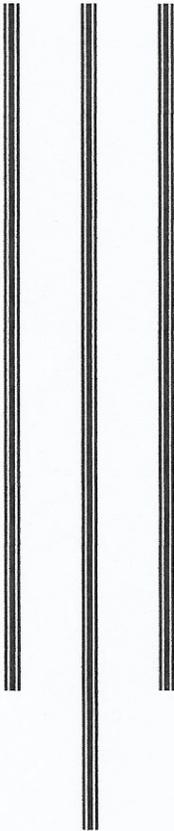




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE MEDICINA  
 DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO  
 HOSPITAL INFANTIL DE MÉXICO FEDERICO GÓMEZ



Programa de ecocardiografía funcional  
 neonatal en el Hospital Infantil de  
 México Federico Gómez, a dos años de  
 su instauración.  
Descripción de variables  
 hemodinámicas y ecocardiográficas y  
 diferencias entre sobrevivientes y no  
 sobrevivientes.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
 ESPECIALISTA EN :

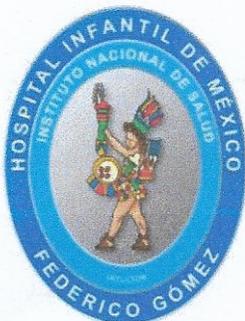
NEONATOLOGÍA

P R E S E N T A:

Dra. Alejandra Quiroga Valdes

TUTOR:

Dr. Daniel Ibarra Ríos



CIUDAD DE MÉXICO

FEBRERO 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## HOJA DE FIRMAS

---

DR. SARBELIO MORENO ESPINOSA

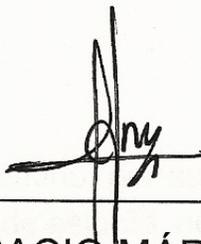
DIRECTOR DE ENSEÑANZA Y DESARROLLO ACADEMICO



---

DR. DANIEL BARRA RÍOS

MEDICO ADSCRITO AL DEPARTAMENTO DE NEONATOLOGIA  
TUTOR DE TESIS.



---

DR. HORACIO MÁRQUEZ GONZÁLEZ

DOCTOR EN CIENCIAS. OFICINA DE APOYO A LA  
INVESTIGACIÓN CLÍNICA

TUTOR METODOLÓGICO DE TESIS

## DEDICATORIA

A los pacientes del Hospital Infantil de México ya que gracias a ellos pude crecer como profesional y como persona, cada día aprendí algo de ellos y de su ejemplo de optimismo, esperanza y voluntad.

A mis padres, hermanos y sobrinos por su esfuerzo, amor, paciencia y dedicación para permitirme este logro profesional. Por no demostrar lo mucho que nos afecta estar lejos para no quebrarme, por entender que, aunque no esté presente siempre están en mi mente y todo es para ustedes.

A mi esposo Omar por tanto amor, tolerancia y entendimiento que me brindaste en este largo proceso, por tus sacrificios y tus infinitas muestras de amor. Por siempre tener en claro nuestras prioridades, por cambiar tu mundo y perseguir mis sueños, por nunca dejarme caer, por siempre hacer mis sueños realidad. Gracias por compartir la vida conmigo.

A mis compañeros en este camino, por sus palabras de aliento, sus correcciones, sus chistes, nuestras noches de estudio, nuestras guardias del terror, nuestros días de llanto, de risa y de complicidad, los desayunos, los gritos, los abrazos, los corajes y las aventuras, nada hubiera sido lo mismo sin ustedes, gracias por su amistad, sus enseñanzas y por permitirme formar parte de sus vidas.

A mis maestros por su paciencia, cariño y entusiasmo para lograr mi formación, este logro es suyo y espero estén orgullosos de él.

A Daniel Ibarra por demostrarme que ver es creer.

## ÍNDICE

Antecedentes.....	5
Marco Teorico.....	7
Planteamiento del Problema.....	13
Pregunta de Investigación .....	13
Justificacion .....	14
Objetivos.....	14
Objetivo Principal.....	14
Objetivos Específicos .....	14
Métodos.....	14
Plan de analisis estadistico.....	15
Consideraciones Eticas .....	15
Descripción de las variables .....	16
Resultados.....	19
Discusión: .....	28
Conclusion .....	31
Limitaciones en el estudio.....	31
Cronograma de actividades .....	32
Referencias.....	32
Anexos.....	36

## **ANTECEDENTES**

La inestabilidad hemodinámica y el desempeño cardíaco inadecuado son comunes en niños críticamente enfermos. La evaluación clínica del estado hemodinámico depende de un examen físico respaldado por signos clínicos como la frecuencia cardíaca, la presión arterial, el tiempo de llenado capilar, la uresis y el lactato sérico. Desafortunadamente, todos estos parámetros son marcadores indirectos del bienestar cardiovascular y proporcionan información limitada con respecto al flujo sanguíneo y la perfusión tisular.<sup>1,2</sup>

Se sabe que la función cardiovascular anormal durante el período neonatal se asocia con un mayor riesgo de morbilidad y mortalidad.

A pesar de la progresiva tecnificación de los cuidados intensivos neonatales, la monitorización hemodinámica del recién nacido se sigue basando la mayoría de los casos en la valoración de la frecuencia cardíaca, la presión arterial, el equilibrio ácido-base, el gasto urinario o en parámetros clínicos escasamente validados como el llenado capilar lo que nos permite una estimación de la perfusión tisular sin lograr la certeza del verdadero estado hemodinámico del paciente.<sup>3</sup>

El mantenimiento de la homeostasis circulatoria neonatal es un verdadero desafío ya que el recién nacido puede presentar diversos problemas hemodinámicos cuya fisiopatología es variable y compleja, y con una expresividad clínica en ocasiones limitada. Esta vulnerabilidad cardiocirculatoria puede explicarse por una serie de peculiaridades propias del recién nacido, como son la inmadurez del miocardio con fuerza contráctil disminuida, la presencia de cortocircuitos fetales, las variaciones en las resistencias vasculares pulmonares y sistémicas y, en definitiva, los complejos cambios hemodinámicos que se producen durante el proceso de transición a la vida extrauterina.<sup>3-5</sup>

El ultrasonido se ha utilizado para obtener imágenes de los órganos del cuerpo durante más de 50 años y a partir de entonces se ha usado como herramienta diagnóstica, evolucionando de tal manera que algunos autores lo pueden citar como el estetoscopio del futuro.<sup>6</sup>

Las ventajas son que el ultrasonido es portátil, seguro al encontrarse libre de riesgo de radiación, se realiza sin movilizar al paciente y es relativamente barato en comparación con otras modalidades de diagnóstico como la resonancia magnética y la tomografía computarizada. La principal limitación en comparación con los rayos X es que la ecografía tiene una penetración limitada en el aire y los huesos y, por lo tanto, las estructuras más profundas no pueden evaluarse bien. Si bien puede disminuir el uso de radiografías usadas en algunos casos se debe tomar e interpretar en conjunto.

La ecocardiografía de punto de atención (POCUS Point Of Care Ultrasound) o también llamada Ecocardiografía funcional Neonatal (EfN) es cuando la valoración se enfoca en el corazón, puede proporcionar información hemodinámica en tiempo real mediante la evaluación de la función cardíaca, las condiciones de carga (precarga y poscarga) y el gasto cardíaco, lo que la convierte en una herramienta ideal para valorar la hemodinámica en neonatos y niños.<sup>1</sup>

La información de la EfN se puede utilizar para proporcionar un tratamiento dirigido como la necesidad de reanimación con líquidos versus el apoyo inotrópico, elegir inotrópicos o vasopresores adecuados y proporcionar intervenciones específicas, como manejo farmacológico para cierre de conducto arterioso, inicio de vasodilatadores pulmonares selectivos en la hipertensión pulmonar entre otros.<sup>1</sup>

El papel de la ecocardiografía funcional neonatal está evolucionando a un ritmo acelerado y en la actualidad se considera una herramienta clave para la evaluación hemodinámica. Recientemente, estudios publicados han demostrado la importancia del uso de la ecocardiografía en el tratamiento de pacientes críticos. Los estudios informaron que el tratamiento clínico se modificó en 30 a 60% de los casos después de la ecocardiografía de punto de atención y ahora se considera una herramienta indispensable en el tratamiento del choque.<sup>7,8,34</sup>

Expertos han enfatizado la importancia de la ecocardiografía en un contexto de choque para la identificación de la fisiopatología subyacente y la categorización del choque como distributivo, hipovolémico, obstructivo o cardiogénico así como la identificación de hipertensión arterial pulmonar.<sup>9,34</sup>

La EfN se ha presentado como una herramienta de apoyo que ha ganado gran interés por su ayuda en la toma de decisiones terapéuticas y se suma junto con los demás datos clínicos formando parte de la exploración física y no reemplazándola, para así, guiar el manejo hemodinámico de forma más fundamentada y adecuada.

La combinación de una adecuada exploración física y una valoración ecocardiográfica funcional han demostrado mejorar los aspectos clínicos, diagnóstico y pronóstico de los pacientes.

