5-04.
 37. Díaz A, Zócalo Y, Cabrera-Fischer E, Bia D. Reference intervals and percentile curve for left ventricular outflow tract (LVOT), velocity time integral (VTI), and LVOT-VTI-derived hemodynamic parameters in healthy children and adolescents: Analysis of echocardiographic methods association and agreement. *Echocardiography.* 2018 Dec;35(12):2014-2034. doi: 10.1111/echo.14176.
 38. Singla D, Gupta B, Varshney P, Mangla M, Walikar BN, Jamir T. Role of carotid corrected flow time and peak velocity variation in predicting fluid responsiveness: a systematic review and meta-analysis. *Korean J Anesthesiol.* 2023 Jun;76(3):183-193. doi: 10.4097/kja.22385.
 39. Sun T, Hui K, Ren L, Han M, Shen X, Xiong J, et al. Carotid corrected flow time and Doppler shock index for prediction of post-induction hypotension in patients undergoing elective abdominal surgery: a prospective observational study. *Perioper Med (Lond).* 2025 Mar;14(1):38. doi: 10.1186/s13741-025-00519-7.
 40. Lin EE, Glau C, Conlon TW, Chen AE, Kaplan SL, Posada A, et al. The association between carotid flow time and fluid responsiveness in children under general anesthesia. *Paediatr Anaesth.* 2022 Sep;32(9):1047-1053. doi: 10.1111/pan.14510.
 41. Carioca FL, de Souza FM, de Souza TB, Rubio AJ, Brandão MB, Nogueira RJN, et al. Point-of-care ultrasonography to predict fluid responsiveness in children: A systematic review and meta-analysis. *Paediatr Anaesth.* 2023 Jan;33(1):24-37. doi: 10.1111/pan.14574.

42. Rubio AJ, de Souza LL, Nogueira RJN, Brandão MB, de Souza TH. Carotid Doppler Ultrasonography for Hemodynamic Assessment in Critically Ill Children. *Pediatr Cardiol.* 2022 Feb;43(2):382-390. doi: 10.1007/s00246-021-02732-9.
43. Fernández-Sarmiento J, Lamprea S, Barrera S, Acevedo L, Duque C, Trujillo M, Aguirre V, et al. The association between prolonged capillary refill time and microcirculation changes in children with sepsis. *BMC Pediatr.* 2024 Jan 20;24(1):68. doi: 10.1186/s12887-024-04524-5
44. Ospina-Tascon G, Neves AP, Occhipinti G, Donadello K, Büchle G, Simion D, et al. Effects of fluids on microvascular perfusion in patients with severe sepsis. *Intensive Care Med.* 2010 Jun;36(6):949-55. doi: 10.1007/s00134-010-1843-3.
45. Lovett ME, O'Brien NF. Transcranial Doppler Ultrasound, a Review for the Pediatric Intensivist. *Children (Basel).* 2022 May 16;9(5):727. doi: 10.3390/children9050727.
46. Reuter-Rice K. Transcranial Doppler Ultrasound Use in Pediatric Traumatic Brain Injury. *J Radiol Nurs.* 2017 Mar;36(1):3-9. doi: 10.1016/j.jradnu.2016.11.003.
47. McNamara PJ, Jain A, El-Khuffash A, Giesinger R, Weisz D, Freud L, et al. Guidelines and Recommendations for Targeted Neonatal Echocardiography and Cardiac Point-of-Care Ultrasound in the Neonatal Intensive Care Unit: An Update from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr.* 2024 Feb;37(2):171-215. doi: 10.1016/j.echo.2023.11.016.
48. Hanalioglu D, Burrows BT, Adelson PD, Appavu B. Cerebrovascular dynamics after pediatric traumatic brain injury. *Front Physiol.* 2023 Feb 17;14:1093330. doi: 10.3389/fphys.2023.1093330.
49. Totapally A, Fretz EA, Wolf MS. A narrative review of neuro-monitoring modalities in critically ill children. *Minerva Pediatr (Torino).* 2024 Aug;76(4):556-565. doi: 10.23736/S2724-5276.23.07291-9.
50. Giesinger RE, McNamara PJ. Hemodynamic instability in the critically ill neonate: An approach to cardiovascular support based on disease pathophysiology. *Semin Perinatol.* 2016 Apr;40(3):174-88. doi: 10.1053/j.semperi.2015.12.005.
51. Ince C. Hemodynamic coherence and the rationale for monitoring the microcirculation. *Crit Care.* 2015 Dic 18;19(3):S8. doi: 10.1186/cc14726.
52. Kenny JS, Prager R, Rola P, Haycock K, Basmaji J, Hernández G. Unifying Fluid Responsiveness and Tolerance With Physiology: A Dynamic Interpretation of the Diamond-Forrester Classification. *Crit Care Explor.* 2023 Dec 12;5(12):e1022. doi: 10.1097/CCE.0000000000001022.
53. Natraj R, Ranjit S. BESTFIT-T3: A Tiered Monitoring Approach to Persistent/Recurrent Paediatric Septic Shock - A Pilot Conceptual Report. *Indian J Crit Care Med.* 2022 Jul;26(7):863-870. doi: 10.5005/jp-journals-10071-24246.