## MARCO TEÓRICO

Una de las principales metas del neonatólogo es el reconocimiento temprano del colapso cardiopulmonar y su manejo temprano para así preservar la función cardiorrespiratoria, optimizar la entrega de oxígeno, prevenir el daño a nivel del sistema nervioso central y asegurar la sobrevivencia con desarrollo neurológico normal.<sup>10,11</sup>

Durante el complejo proceso de transición cardiovascular de la vida fetal a la extrauterina, se lleva al paciente de una circulación en paralelo a una circulación en serie. Las resistencias vasculares pulmonares están muy elevadas antes del nacimiento y menos del 15% del gasto cardiaco ventricular combinado perfunde los pulmones, después de la semana 32 esto aumenta aproximadamente a 25%<sup>35</sup>. Por lo tanto, el gasto cardiaco del ventrículo derecho, en su mayoría, atraviesa por el conducto arterioso y perfunde la parte inferior del cuerpo y a la circulación placentaria de baja resistencia. Esto hace que la poscarga ventricular derecha sea baja en la vida intrauterina y aumenta al nacer tras el pinzamiento del cordón y luego vuelve a caer a medida que disminuyen las resistencias vasculares pulmonares. Cuando se pinza el cordón umbilical, si esto ocurre antes de que el bebé comience a respirar, cuando las resistencias pulmonares continúan elevadas, hay una reducción marcada en el retorno venoso. Esto genera que la circulación de transición pueda ser variable dependiendo del tipo y maniobras durante la reanimación neonatal.

El objetivo de la monitorización hemodinámica es evaluar el adecuado estado de perfusión y la oxigenación tisular, que depende principalmente de la precarga, la función cardíaca, la poscarga y la presión adecuada de perfusión. La información fisiológica del monitoreo hemodinámico permite realizar un diagnóstico temprano y brindar un tratamiento específico. La evaluación clínica del estado hemodinámico depende de la monitorización de la frecuencia cardíaca, del llenado capilar, del lactato sérico, la uresis y de la presión arterial. Estos parámetros nos dan una orientación inexacta del estado de oxigenación y perfusión tisular y no están validados para la evaluación cardiovascular en recién nacidos con inestabilidad hemodinámica.<sup>1</sup>

La mayoría de los signos clínicos no tienen valores predictivos adecuados, y varían mucho inter e intra observador como los describe y comprara de Boode y colaboradores.<sup>13</sup>

**Tabla. 1 Visión general de valores predictivos de diferentes variables hemodinámicas<sup>13</sup>.**

VARIABLE	VALOR DE CORTE	POBLACION	DEFINICION (COMPARADOR) DE FLUJO SISTEMICO BAJO	S	E	VPP	VPN	REFERENCIA
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino, PDA incluido	GCI < 150 mlkgmin	42%	79%	44%	78%	Kluckow, 1996
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino, PDA excluido	GCI < 150 mlkgmin	38%	93%	75%	73%	Kluckow, 1996
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino	GCI < P10	57%	50%	24%	81%	Pladys, 1999
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino	GCI < 150 mlkgmin	100%	54%	18%	100%	Pladys, 1999
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino, edad < 5 horas (de vida)	Flujo VCS < 30 mlkgmin	80%	60%	17%	97%	Kluckow, 1996
PAM	< 30 mmHg	Pretérmino, edad < 12 horas (de vida)	Flujo VCS < 41 mlkgmin	59%	77%	36%	90%	Osborn, 2004
PAM	< EG (semanas)	Pretérmino, edad < 12 horas (de vida)	Flujo VCS < 41 mlkgmin	30%	88%	71%	85%	Osborn, 2004
LC	≥ 3s	Pretérmino, edad < 12 horas	Flujo VCS < 41 mlkgmin	55%	80%	33%	91%	Osborn, 2004
LC	≥ 4s	Pretérmino, edad < 12 horas	Flujo VCS < 41 mlkgmin	29%	96%	55%	88%	Osborn, 2004
Lactato	> 2.8 mmol/l	PMBN, edad < 12 horas	Flujo VCS < 40 mlkgmin	100%	60%	NA	NA	Miletin, 2009
DTCP	≥ 2 °C	Pretérmino, edad < 12 horas	Flujo VCS < 41 mlkgmin	40%	69%	23%	83%	Osborn, 2004
PAM y/o LC	PAM < 30 mmHg LC ≥ 3s	Pretérmino < 12 horas	Flujo VCS < 41 mlkgmin	78%	63%	31%	NA	Osborn, 2004
LC y Lactato	LC ≥ 4s Lact > 4 mmol/l	PMBN < 12 horas	Flujo VCS < 40 mlkgmin	50%	97%	80%	88%	Miletin, 2009

DTCP: Diferencia de temperatura central y periférica, GCI: Gasto cardiaco izquierdo, LC: Llenado capilar, PAM: presión arterial media, PMBN: peso muy bajo al nacimiento.

A pesar de sus numerosas limitaciones la presión arterial media continúa siendo el marcador mas usado para valorar compromiso circulatorio, confiar en este valor de forma aislada es un enfoque demasiado simple para un problema mucho mas complejo. Una presión arterial normal no equivale a un flujo sanguíneo normal en los organos.<sup>11</sup>

Como ejemplo Osbom y colaboradores<sup>14</sup>, encontraron que tanto la presión sistólica y la presión arterial media son predictores inadecuados de bajo flujo sistémico comparado con el flujo de la vena cava superior (tomado como marcador de flujo sistémico), detectando apenas un 30% de correlacion.

Karrat y colaboradores analizaron 1060 ecografías funcionales de 485 neonatos con una edad de  $28.4 \pm 4.6$  y un peso de  $1234 \pm 840$  para evaluar la relación entre el gasto cardiaco y la presión arterial. Las indicaciones para realizar el estudio fueron PCA en un 56%, HAP en un 33% e hipotensión en un 11%. El gasto cardiaco izquierdo presentó una correlación lineal débil positiva con la presión arterial sistólica y la presión de pulso y negativamente con la edad gestacional. No hubo correlación con la presión arterial media. Los pacientes en percentil 3 se identificaron solo 22 de los 119 pacientes con bajo gasto cardiaco (18%)<sup>38</sup>.

Esto puede tener implicaciones importantes, ya que se ha relacionado el bajo flujo sistémico en las primeras horas de vida con el desarrollo de lesión cerebral y alteración del desarrollo cognitivo en el recién nacido prematuro.<sup>15</sup>

El estado de choque se define como un estado de síntesis de energía celular deteriorada (ATP) cuando el suministro de oxígeno al tejido ya no satisface la demanda de oxígeno del tejido. En la primera fase del choque, la perfusión y el suministro de oxígeno se mantienen hacia los llamados órganos vitales (corazón, cerebro y las glándulas suprarrenales) por vasodilatación regional selectiva en combinación con vasoconstricción a los tejidos no vitales, como los músculos, la piel, los riñones y los tejidos espláncnicos.

Esta etapa compensada de choque es el resultado de mecanismos neuroendocrinos, como un gasto cardíaco que disminuye y la resistencia vascular sistémica aumenta, la presión arterial en realidad permanece en el rango normal en un choque compensado.<sup>11</sup>

Cuando esta redistribución falla, la perfusión y la oxigenación de los órganos vitales se deterioran, resulta en una disfunción multiorgánica. Es en esta fase de choque no compensado que se puede esperar una hipotensión sistémica.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque controvertidos, los datos sugieren que en los recién nacidos muy prematuros el cerebro anterior puede considerarse un órgano no vital, ya que la vasculatura que abastece al cerebro anterior se contrae en respuesta a una disminución en la perfusión.

Todo esto implica que en un bebé vulnerable, muy prematuro, un enfoque basado en la presión podría conducir a una perfusión y oxigenación deterioradas de la corteza cerebral durante el estado de choque compensado, mientras que un gasto cardíaco bajo en presencia de hipotensión es indicativo de una etapa de choque no compensado.<sup>11</sup> (Resultados Figura 2.)

Sin un adecuado entendimiento de los cambios fisiológicos de transición en los recién nacidos y su respuesta ante situaciones adversas, el lograr los objetivos de manejo y estabilidad hemodinámica son un reto que puede llevar a suposiciones incorrectas y manejo terapéutico inadecuado.<sup>16</sup>

La ecocardiografía utiliza tecnología de ultrasonido para obtener imágenes del corazón y estructuras vasculares. Los ultrasonidos son frecuencias de sonido superiores al rango audible de 20,000 ciclos por segundo. La máquina de ultrasonido consiste en un procesador central y un transductor que puede convertir la energía mecánica (sonido) en energía eléctrica y viceversa a través de cristales piezoeléctricos dentro del transductor. Esto generará energía mecánica a través de una serie de ciclos sinusoidales de alternancia de compresión y rarefacción. Esta energía producida pasa como un rayo al corazón. El haz se desplaza en línea recta hasta que encuentra estructuras con diferentes impedancias acústicas, como entre la sangre y el tejido. Cuando esto sucede, parte de la energía se refleja de nuevo en los mismos cristales piezoeléctricos y la señal más suave restante se transmite de manera distal. La energía reflejada también llamada ecos de ultrasonido construirá la imagen cardíaca.<sup>17</sup>

Para realizar la ecocardiografía funcional, es necesario tener una máquina de ultrasonido que incluya un modo bidimensional (2D), modo M, onda pulsada y Doppler de onda continua, así como Doppler de flujo de color. Para poder evaluar el ciclo cardíaco dinámicamente se requiere la conexión del electrocardiograma del monitor del paciente.<sup>17</sup>

Las ventanas estándar para la ecocardiografía en niños incluyen las vistas paraesternales (tórax superior izquierdo justo lateral al esternón), las vistas apicales (tórax lateral izquierdo justo inferior y lateral al pezón), las vistas subcostales (debajo de la región del xifoides) y la vista supraesternal (en la muesca supraesternal)<sup>17</sup>

La ecocardiografía realizada por el cardiólogo en el recién nacido tiene habitualmente como fin la valoración estructural y de la función, generalmente para descartar cardiopatías congénitas y disfunción miocárdica global.<sup>5</sup>

No sorprende que el uso de la ecocardiografía funcional este ganando interés entre los neonatólogos e intensivistas, como una herramienta de soporte en la toma de decisiones clínicas para pacientes con inestabilidad hemodinámica. Como cualquier otra investigación, tiene ciertas limitaciones y la limitación más importante es su naturaleza intermitente y operador dependiente.<sup>1</sup>

Existe una publicación previa en nuestra unidad por Hernández y Becerra en el 2016 donde se realizaron un total de 30 estudios en 15 pacientes interconsultando al Servicio de Cardiología para realizar el estudio. La indicación más frecuente para solicitar el estudio fue inestabilidad hemodinámica y sepsis representando el 53.3%. En 11 pacientes (73.3%) se registraron modificaciones al tratamiento posterior al EfN<sup>26</sup>.

La EfN se encuentra rápidamente disponible en la cama del paciente, es un método no invasivo y portátil que puede ser usado para obtener una valoración en tiempo real y junto la exploración clínica poder brindar una terapia dirigida específicamente a la patología encontrada<sup>5,18,19</sup>. Existen guías publicadas de la Sociedad Americana de Ecocardiografía en conjunto con la Asociación Europea de Ecocardiografía y la Asociación Europea de Cardiólogos acerca del entrenamiento que debe realizar el neonatólogo que se desea capacitar así como las competencias que debe demostrar<sup>19</sup>. Este año (2019) se publicó un suplemento en la revista *Pediatric Research* de la Sociedad Europea de Neonatología acerca del uso del ecocardiograma para la evaluación del neonato con compromiso hemodinámico<sup>36</sup>. En Canadá y Estados Unidos se denomina a la técnica Targeted Neonatal Echocardiography (Ecocardiografía enfocada en el neonato) y en Europa Neonatologist Performed Echocardiography (Ecocardiografía realizada por el neonatólogo).

La ecocardiografía funcional es una herramienta cuyas indicaciones y objetivos de uso son claras y precisas, cuyo propósito final no es reemplazar la valoración cardíaca estructural completa sino mas bien valorar la fisiología subyacente con marcadores ecocardiográficos para brindar una mejor orientación terapéutica y seguir los cambios tras inicio de manejo recomendado brindando ventajas para su uso como son el acceso inmediato de la valoración hemodinámica en situaciones críticas así como la comprensión de las patologías complejas y su evolución.

El paciente se beneficia tanto por la realización de un diagnóstico oportuno, como a través del monitoreo de una terapéutica instaurada.<sup>20</sup>

Es un método diagnóstico muy útil para el personal de la salud adecuadamente entrenado que trabaja en áreas críticas ya que su implementación puede detectar alteraciones hasta en un 33% de los pacientes y patologías críticas hasta en un 7%

Lee y col. realizaron un estudio en donde un neonatólogo realizó la valoración para diagnosticar la persistencia de conducto arterioso obteniendo un 69% de sensibilidad y un 88% de especificidad, con un VPP de 92%, concluyendo que con mejor programa de entrenamiento los resultados se aproximan a los de personal especializado.<sup>21</sup>

Las aplicaciones clínicas de la ecocardiografía dentro de la unidad de cuidados intensivos neonatales se pueden dividir en los siguientes temas.<sup>5,11,16,17,22</sup>

- Evaluación de la función cardíaca
- Evaluación de la presión de llenado y la respuesta a líquidos
- Evaluación de la hemodinámica
- Diagnóstico de la hipertensión pulmonar
- Diagnóstico de derrame pericárdico y taponamiento cardíaco
- Evaluación de la circulación de transición del recién nacido
- Evaluación del conducto arterioso
- Evaluación de la colocación de un catéter, tubo endotraqueal, sonda.
- Orientación de las intervenciones dentro de la unidad de cuidados intensivos.

Mertens y cols. clasifica las indicaciones de estudio en 2 grupos siendo el primero un estudio exhaustivo o estándar y el segundo siendo un estudio dirigido a una pregunta específica, establece una posición donde esta competencia no debe ser generalizada a todos los neonatólogos si no que debe ser algún miembro del equipo con formación extensa para que puedan consultar los demás.

El grupo de valoración estándar incluye PCA por sospecha clínica, antecedente de asfixia perinatal para valorar la función miocárdica, estados de transición cardiovascular anormal con hipotensión, acidosis láctica u oliguria, la sospecha de hipertensión pulmonar persistente y malformaciones cardíacas.

El grupo de valoración dirigida incluye confirmar el sitio de colocación de un acceso vascular central, valoración para descartar secuestro de líquido a terceros espacios como derrame pericárdico o pleural, presencia de trombos y canulación para ECMO.<sup>10</sup>

El propósito de la valoración ecocardiográfica basado en el monitoreo hemodinámico es brindar información fisiológica en tiempo real para así dar sustento a las decisiones clínicas.

Este enfoque está diseñado para fortalecer las decisiones médicas con mejores fundamentos, entender de forma clara los procesos fisiológicos y monitorizar la respuesta al tratamiento.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el campo de la Neonatología y el paciente críticamente enfermo, existen datos clínicos inespecíficos en torno a la valoración hemodinámica inicial basada en parámetros clínicos, así como en el seguimiento y respuesta a los tratamientos establecidos. Sin embargo en los últimos años se han capacitado neonatólogos alrededor del mundo para complementar la valoración hemodinámica con el uso de ultrasonografía en tiempo real al lado de la cama del paciente. En 2016 un miembro del equipo de la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del Hospital Infantil de México Federico Gómez realizó el entrenamiento básico y avanzado en el programa Canadiense de acuerdo a las Guías Publicadas<sup>19</sup>.

Los resultados han sido favorables a nivel internacional, sin embargo, es preciso determinar los resultados en nuestra población para poder determinar los algoritmos de manejo aplicables con base al recurso que cuenta nuestra unidad y delimitar a la población que se beneficiaría con dicha valoración.

### **PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿Qué impacto ha tenido la Ecocardiografía funcional neonatal en la toma de decisiones del manejo del paciente críticamente enfermo en la UCIN del Hospital Infantil de México y cuáles han sido las características hemodinámicas y ecocardiográficas de dichas valoraciones?

## **JUSTIFICACIÓN**

La valoración enfocada en la función cardíaca y la hemodinamia neonatal dirigida ante un escenario clínico específico ha demostrado en varios estudios retrospectivos que logra modificar el manejo en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales que cuentan con este recurso.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

- Describir las variables clínicas y hemodinámicas recolectadas mediante Ecocardiografía Funcional Neonatal y correlacionarlos con el estado clínico del paciente así como el resultado en la toma de decisiones.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las principales situaciones en las que se realiza una valoración ecocardiográfica funcional en pacientes de UCIN.
- Frecuencia de eventos en donde se llevo a cabo una recomendación de manejo.
- Respuesta del paciente tras implementación de la recomendación brindada.
- Frecuencia de hallazgos incidentales tras valoración ecocardiográfica funcional.

## **MÉTODOS**

Diseño: Es un estudio de tipo descriptivo, retrospectivo.

Población de estudio: Pacientes en edad neonatal ingresados en la Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales del Hospital Infantil de México Federico Gómez durante el periodo de enero 2017 a diciembre 2018 (582 ingresos)

Criterios de Inclusión: pacientes ingresados en la UCIN y que se les solicitó valoración ecocardiográfica funcional el cual fue realizado por un médico adscrito al servicio con capacitación y experiencia en Ecocardiografía Funcional.

Criterios de Exclusión: presencia de cardiopatía congénita compleja.

Tamaño de la muestra: Se realizaron 269 estudios en 119 pacientes que corresponde al 20% del total de ingresos durante el periodo 2017-2018.

Técnica de muestreo: no probabilística, muestreo por conveniencia.

Todos los estudios se realizaron por un médico adscrito al servicio de UCIN con entrenamiento en Ecocardiografía Funcional Neonatal. Las valoraciones se realizaron con un equipo de ultrasonido Acuson x300 ® (Siemens Healthcare) con transductor neonatal de 5-8 Mz donde se guardaron las imágenes obtenidas y se llenó a su vez una hoja de datos con los valores obtenidos, signos vitales y clínica del paciente. Una vez realizado el estudio se emitió una recomendación del manejo a seguir.

### **PLAN DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Las variables con distribución normal se describen con promedios y desviación estándar. Las variables con distribución no normal se describen con medianas y rangos intercuartílicos. Se analizó si existía una correlación lineal entre el gasto cardíaco izquierdo y la presión arterial sistólica con la prueba de Pearson. Se analizó las diferencias de las variables ecocardiográficas entre sobrevivientes y no sobrevivientes con la Prueba de U de Mann Whitney (asumiendo que la distribución de los datos no fue paramétrica). Se calculó el área bajo la curva de las variables de gasto cardíaco derecho e izquierdo para determinar su asociación cuantitativa con los sobrevivientes. Se utilizó el paquete estadístico SPSS (Statistics for Windows, Version 21.0).

### **CONSIDERACIONES ÉTICAS**

De acuerdo a lo establecido en el reglamento de la Ley General de Salud en materia de Investigación para la Salud en el artículo 17, fracción II, se consideró a este estudio como una investigación sin riesgo, motivo por el cual no fue necesario obtener el consentimiento informado por parte de los tutores de los pacientes incluidos.

## DESCRIPCIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>Edad</b>	Tiempo que ha transcurrido desde el nacimiento hasta el instante de existencia de la misma	Cuantitativa discreta	Días
<b>Sexo</b>	Conjunto de peculiaridades que caracterizan a los individuos de una especie dividiendolos en masculinos y femeninos	Cualitativa nominal	Masculino Femenino
<b>Edad gestacional al nacimiento</b>	Duración del embarazo calculada desde el primer día de la última menstruación normal hasta el nacimiento	Cuantitativa discreta	Semanas y días completos
<b>Peso</b>	Masa corporal alcanzada en relación con la edad	Cuantitativa continua	Kilogramos
<b>Tipo de valoración</b>	Variables y mediciones realizadas en el estudio, depende de la gravedad del paciente	Cualitativa dicotómica	Completo Incompleto (urgente)
<b>Frecuencia cardíaca</b>	Numero de veces que late el corazón por minuto, determinado por equipo de monitorización de signos vitales	Cuantitativa discreta	Latidos por minuto
<b>Presión arterial sistólica</b>	Es el valor máximo de la presión arterial en sístole. Representa la fuerza contráctil y gasto cardíaco del ventriculo izquierdo	Cuantitativa discreta	mmHg
<b>Presión arterial diastólica</b>	Es el valor minimo de presión arterial cuando el corazón esta en diastole. Refleja la presión de descanso de la sangre contra las paredes de los vasos	Cuantitativa discreta	mmHg

VARIABLE	DEFINICIÓN	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>Gasto cardiaco izquierdo</b>	<p>Volumen de sangre expulsado por el ventrículo izquierdo en el lapso de un minuto. Se mide el área de la aorta (Ao) en los puntos de inserción de la valva en eje largo o corto y se divide entre 2 (radio), se miden tres integrales velocidad tiempo del Doppler pulsado de la Ao a nivel de la válvula y se promedian, se obtiene la FC de ese momento.</p> <p>El gasto cardiaco se calcula <math>(3.1416 \times \text{radio}^2) \times \text{IVT} \times \text{FC}</math></p>	Cuantitativa	ml/kg/min
<b>FEVI por Simpson</b>	<p>Fracción de eyección del ventrículo izquierdo medido por ecocardiografía en un modo biplanar</p>	Cuantitativa	Porcentaje
<b>FEVI por modo M</b>	<p>Fracción de eyección y acortamiento calculado por planimetría en un corte en eje largo o eje corto midiendo el diámetro diastólico y sistólico del ventrículo izquierdo.</p> <p>FE: <math>\text{DFD}^3 - \text{DFS}^3 / \text{DFD}^3</math></p>	Cuantitativa	Porcentaje
<b>Fracción de acortamiento por modo M</b>	<p>Indice mas utilizado para estimar la función ventricular izquierda. Es la relación entre el diametro diastolico y el diametro sistólico del ventrículo izquierdo.</p> <p>FA: <math>\text{DFD} - \text{DFS} / \text{DFD} \times 100</math></p>	Cuantitativa	Porcentaje
<b>Gasto cardiaco derecho</b>	<p>Volumen de sangre expulsado por el ventriculo derecho en el lapso de un minuto. Se mide el área de la AP en los puntos de inserción de la valva en eje largo o corto y se divide entre 2 (radio), se miden tres integrales velocidad tiempo del Doppler pulsado de la AP a nivel de la válvula y se promedian, se obtiene la FC de ese momento.</p> <p>El gasto cardiaco se calcula <math>(3.1416 \times \text{radio}^2) \times \text{IVT} \times \text{FC}</math></p>	Cuantitativa	ml/kg/min

VARIABLE	DEFINICIÓN	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDICIÓN
<b>TAPSE</b>	Excursión sistólica del anillo tricúspideo, evalúa la función del ventrículo derecho. Contractilidad longitudinal (base a ápex) del VD.	Cuantitativa	mm
<b>Cambio fraccional de área del ventrículo derecho (CFA)</b>	En 4 cámaras o imagen de ventrículo derecho tres cámaras, área al final de la diástole- área al final de la sístole/ área al final de la diástole. Interpretación uniplanar de la fracción de acortamiento del VD.  CFA: $AFD-AFS/AFD \times 100$	Cuantitativa	Porcentaje
<b>Tiempo de eyección pulmonar (TEAP)</b>	Medición en milisegundos del inicio al final del latido en un Doppler pulsado de la arteria pulmonar a nivel de las valvas. Inversamente relacionada a la distensibilidad de la AP	Cuantitativa	ms
<b>Tiempo de aceleración de la arteria pulmonar (TAAP)</b>	Tiempo en milisegundos del inicio del latido a la aceleración máxima observada en un latido haciendo un Doppler pulsado de la arteria pulmonar a nivel de las valvas. Correlación inversa con resistencias vasculares pulmonares (RVP) y presión media de la AP.	Cuantitativa	ms
<b>IRVp</b>	Tiempo de aceleración de la pulmonar indizado con el tiempo de eyección se obtiene dividiendo el TEAP/TAAP. Directamente relacionado con las resistencias vasculares pulmonares.	Cuantitativa	-
<b>PSVD por insuficiencia tricúspidea.</b>	Estimación por jet regurgitante de la tricúspide con espectro completo de la velocidad máxima por ley de Bernoulli ( $4V^2$ ) se suman 5 mmHg de presión atrial	Cuantitativa	mmHg

## **RESULTADOS**

Se realizaron 269 estudios en 119 pacientes (20% del total de ingresos durante el bienio 2017-2018). Cada neonato recibió una media de 2 estudios (rango de uno a 12 estudios). 50 pacientes fueron mujeres (42%) y 69 hombres (58%). 248 estudios se realizaron con el protocolo completo (92%) y solo 21 estudios se realizaron urgentes (8%) donde se tomaron mediciones específicas en el menor tiempo posible por la gravedad del paciente. Los datos demográficos se describen en la **Tabla 1**.

La **Tabla 2** describe el grupo de pacientes y los diagnósticos de trabajo por los cuales se evaluaron ante un escenario clínico de inestabilidad hemodinámica; se incluye la mortalidad, así como cuál fue la causa de la última valoración. 18 de 119 pacientes fallecieron (15%) lo que refleja la gravedad de la población manejada en el Departamento de Cuidados Intensivos Neonatales. Los signos vitales al tiempo de la consulta y los índices de desempeño del ventrículo derecho e izquierdo se describen en la **Tabla 3 y 4**.

**Tabla 1. Datos demográficos:**

	<b>Rango</b>	<b>Mediana</b>	<b>P-25</b>	<b>0-75</b>
<b>Edad gestacional (semanas)</b>	25 a 42	35	30	38
<b>Peso (kg)</b>	0.5 a 4.3	2.2	1.32	2.9
<b>Edad corregida (semanas)</b>	26 a 55	37	31	40

**Tabla 2. Diagnóstico de trabajo inicial con el cual se evaluaron a los pacientes, mortalidad y causa de la última valoración.**

Grupo de pacientes. Diagnósticos de trabajo	Frecuencia	Porcentaje	Mortalidad	Ultima valoración
Prematuro	48	40.30%	9	Choque (4) CAP <sup>3</sup> (3) HAPa (2)
SDR <sup>1</sup> en niño de término	22	18.50%	2	Choque (1) HAPc (1)
Hernia diafragmática	14	11.80%	4	HAPa (4)
Sepsis	9	7.60%	1	HAPa
Quirúrgico abdominal	9	7.60%	0	
Prematuro tardío	5	4.20%	0	
Deshidratación hipernatémica	4	3.40%	0	
MAV <sup>2</sup>	3	2.50%	0	
Quirúrgico de tórax	3	2.50%	1	HAPa
Neuroquirúrgico	2	1.70%	1	Choque

SDR: Síndrome de Dificultad Respiratoria, 2 MAV: Malformación ArterioVenosa, 3 CAP: Conducto Arterioso Permeable, HAPa: Hipertensión Arterial Pulmonar aguda, HAPc: Hipertensión Arterial Pulmonar crónica

**Tabla 3. Variables hemodinámicas del ventrículo derecho**

Parámetro	Mediana	P-25	0-75
CFA (%)	44	38	52
PSVD (mm Hg)	42	33	54
Tiempo eyeción pulmonar (ms)	178	160	190
Tiempo de aceleración de la pulmonar (mm Hg)	50	40	67
IRVp (ecocardiograma)	3.4	2.64	4.4
Parámetro	Promedio	DE	
GC derecho (ml/kg/min)	206	81.4	
TAPSE (mm)	8.8	2.5	

CFA: Cambio fraccional de área, PSVD: Presión sistólica del ventrículo derecho, IRVp: índice de resistencias vasculares pulmonares, GC: Gasto cardíaco, TAPSE: Excursión sistólica del anillo tricúspideo.

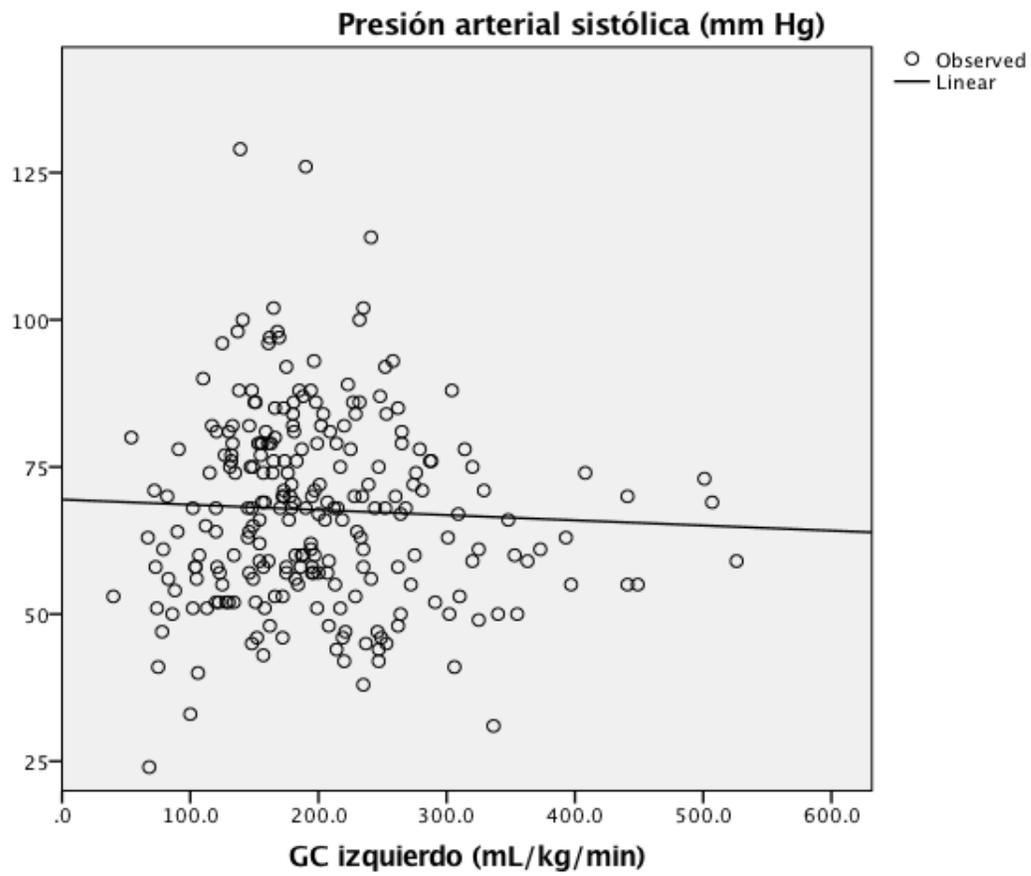
**Tabla 4. Variables hemodinámicas del ventrículo izquierdo**

Parámetro	Mediana	P-25	0-75
GC izquierdo (mL/kg/min)	186	148	236
FEVI (modo M)	68	62	72
FA (modo M)	35	32	39
FEVI (Simpson)	66	62	70

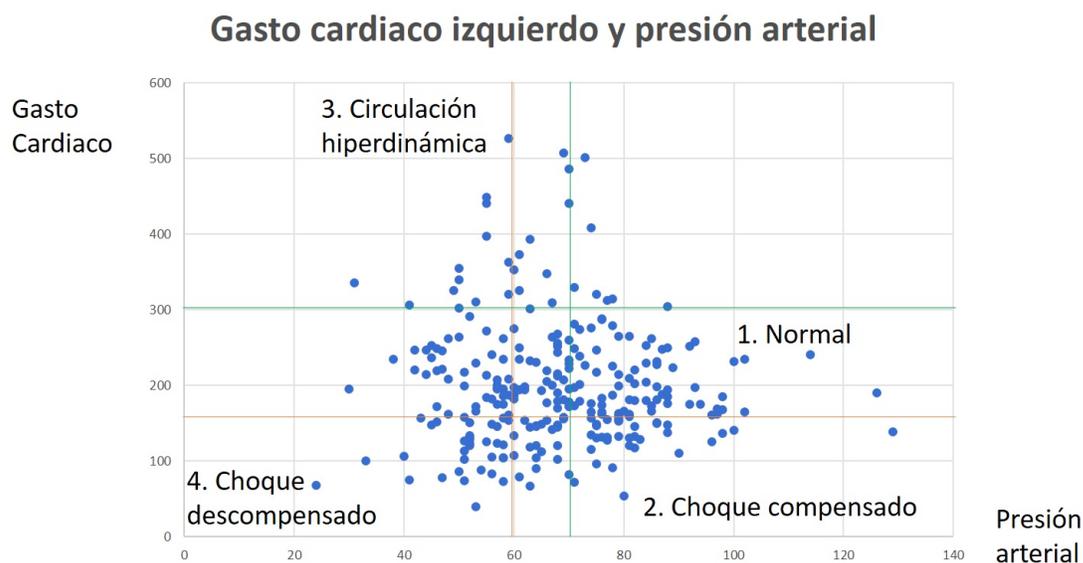
GC: gasto cardíaco, FEVI: Fracción de eyección del ventrículo izquierdo, FA: Fracción de acortamiento.

No se encontró correlación entre la presión arterial sistólica sistémica y el gasto cardíaco izquierdo. La **Figura 1** muestra la relación entre la presión arterial sistólica y el gasto cardíaco izquierdo. La **Figura 2** muestra los 4 escenarios que pueden encontrarse en el neonato con inestabilidad hemodinámica al analizar presión arterial y gasto cardíaco.

Figura 1. Dispersión entre presión arterial sistólica y gasto cardiaco derecho.



**Figura 2. Diferentes escenarios de inestabilidad hemodinámica encontrada en las consultas.**



Cuadrante	Gasto Cardíaco	Presión arterial	Situación
1	Normal/Alto	Normal/Alto	Normal
2	Bajo	Normal/Alta	Choque compensado
3	Bajo	Bajo	Choque descompensado
4	Normal/Alto	Bajo	Circulación hiperdinámica

**Fuente:**  
 • Consultas Ecocardiografía Funcional HIMFG 2017-2018  
 • De Boode. 2018 Jul;84(Suppl 1):57-67.

Las indicaciones para los estudios fueron **hipertensión arterial pulmonar aguda (HPa)** en 101 pacientes (38%), **persistencia del conducto arterioso (PCA)** en 73 (27%), **evaluación de hemodinamia sistémica** en 51 (19%), **hemodinamia pulmonar/hipertensión pulmonar crónica (HPc)** en 38 (14%) y **búsqueda de trombos/vegetaciones** en 6 (2%). Ver **Tabla 5**.

142 consultas resultaron en una recomendación para modificar el manejo (53%). 51 consultas (19%) presentaron hallazgos incidentales (catéteres mal posicionados, trombos, enfermedad estructural cardíaca menor). Ver **Tabla 6**.

**Tabla 5. Indicaciones para la realización del estudio y propuesta de cambio en el manejo.**

<b>Consultas (269)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje(%)</b>
<b>HPa (N 101)</b>		
Iniciar terapia vasodilatadora pulmonar	23	22
Escalar vasodilatadores pulmonares	1	1
Desescalar vasodilatadores pulmonares	10	10
Iniciar vasopresores sistémicos (sin acción en resistencias vasculares pulmonares)	10	10
Cambio en vasopresores sistémicos	1	1
Desescalar vasopresores sistémicos	4	4
Manejo de atelectasia	1	1
Infusión de prostaglandinas	1	1
Cambio total	51	50
<b>PCA (N 73)</b>		
Conservador a médico	18	25
Medico a conservador	14	19
Medico a quirúrgico	5	7
Evitar cirugía	1	1
Cambio total	38	52
<b>Hemodinamia sistémica (N 51)</b>		
No iniciar manejo	5	10
Iniciar inotrópicos y/o vasopresores	12	23
Escalar inotrópicos y/o vasopresores	9	18
Cambio en el tipo de inotrópicos y/o vasopresores	1	2
Des escalar inotrópicos y/o vasopresores	5	10
Cambio total	32	63

<b>Hemodinamia pulmonar/hipertensión pulmonar crónica (N 38)</b>		
Diuréticos para HPc / Dilatación del ventrículo derecho	10	26
Diuréticos para FOP grande / CIA pequeña	7	18
Diuréticos para CIV	1	3
Sildenafil	1	3
Cambio total	19	50
<b>Búsqueda de trombos/vegetaciones (6) Dos encontrados</b>		

**Tabla 6. Hallazgos incidentales encontrados.**

<b>Hallazgo</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Catéter mal posicionado	36	13
Trombos	6	2.2
CIV	2	0.7
Vegetación grande	1	0.4
Embolismo aéreo	1	0.4
Catéter arterial doblado intraluminal	1	0.4
CIA ostium secundum	1	0.4
Displasia tricuspídea	1	0.4
Vena cava superior izquierda a seno coronario	1	0.4
Derrame pleural	1	0.4
<b>Total</b>	<b>51</b>	<b>19</b>

La **Tabla 7** muestra las diferencias de las variables ecocardiográficas entre sobrevivientes y no sobrevivientes. Se encontraron estadísticamente significativas como variables clínicas la hipotensión y como variables ecocardiográficas aquellas relacionadas al desempeño del ventrículo derecho (Gasto cardiaco derecho, Cambio fraccional de área y TAPSE) y aumento de las resistencias vasculares pulmonares (Tiempo de aceleración de la arteria pulmonar). La **Tabla 8** muestra las causas de la última valoración, frecuencia y porcentaje de pacientes que fallecieron encontrando la mitad relacionada a valoraciones por hipertensión pulmonar.

Se calculó el área bajo la curva de las variables de GC derecho e izquierdo para determinar su asociación cuantitativa con los sobrevivientes, encontrando un area bajo la curva de 0.67 y 0.65 respectivamente (**Figura 3**).

**Tabla 7. Diferencias de las variables ecocardiográficas entre sobrevivientes y no sobrevivientes.**

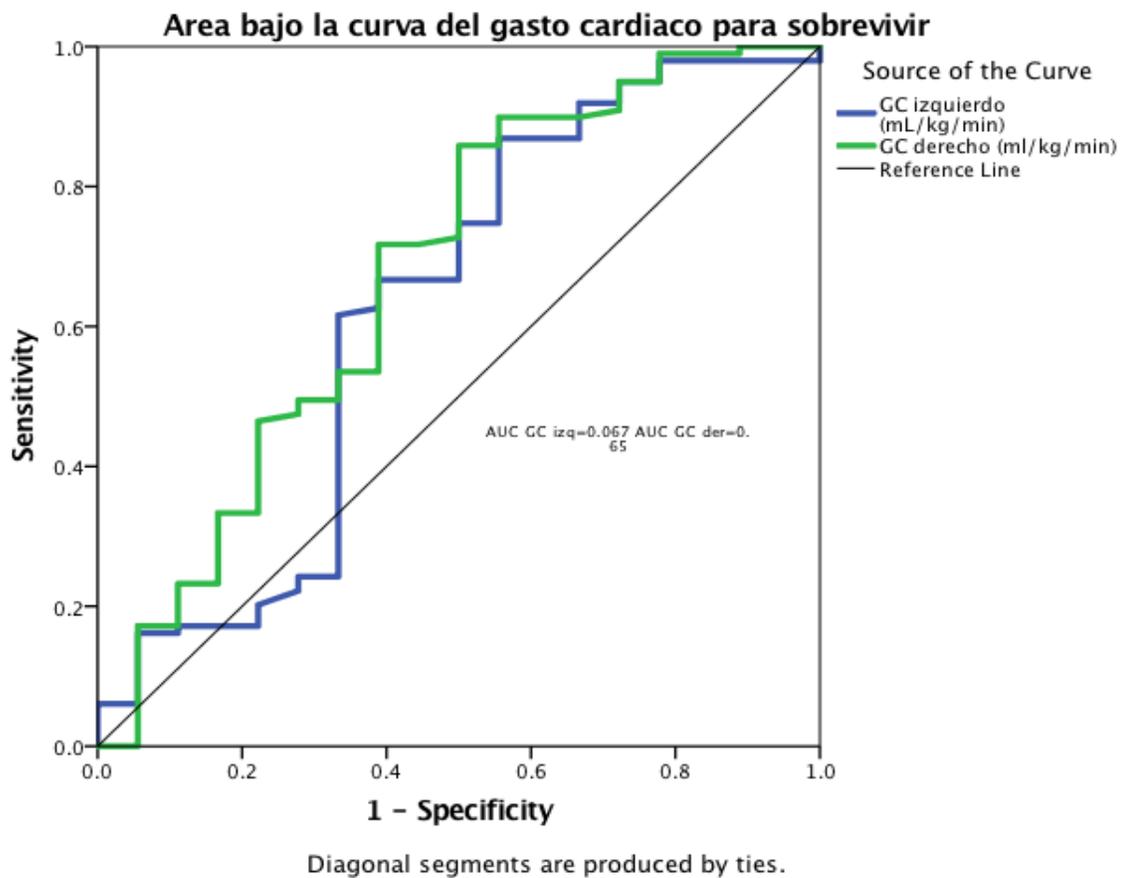
<b>Diferencias de las variables ecocardiográficas entre sobrevivientes y no sobrevivientes.</b>							
<b>Variables</b>	<b>Defunción</b>						<b>valor de p</b>
	<b>Sobrevivientes</b>			<b>No sobrevivientes</b>			
	<b>n</b>	<b>101</b>		<b>n</b>	<b>18</b>		
	<b>Mediana</b>	<b>P25</b>	<b>P75</b>	<b>Mediana</b>	<b>P25</b>	<b>P75</b>	
Edad gestacional (semanas)	35	30	38	32.6	30	38	0.4
Peso (kg)	2.1	1.36	2.9	2.12	0.93	3	0.33
Edad corregida (semanas)	37	33	40	33	30	38	0.09
<b>Presión arterial sistólica (mm Hg)</b>	<b>68</b>	<b>57</b>	<b>80</b>	<b>49</b>	<b>44</b>	<b>61</b>	<b>0.001</b>
<b>Presión arterial diastólica (mm Hg)</b>	<b>42</b>	<b>31</b>	<b>51</b>	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>39</b>	<b>0.008</b>
Frecuencia cardiaca (min)	147	137	163	151	147	170	0.3
<b>GC derecho (ml/kg/min)</b>	<b>182</b>	<b>145</b>	<b>235</b>	<b>139.5</b>	<b>84</b>	<b>187</b>	<b>0.01</b>
<b>TAPSE (mm)</b>	<b>8.7</b>	<b>7.1</b>	<b>9.8</b>	<b>7.9</b>	<b>6.5</b>	<b>8.4</b>	<b>0.01</b>
<b>CFA VD (%)</b>	<b>46</b>	<b>40</b>	<b>53.3</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>46.8</b>	<b>0.03</b>
PSVD (mm Hg)	40	28	45	47	34	64	0.1
Tiempo eyección pulmonar (ms)	181	163	197	172	152	210	0.6
<b>Tiempo de aceleración de la pulmonar (mm Hg)</b>	<b>50</b>	<b>40</b>	<b>70</b>	<b>43</b>	<b>37</b>	<b>52</b>	<b>0.02</b>
IRVp (ecocardiograma)	3.4	2.6	4.5	3.9	3.28	4.9	0.07
GC izquierdo (mL/kg/min)	181	146	217	152.5	100	235	0.1
FEVI (modo M)	67	62	72	63	55	75	0.33
FA (modo M)	34	31	37	36.5	29	42	0.4
FEVI (Simpson)	65	61	69	63	60	66	0.3
Foramen oval (mm)	2	1	2	2	1	2	0.88
PCA (mm)	3	2	4	2	2	4	0.56

Prueba de U de Mann Whitney (se asume que la distribución de los datos no fue paramétrica)

**Tabla 8. Causa de la última valoración, frecuencia y porcentaje de pacientes que fallecieron.**

Causa de la última valoración en pacientes que fallecieron	Frecuencia	Porcentaje
HAPa	8	44%
Hemodinamia sistémica (Choque)	6	33%
Conducto arterioso persistente	3	17%
Hemodinamia pulmonar (HAPc)	1	6%

**Figura 3. Área bajo la curva del gasto cardiaco para sobrevivir.**



## **DISCUSIÓN:**

Este estudio se realizó en una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatales de una institución de 3er nivel de atención, siendo uno de los principales centros de referencia en la Ciudad de Mexico con la intención de demostrar el desempeño del programa de ecocardiografía funcional neonatal, realizada por un neonatólogo capacitado para valorar las condiciones hemodinámicas en pacientes críticamente enfermos.

Diversos estudios han descrito resultados similares a los obtenidos en nuestro estudio en donde se realizan en promedio 150 estudios por año<sup>5,16,23</sup>. En nuestro estudio se realizó una media de 2 estudios (rango 1-12 estudios), lo cual nos permitió valorar en la mayoría de los pacientes la respuesta a la recomendación dada tras una valoración inicial.

Como se ha mencionado anteriormente el uso de este recurso puede ser por diversas causas y en la literatura internacional se describe que el principal motivo para solicitar la EfN es la sospecha, confirmación y seguimiento de la persistencia de conducto arterioso hasta en un 50% de los casos<sup>5,16,24,25</sup> difiriendo con los resultados de nuestra institución en la cual el principal motivo de valoración fue por hipertensión arterial pulmonar aguda en un 38% de los estudios (N 101) y posteriormente persistencia del conducto arterioso en un 27% (N 73).

Harabor y cols describe como principal motivo de valoración la persistencia de conducto arterioso en un 52.1%, El-Kuffash y cols. lo describen en un 51%, Corredera y cols. en un 58.3%

Nuestra institución ya cuenta con estudio pequeño que describe las valoraciones realizadas por el Servicio de Cardiología en un periodo de 3 meses donde el principal motivo fue secundario a inestabilidad hemodinámica encontrando cambio en el manejo en 11 pacientes (73.3%), con mejoría en 10 casos en el control que se realizó a las 24 horas<sup>26</sup>.

Dentro de las intervenciones tras el diagnóstico de persistencia de conducto arterioso nuestra principal recomendación fue iniciar conservador a farmacológico, con recomendación quirúrgica en un 7%, difiriendo de El-Kuffash<sup>16</sup> que describe la ligadura de PCA en un 18% de los casos por lo que concluimos que en nuestra institución el manejo es menos agresivo pero también menos común que otras instituciones.

No se encontró correlación entre la presión arterial sistólica sistémica y el gasto cardiaco izquierdo como lo mostrado por Kharrat y cols<sup>38</sup>. en donde podemos enfrentarnos a escenarios clinicos en donde el paciente presente una presión arterial adecuada y un flujo sistémico disminuido causando impacto negativo en la evolución del paciente y de esta forma recalando la importancia de contar con una valoración ecocardiográfica funcional. Es importante considerar que existen 4 escenarios principales: la normalidad, un choque compensado, un choque descompensado y la circulación hiperdinámica. Esto puede coexistir o no con hipertensión arterial pulmonar. Se observó un aumento de la sobrevida con gastos cardiacos mayores.

En cuanto a la experiencia internacional con respecto al impacto de la realización de la ecocardiografía funcional sobre el manejo de los pacientes, en España se publicó la experiencia de un año en las Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales, mostrando un total de 168 estudios realizados en 50 pacientes, con 36.9% de modificaciones al tratamiento, concluyendo que la EfN es un estudio frecuentemente usado en neonatos con inestabilidad hemodinámica y que ayuda a determinar el manejo del pacientes.<sup>5</sup>

En el trabajo de Hernández y Becerra en el 2016 donde se realizaron un total de 30 estudios en 15 pacientes interconsultando al Servicio de Cardiología para realizar el estudio durante un periodo de tres meses. La indicación más frecuente para solicitar el estudio fue inestabilidad hemodinámica y sepsis representando el 53.3%. En 11 pacientes (73.3%) se registraron modificaciones al tratamiento posterior al EfN<sup>26</sup>. Esto muestra la necesidad de la información complementaria que da la técnica de imagen, sin embargo, el Servicio de Cardiología acude programado a la unidad y en la mayoría de las instituciones no hay disponibilidad del Cardiólogo en la unidad para este tipo de estudios, mucho menos en una urgencia. En la actualidad se realiza por lo menos un estudio al día (en población no congénita).

De los 269 estudios que se realizaron se emitio una recomendación de manejo en 142 de ellos representando el 53% de todos los estudios realizados y aunque no se asegura que los resultados del EfN fueron los principales motivos para la modificación del tratamiento, sí ayudaron al análisis y acción terapéutica en un porcentaje significativo de casos.

A la vista de los resultados expuestos, se deduce que es una técnica que se utiliza con frecuencia y que modifica el tratamiento en un porcentaje significativo de casos.

La literatura internacional no menciona defunciones en sus estudios, en nuestro estudio se presentaron 18 defunciones, 16 durante la hospitalización en UCIN y 2 posterior al egreso, se encontró que en los casos de defunción la última valoración fue en su mayoría para definir la hemodinamia pulmonar que explica la significancia de valores en el gasto cardíaco derecho, cambio fraccional de área de VD y TAPSE así como tiempo de aceleración de la arteria pulmonar comparando vivos contra muertos. La mayor causa de muerte fue secundaria a hipertensión arterial pulmonar en un 44% de los casos.

En este estudio se reportan hallazgos incidentales durante la valoración en un 19% (N 51) siendo lo más común un catéter mal posicionado en 36 ocasiones, dichos hallazgos fueron más frecuentes en nuestra población contra la literatura internacional. Siendo de importancia ya que el propósito de la ubicación central del catéter es la hemodilución que harán los solutos y que si estos desembocan directamente en el atrio se favorece su adhesión al miocardio y por ende una difusión directa hacia el espacio pericárdico con posibles complicaciones graves como tamponade<sup>27,28</sup>. Nuestros resultados son similares a los reportados por la Dra. Smith en un periodo de tres años en neonatos menores de 29 semanas donde encontraron un 37% de hallazgos incidentales siendo el más frecuente los catéteres mal posicionados, seguido de hematomas hepáticos y malformaciones cardíacas menores.

A pesar de la clara utilidad práctica de esta técnica, todavía no existen evidencias firmes que demuestren un impacto positivo de la utilización de la EfN en la UCIN sobre el pronóstico de los pacientes. Sin embargo, varios estudios retrospectivos<sup>29-31</sup> y un ensayo clínico<sup>32</sup> indican un beneficio en este sentido.

Actualmente existen cerca de 50 neonatólogos con entrenamiento en EfN en Canadá, México y Estados Unidos que son miembros de la PanAmerican Hemodynamic Collaborative, un grupo de académicos que promueven la educación mediante conferencias, seminarios online y simulaciones basadas en la enseñanza continua e investigación conjunta. (Anexo, Imagen 1)<sup>20</sup>

Puedo citar 3 consensos de expertos en los últimos 5 años que destacan la necesidad urgente de un programa de capacitación estructurado y un proceso de acreditación específicamente diseñado para neonatólogos e intensivistas.<sup>18,19,33</sup>

## **CONCLUSIÓN**

El programa Ecocardiografía Funcional Neonatal en el Hospital Infantil de México Federico Gómez comenzó en enero de 2017 después de que uno de los neonatólogos del personal completó la capacitación avanzada en el programa canadiense. Durante el periodo evaluado, el 20% de los ingresos en la UCIN se evaluaron de forma secundaria a una consulta clínica.

Tradicionalmente, los recién nacidos se evaluaban según los parámetros clínicos y se podía solicitar una consulta de Cardiología para evaluar la función cardíaca. Se exploraron las ventajas de contar con una máquina de ultrasonido disponible las 24 horas en la UCIN y de un neonatólogo capacitado. El programa demostró ser una herramienta valiosa para la evaluación hemodinámica que condujo a una recomendación de cambio de manejo en el 53% de las consultas.

No se encontró correlación entre la presión arterial sistémica y el gasto cardíaco, lo que sugiere que existen varios escenarios en los que el flujo sanguíneo está por debajo del rango normal a pesar de los parámetros clínicos normales lo que refleja la necesidad de contar con más personal y mejor estructuración del programa en nuestro hospital.

Como se informó en otros estudios, los hallazgos inesperados son frecuentes y conducen a cambios beneficiosos para el paciente (movilización de catéter, trombolisis, consulta de cardiología, etc.).

## **LIMITACIONES EN EL ESTUDIO**

Este estudio cuenta con las limitaciones derivadas de su naturaleza retrospectiva. Otra limitación importante es que las valoraciones ultrasonográficas son operador dependiente y que además pudieran tener limitación por la ventana ecocardiográfica que el transductor utilizado ofrece. No toda la información que se recaba es buena información, al ser operador dependiente hay un riesgo de falsos positivos, falsos negativos y omisiones diagnósticas.

La realización de la valoración así como la toma de decisiones finales en el manejo terapéutico del paciente dependía por completo de su médico tratante y solo se ofrecieron recomendaciones y no se puede aclarar si las decisiones médicas y los desenlaces hubiesen sido diferentes con o sin la valoración ecocardiografía funcional.

## **CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

<b>Cronograma de Actividades</b>	
<b>Recoleccion de datos</b>	Enero 2017 – Diciembre 2018
<b>Diseño de estudio y registro de tesis</b>	Agosto 2018
<b>Revisión de la literatura</b>	Octubre – Noviembre 2018
<b>Presentación de anteproyecto</b>	Noviembre 2018
<b>Análisis de datos</b>	Abril 2019
<b>Redacción de resultados</b>	Abril – Mayo 2019
<b>Entrega de proyecto</b>	Mayo 2019

## **REFERENCIAS**

1. Singh Y. Echocardiographic Evaluation of Hemodynamics in Neonates and Children. *Front Pediatr.* 2017;5:201. doi:10.3389/fped.2017.00201
2. Vrancken SL, van Heijst AF, de Boode WP. Neonatal Hemodynamics: From Developmental Physiology to Comprehensive Monitoring. *Front Pediatr.* 2018;6:87. doi:10.3389/fped.2018.00087
3. Barrington KJ. Common Hemodynamic Problems in the Neonate. *Neonatology.* 2013;103(4):335-340. doi:10.1159/000349933
4. Noori S, Stavroudis TA, Seri I. Systemic and Cerebral Hemodynamics During the Transitional Period After Premature Birth. *Clin Perinatol.* 2009;36(4):723-736. doi:10.1016/j.clp.2009.07.015
5. Corredera A, Rodríguez MJ, Arévalo P, Llorente B, Moro M, Arruza L. Ecocardiografía funcional en cuidados intensivos neonatales: experiencia en una unidad española a lo largo de un año. *An Pediatría.* 2014;81(3):167-173. doi:10.1016/j.anpedi.2013.11.026
6. Filly RA. Ultrasound: the stethoscope of the future, alas. *Radiology.* 1988;167(2):400-400. doi:10.1148/radiology.167.2.3282260

7. Manasia AR, Nagaraj HM, Kodali RB, et al. Feasibility and potential clinical utility of goal-directed transthoracic echocardiography performed by noncardiologist intensivists using a small hand-carried device (SonoHeart) in critically ill patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2005;19(2):155-159. doi:10.1053/J.JVCA.2005.01.023
8. Ranjit S, Aram G, Kisson N, et al. Multimodal Monitoring for Hemodynamic Categorization and Management of Pediatric Septic Shock. *Pediatr Crit Care Med.* 2014;15(1):e17-e26. doi:10.1097/PCC.0b013e3182a5589c
9. Vincent J-L, De Backer D. Circulatory Shock. Finfer SR, Vincent J-L, eds. *N Engl J Med.* 2013;369(18):1726-1734. doi:10.1056/NEJMra1208943
10. Mertens L. Neonatologist performed echocardiography—hype, hope or nope. *Eur J Pediatr.* 2016;175(2):291-293. doi:10.1007/s00431-015-2625-2
11. de Boode WP, van der Lee R, Eriksen BH, et al. The role of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of neonatal shock. *Pediatr Res.* 2018;84(S1):57-67. doi:10.1038/s41390-018-0081-1
12. 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(2):F105-11. doi:10.1136/fn.78.2.f105
13. de Boode W-P. Clinical monitoring of systemic hemodynamics in critically ill newborns. *Early Hum Dev.* 2010;86(3):137-141. doi:10.1016/j.earlhumdev.2010.01.031
14. 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(2):F168-73. doi:10.1136/adc.2002.023796
15. Soleymani S, Borzage M, Seri I. Hemodynamic monitoring in neonates: advances and challenges. *J Perinatol.* 2010;30(S1):S38-S45. doi:10.1038/jp.2010.101
16. 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;33:687-690. doi:10.1038/jp.2013.42
17. Tissot C, Muehlethaler V, Sekarski N. Basics of Functional Echocardiography in Children and Neonates. *Front Pediatr.* 2017;5:235. doi:10.3389/fped.2017.00235

18. de Boode WP, Singh Y, Gupta S, et al. Recommendations for neonatologist performed echocardiography in Europe: Consensus Statement endorsed by European Society for Paediatric Research (ESPR) and European Society for Neonatology (ESN). 2016. doi:10.1038/pr.2016.126
19. Mertens L, Seri I, Marek J, et al. Targeted Neonatal Echocardiography in the Neonatal Intensive Care Unit: Practice Guidelines and Recommendations for Training. *J Am Soc Echocardiogr.* 2011;24(10):1057-1078. doi:10.1016/j.echo.2011.07.014
20. Giesinger RE, Stanford AH, Rios DR, et al. Targeted neonatal echocardiography in the United States of America: the contemporary perspective and challenges to implementation. *Pediatr Res.* February 2019:1. doi:10.1038/s41390-019-0338-3
21. Lee HC, Silverman N, Hintz SR. Diagnosis of patent ductus arteriosus by a neonatologist with a compact, portable ultrasound machine. *J Perinatol.* 2007;27(5):291-296. doi:10.1038/sj.jp.7211693
22. Evans N, Gournay V, Cabanas F, et al. Point-of-care ultrasound in the neonatal intensive care unit: international perspectives. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2011;16(1):61-68. doi:10.1016/j.siny.2010.06.005
23. Ben Fadel N, Pulgar L, Khurshid F. Point of care ultrasound (POCUS) in Canadian neonatal intensive care units (NICUs): where are we? *J Ultrasound.* May 2019:1-6. doi:10.1007/s40477-019-00383-4
24. Ben Fadel N, Pulgar L, Khurshid F. Point of care ultrasound (POCUS) in Canadian neonatal intensive care units (NICUs): where are we? *J Ultrasound.* May 2019. doi:10.1007/s40477-019-00383-4
25. Harabor A, Soraisham AS. Utility of Targeted Neonatal Echocardiography in the Management of Neonatal Illness. *J Ultrasound Med.* 2015;34(7):1259-1263. doi:10.7863/ultra.34.7.1259
26. Hernández-Benítez R, Becerra-Becerra R. Ecocardiografía funcional en cuidados intensivos neonatales: experiencia en un hospital de tercer nivel. *Bol Med Hosp Infant Mex.* 2016;73(5):325-330. doi:10.1016/j.bmhmx.2016.07.003
27. Ramasethu J. Complications of Vascular Catheters in the Neonatal Intensive Care Unit. *Clin Perinatol.* 2008;35(1):199-222. doi:10.1016/j.clp.2007.11.007
28. Nowlen TT, Rosenthal GL, Johnson GL, Tom DJ, Vargo TA. Pericardial effusion and tamponade in infants with central catheters. *Pediatrics.* 2002;110(1 Pt 1):137-142. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12093959>. Accessed May 22, 2019.

29. O'Rourke D, EL-Khuffash A, Moody C, Walsh K, Molloy E. Patent ductus arteriosus evaluation by serial echocardiography in preterm infants. *Acta Paediatr.* 2008;97(5):574-578. doi:10.1111/j.1651-2227.2008.00745.xç
30. Sehgal A, McNamara PJ. Does point-of-care functional echocardiography enhance cardiovascular care in the NICU? *J Perinatol.* 2008;28(11):729-735. doi:10.1038/jp.2008.100
31. 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(4):584-589.e1. doi:10.1016/J.JPEDS.2011.09.027
32. Carmo KB, Evans N, Paradisis M. Duration of Indomethacin Treatment of the Preterm Patent Ductus Arteriosus as Directed by Echocardiography. *J Pediatr.* 2009;155(6):819-822.e1. doi:10.1016/J.JPEDS.2009.06.013
33. Singh Y, Gupta S, Groves AM, et al. Expert consensus statement 'Neonatologist-performed Echocardiography (NoPE)'—training and accreditation in UK. *Eur J Pediatr.* 2016;175(2):281-287. doi:10.1007/s00431-015-2633-2
34. Diagnóstico, tratamiento y pronóstico de la sepsis neonatal. Guía de Evidencias y Recomendaciones: Guía de Práctica Clínica. México, CENETEC; 2019. Disponible en: <http://www.cenetec-difusion.com/CMGPC/GPC-SS-283-19/ER.pdf>
35. Mielke G, Benda N. Cardiac output and central distribution of blood flow in the human fetus. *Circulation.* 2001 Mar 27;103(12):1662-8.
36. Singh Y, Roehr CC, Tissot C, Rogerson S, Gupta S, Bohlin K, Breindahl M, El-Khuffash A, de Boode W; European Special Interest Group Education, training, and accreditation of Neonatologist Performed Echocardiography in Europe-framework for practice. "Neonatologist Performed Echocardiography" (NPE). *Pediatr Res.* 2018 Jul;84(Suppl 1):13-17.
37. Smith A, Breatnach CR, James AT, Franklin O, El-Khuffash A. Incidental Findings on Routine Targeted Neonatal Echocardiography Performed in Preterm Neonates Younger Than 29 Weeks' Gestation. *J Ultrasound Med.* 2018 Apr;37(4):843-849.
38. Kharrat A, Ibarra- Rios D, Weisz DE, Giesinger RE, Groves A, Yang J, McNamara PJ, Shah PS, Jain A. The Relationship between blood pressure parameters and left ventricular output in neonates. *J Perinatol.* 2019 May;39(5):619-625.

## ANEXOS

**Imagen 1 Sitios de Canadá, Estados Unidos y Mexico que cuentan con el programa de Ecocardiografía funcional Neonatal. Targeted Neonatal Echocardiography (TnECHO)**



Hoja de recolección de datos de variables hemodinámicas.

Valoración ultrasonográfica Neonatal

Enero 2, 2019



Nombre		S		No		Fecha del Estudio			
FN		EG		EGC		Peso		SC	
Doppler de Venas Pulmonares		S				PAS		PAD	
		D				Cálculo del GCD: _____			
		A				IVT		FC	
Dopplers de la Válvula Mitral		E				Función Sistólica del VD			
		A				TAPSE			
		E/A				Área sistólica			
		TRIV				Área diastólica			
Cálculo del GCI: _____					CFA del VD			DIVDd	
IVT		FC		aAo		Extras			
Dimensiones del VI									
DIVId		DIVDs		AI/Ao					
Función Sistólica del VI									
FA		FE		RM		RT			
<i>FE por Simpson</i>					IA		IP		
Corto circuitos					Doppler Sistémicos				
	Tamaño	I>D	B/D	D>I		N	Aus	Rev	Otros
CIA-FO					AC				IVT
CIV					AMS				
CAP					ACM				IR IP
CAP:	Psm: _____	Pdm _____	Pmed _____		ACA				IR IP
APD		API	Vmaxd		Ao Desc				
					ABC				
Catéter					RVP/PSVD <i>Sepio IV: Sit _____ Diast _____</i>				
					PSVD	TEVD	TAAP	TEVP/TAAP	
Cálculos hemodinamia pulmonar					PAP,	PmAP	RVP	RVFi	

Valoración ultrasonográfica Neonatal

Enero 2, 2019



<b>Razón del ECOfN:</b>								
<b>HC</b>								
Madre __ años. G __ P __ C/S __ A __								
Complicaciones del embarazo _____								
Reanimación Neonatal _____								
Diagnóstico T	Fecha	Tratamiento						
<b>Signos vitales</b>			<b>BH</b>		<b>Gasometria</b>			
FC	FR	Temp	Hb	pH	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub>	EB
PASpd	PADpd	LL C	HCT					
PASpi	PADpi		LEU					
Sat pred	Sat postd		PLQ	Lactato				
<b>Ventilador</b>								
<b>Rayos X tórax y USG pulmonar</b>								
<b>Examen Cardiopulmonar</b>								
<b>Examen abdominal</b>								
<b>Rayos X abdomen</b>								
<b>Función Renal</b>	LT		ml/kg/día. Ganancia Ponderal en los últimos ( ) días				g/kg/día	
	Na	GU:	ml/kg/hr.	BUN		Cr		
<b>DX Infeccioso</b>								
<b>USG TF</b>								
<b>Diagnóstico hemodinámico</b>								
<b>Recomendación</b>								

